

Svällande brandstopp i fasadsystem - En experimentell studie

Johan Bengtsson & Alex Åkesson | Brandteknik |
LTH | LUNDS UNIVERSITET



Svällande brandstopp i fasadsystem - En experimentell studie

Johan Bengtsson & Alex Åkesson

Lund 2020

Titel: Svällande brandstopp i fasadsystem- En experimentell studie
Title: Intumescent fire seal in a facade system- An experimental study

Författare/Authors: Johan Bengtsson & Alex Åkesson

Report 5637

ISRN: LUTVDG/TVBB--5637--SE

Antal sidor/Number of pages: 118

Illustrationer: Figurer och tabeller ägs av författarna. Om något annat anges har figurer godkänts för användning i denna rapport av ägarna av dessa.

Sökord/Keywords

Fasad, luftspalt, brandstopp, fuktmättnad, rainscreen cladding

Façade, ventilated air gap, fire seal, moisture-saturation, rainscreen cladding

Abstract

Since many new techniques and new materials have been introduced in the construction of facades there is a need to better understand the behavior when exposed to a fire. Recent facade fires involving rainshield claddings have displayed major consequences regarding the personal safety of the occupants and towards an economic loss. More understanding is therefore needed to better prevent fires such as the Grenfell Tower 2017 from ever happening again with such destructive force. Especially there is a lacking knowledge about how an intumescent fire seal behaves when exposed to reality-based conditions such as humidity levels and fire exposures. The test setup used consisted of a newly developed intermediate scale setup of a rainshield facade and cone calorimeter tests according to ISO 5660. The intermediate scale test was developed in three phases. The first phase aimed to analyze the fire characteristics of test setup. The second phase analyzed how a graphite-based fire seal behaved in a facade system surrounded by non-combustible materials. The third phase analyzed how a graphite-based fire seal behaved in a façade system surrounded by combustible materials. The test included both dry and moisture saturated linear fire seals. This thesis found that when a fire seal of the type graphite-based was exposed in the test rig with a fire of 25 kW when moisture saturated compared to a dry fire seal the delay of response could be up to 15 minutes. When a combustible material was placed above the fire stop it ignited before the fire stop was activated in both the experiments done with that setup. This could be shown by the recorded temperature above a dry fire seal during phase 3. The temperatures reached up to 1282 °C and sustained temperatures over 400 °C for 280 seconds. The expansion of the fire seal was found to be controlled by the different layers within the fire seal and how they interact with each other at moisture saturation or dry conditions.

© Copyright: Division of Fire Safety Engineering, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2020.

Avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2020.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

www.brand.lth.se
Telefon: 046 - 222 73 60

Division of Fire Safety Engineering
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

www.brand.lth.se
Telephone: +46 46 222 73 60

FÖRORD

Detta examensarbete utförs i kursen *VBRM10* i civilingenjörsprogrammet Riskhantering med inriktning mot brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Kursen är avslutande innan examen och omfattar 30 högskolepoäng och bedrevs på heltid under hösten 2020 vilket innebar att möten och kontakt med handledare mestadels bedrevs på distans. Examensarbetet innehöll regelbunden kontakt med extern handledare från Brandskyddslaget AB som är ett externt konsultföretag.

Som en inledande del i detta examensarbete vill författarna varmt tacka följande personer för goda råd och värdefulla insikter som tog detta arbete framåt och mot de resultat och slutsatser som senare presenteras. Arbetet blev mycket roligare tack vare ert stora intresse för detta examensarbete.

Patrick van Hees Professor och avdelningschef för avdelningen för Brandteknik
Handledare för detta examensarbete som bidrog med mycket kunskap och god insikt i ämnet

Dan Madsen Universitetsadjunkt vid avdelningen för Brandteknik
Bidrog med mycket intresse, god handledning vid praktiska moment och korrekturläsning

Robert McNamee Jansson Teknologie doktor och forskning & utvecklingschef för Brandskyddslaget AB
Extern handledare. Tillförde kunskap och förbättringsförslag inom testupställningen och resultatbearbetning

Familj och vänner *Mentalt stöd i dessa tuffa tider och för mycket trevliga fredagsfikastunder*

Michael Strömgren Forskning & utvecklingschef för konsultbolaget BRIAB
Bidrog med en nulägesrapport gällande brännbara fasader i Sverige

Jonathan Wahlqvist Postdoktorand vid avdelningen för Brandteknik
Hjälp med flödesmätare

Kassem Abou-Nawfal och Adam Adolfsson Korrekturläsning och gott sällskap

SAMMANFATTNING

Temat för examensarbetet är svällande brandstopps brandegenskaper i ett fasadssystem som utsätts för varierande fukthalt och effektutveckling. Frågeställningarna var följande:

- Vad är beteendet hos ett brandstopp vid händelse av brand med avseende på varierande brandexponering och fuktmättnad?
- Till vilken grad utgör fasadsystemet innehållande ett grafitbaserat brandstopp en riskreducerande åtgärd för brandspridning i en fasad och hur kan det utvärderas?

Syftet med examensarbetet är att utifrån frågeställningarna undersöka om brandstopp kan begränsa risken med brandspridning i en luftspalt i ett fasadssystem. Målet är att bidra med mer kunskap kring hur ett grafit-baserat brandstopp fungerar i ett fasadssystem av typen *rainshield cladding* när det utsätts för varierande brandexponering och fukthalt. Metoden har utgjorts av delar från riskhanteringsprocessen och en experimentell metodik.

Rainshield cladding är ett vanligt förekommande fasadssystem där det finns en luftspalt som ventilerar och dränerar bort fukt. I luftspalten kan ett brandstopp installeras för att skydda mot brandspridning och undvika att luftspalten agerar som en skorsten vid händelse av brand. Brandstopp är en riskreducerande komponent som skulle kunna minska risken med brandspridning i fasader. Det finns dock inte mycket bakomliggande forskning på hur bra brandstoppen fungerar i olika miljöer. I anslutning till luftspalten är det i regel en fasadbeklädnad och isoleringsmaterial. Det första testet i examensarbetet utfördes i en konkalorimeter enligt ISO 5660 på en högtryckslaminerad, träbaserad fasadskiva och ett brandstopp. För brandstoppet varierades fukten och testerna inkluderade torra och fuktmättade brandstopp. För isoleringsmaterialet användes resultatet från ett annat examensarbete. Efter detta utfördes tester i mellanskala i tre faser där den tidigare fasen låg till grund för den kommande. I Fas 1 utfördes med endast obrännbara skivor för att studera hur flammorna betedde sig i luftspalten beroende på effekt. I Fas 2 installerades ett brandstopp och då varierades effekten samt om brandstoppet var fuktmättat eller torrt. Slutligen i Fas 3 utfördes två tester med ett isoleringsmaterial, ett brandstopp och fasadbeklädnaden var antingen en högtryckslaminerad, träbaserad skiva - eller en obrännbar skiva.

Det konstaterades att ett fuktmättat brandstopp har en betydligt längre svällningstid jämfört med ett torrt brandstopp. Detta orsakades av att fukten måste ångas bort innan brandstoppet kan nå aktiveringstemperaturen som krävs för svällning. Vilket fasadssystem (isolering och utvändiga skivor samt konstruktion) som brandstoppet är installerat i påverkar brandstoppets möjlighet att begränsa brandspridningen i fasadsystemet. Detta konstaterades då den utvändiga skivan fallerade i ett test och flammen passerade runt brandstoppet. Ett torrt brandstopp noterades dock skydda luftspalten mot höga temperaturer efter det expanderat om fasadsystemet var intakt. Innan expansion noterades höga temperaturer vilket innebar en brandspridning i brännbart material, vilket även inkluderar en brand i brandstoppet.

SUMMARY

The topic of this thesis is about the fire properties of linear fire seals within a facade system that is exposed to varying moisture content and energy release rate. The questions that the thesis were trying to answer is as follows:

- What is the behavior of a linear fire seal in the event of a fire with regards to different fire exposure and moisture saturation?
- To what extent does the façade system containing a graphite-based linear fire seal constitute a risk-reducing measure for the spread of fire in a façade and how can it be evaluated?

The purpose of this thesis is to investigate, based on the questions, whether a linear fire seal can limit the risk of fire spreading in an air gap within the facade system. The goal is to contribute more knowledge about how a graphite-based linear fire seal works in a facade system of the rainshield cladding type when it is exposed to varying fire exposure and moisture content. The method has consisted of parts from the risk management process and an experimental methodology.

Rainshield cladding is a common facade system where there is an air gap that ventilates and drains away moisture or excess water. A linear fire seal can be installed in the air gap to protect against the spread of fire and to prevent the air gap from acting as a chimney in the event of a fire. A linear fire seal is a risk-reducing component that could reduce the risk of fire spreading in facades. However, there is not much underlying research on how well the fire stop works in different environments. Adjacent to the air gap, it is usually a facade cladding and insulation material. The first test in this thesis was performed in a cone calorimeter according to ISO 5660 on a high-pressure laminated, wood-based facade board and a fire stop. For the linear fire seal, the humidity was varied, and the tests included dry and moisture-saturated linear fire seals. For the insulation material, the results from another thesis were used. After this, intermediate scale tests were performed in three phases where the previous phase was the basis for the next one. In Phase 1, only non-combustible façade materials were used to study how the flames behaved in the air gap with varying energy release rate. In Phase 2, a linear fire seal was installed in the air gap and the energy release rate was varied and the linear fire seal varied between a dry and moisture-saturated condition. Finally, in Phase 3, two tests were performed with an insulation material, a fire stop and the facade cladding was either a high-pressure laminated wood-based cladding or a non-combustible cladding were used.

It was found that a moisture-saturated linear fire seal has a significantly longer swelling time compared to a dry sample. This was caused by the moisture having to evaporate before the linear fire seal could reach the activation temperature required for expansion. Which façade system in which the linear fire seal is installed, affects the fire seal's ability to limit the spread of fire in the façade system. This was found when the outer cladding material failed and flames could pass around the linear fire seal. However, a dry fire stop was noted to protect the air gap against high temperatures after it expanded if the facade system was intact. Before expansion, high temperatures were noted, which meant a fire was spread in the combustible materials. Also, the linear fire seal itself was noted to burn and contribute with an energy release.

ORDLISTA

BBR	Boverkets Byggregler
IFSA	<i>Intumescent Fire Seal Association</i>
MCM	<i>Metallic Composite Material</i>
ACP	<i>Aluminium Composite Panel</i>
HPL	<i>High Pressure Laminate</i>
TSC	<i>Thin Skin Calorimeter</i>
PIR	<i>Polyisocyanurate</i>
MSB	<i>Myndigheten för samhällsnydd och beredskap</i>
LTH	<i>Lunds Tekniska Högskola</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
BRE	<i>Building Research Establishment</i>

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och mål.....	1
1.3	Frågeställningar	1
1.4	Metod.....	2
1.5	Avgränsningar och begränsningar.....	2
2	Risk.....	5
2.1	Hur risk behandlas.....	5
2.2	Riskhanteringsprocessen.....	5
2.3	Risker med brännbara fasader	6
3	Litteraturstudie.....	11
3.1	Bakgrund <i>rainshield cladding</i>	11
3.1.1	Generell uppbyggnad av <i>rainshield cladding</i>	11
3.1.2	Funktionella egenskaper av fasadens komponenter	13
3.2	Regelverk, testmetoder och klassifikationsstandarder	17
3.2.1	Regelverk och testmetoder i Sverige.....	17
3.2.2	Internationella testmetoder.....	20
3.3	Forskning inom <i>rainshield cladding</i> och brandstopp	21
3.4	Sammanställning och diskussion av litteraturstudie.....	24
4	Försökstivering.....	27
5	Konkalorimetertest	29
5.1	Konkalorimeter metod enligt ISO 5660 (2019).	29
5.2	Testade komponenter	30
5.3	Resultat konkalorimeter.....	31
5.4	Diskussion konkalorimeter	33
6	Mellanskaligt test Fas 1.....	37
6.1	Metod Fas 1 - obrännbara material	37
6.2	Resultat Fas 1 - obrännbara material	41
6.3	Diskussion Fas 1 - obrännbara material	42
7	Mellanskaligt test Fas 2.....	47
7.1	Metod Fas 2 - obrännbara material och brandstopp.....	47
7.2	Resultat Fas 2 - obrännbara material och brandstopp.....	51
7.3	Diskussion Fas 2 - obrännbara material och brandstopp.....	58
8	Mellanskaligt test Fas 3.....	63

8.1	Metod Fas 3 - brännbara material och brandstopp	63
8.2	Resultat Fas 3 - brännbara material och brandstopp.....	64
8.3	Diskussion Fas 3 - brännbara material och brandstopp	67
9	Övergripande diskussion.....	73
10	Slutsatser.....	75
11	Förslag till ytterligare forskning	77
12	Litteraturförteckning.....	79
13	Bilaga.....	1
	Bilaga A.....	1
	Bilaga B.....	3
	Bilaga C.....	5
	Bilaga D.....	7
	Bilaga E.....	9

1 INLEDNING

Nedan presenteras bakgrunden som detta examensarbete utgår från. Vidare presenteras examensarbetets syfte, mål, frågeställningar, metod, begränsningar och avgränsningar.

1.1 Bakgrund

Ett modernt fasadsystem uppfyller många viktiga funktioner i en byggnad (Bonner et al., 2020). För att tillgodose alla funktioner samtidigt utan att någon funktion försämras krävs ett innovativt helhetsperspektiv menar van Hees et al. (2020). Problematiken är att vissa komponenter i fasadsystemen ofta är brännbara (An et al., 2016). Förekomsten av brännbara material i fasadsystem resulterar i inneboende och inte helt utforskade potentiella brandrisker hos byggnader. Ett exempel på en brand som spreds via fasaden är en som inträffade i Storbritannien i 24-våningshuset Grenfell Tower år 2017 där 72 människor omkom. Omfattningen av antalet omkomna och fastighets-skadorna orsakades till följd av icke godkända komponenter i fasadsystemet, i ett så kallat *rainshield cladding*, i kombination med felinstallerade brandstopp (Colic & Banjad Pecur, 2020). Branden i Grenfell Tower 2017 pekar på att utformningen och val av material i fasadsystem av typen *rainshield cladding* är en avgörande faktor för brandrisken.

Fasadsystemet *rainshield cladding*, vilket kan översättas till en regnskyddsbeklädnad, innehåller en ventilerad luftspalt som ventilerar, dränerar och tryckutjämnar fasadsystemet. Luftspalten skyddas av den yttersta beklädnaden som är ett regnskydd och denna del av fasadsystemet har påvisats vara en riskkomponent för brandskyddet då det kan vara brännbart (Colic & Banjad Pecur, 2020). Beroende på omfattningen och storleken av luftspalten kan det installeras brandstopp för att begränsa brand och rökspridning i luftspalten. Vid normal drift tillåter brandstoppet att ventilation och dränering sker oförhindrat. Fukt har påvisats finnas i detta typ av fasadsystem som bland annat kan orsakar av kondens på insidan av luftspalten (Falk, 2014). Fukt har även påvisats vara negativt för ett brandstopps svällande förmåga (Adl-Zarrabi, 2007). Ett annat problem är för att expandera behöver ett brandstopp nå en aktiveringstemperatur vilket tar en viss tid och kan innebära att en brand hinner passera förbi. I anslutning till luftspalten finns ett isoleringsmaterial som skyddas med en fuktspärr och denna komponent kan också vara brännbar (Colic & Banjad Pecur, 2020). Till sist kommer väggen och i denna fästs fasadsystemet.

Funktionen och kunskapen gällande brandstoppet är inte välstuderat, som belyses av få publicerade artiklar med monterade fuktexponerade brandstopp. Van Hees et al. (2020) menar på att projektering av fasaders brandskydd kräver ett helhetsperspektiv. För att uppnå detta behövs mer kunskap på detaljnivå som kan öppna upp möjligheten för ett bättre helhetsperspektiv.

1.2 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete är att med hjälp av en litteraturstudie och experiment utvärdera beteendet hos ett grafitbaserat brandstopp då det är fuktmättat eller torrt och vid en varierande brandexponering placerat i fasadsystemet *rainshield cladding*. Syftet är även att tillföra kunskap som kan innebära en säkrare branddimensionering av fasadsystemet i Sverige.

Målet är att kartlägga brandbeteendet i liten och mellanskala för ett brandstopp med avseende på brandrisken då ett brandstopp installeras och utsätts för olika fukt- och brandförhållanden.

1.3 Frågeställningar

- Vad är beteendet hos ett brandstopp vid händelse av brand med avseende på varierande brandexponering och fuktmättnad?

- Till vilken grad utgör fasadsystemet innehållande ett grafitbaserad brandstopp en riskreducerande åtgärd för brandspridning i en fasad och hur kan det utvärderas?

1.4 Metod

I detta avsnitt presenteras metoden som används i detta examensarbete för examen i riskhantering och brandingenjör. Rapporten följde den experimentella metodiken enligt Höst et al., (2006) som innebär en uppbyggnad av en experimentdesign och att beroende variabler tas fram utifrån det observerande fenomenet. Sedan följde rapporten delvis riskhanteringsprocessens struktur. Notera att inte hela riskhanteringsprocessen som MSB (2011) presenterar användes. Istället valdes fyra punkter ut, vilket innebar en process i följande ordning (MSB, 2011):

- Utgångspunkter
- Riskidentifiering
- Riskundersökning
- Riskutvärdering

Inledningsvis definierades utgångspunkterna vilket medförde ett uppförande av ett måldokument. I denna fas fastställde ett ramverk för vilka frågeställningar som examensarbetet behandlade, vilket syfte och mål som skulle uppfyllas samt en tidsplan. Utgångspunkterna togs fram i diskussion med intern och extern handledare. Detta för att säkerställa att möjligheter och tillgång till experiment var tillgängliga och applicerbara och kunde generera svar på frågeställningarna.

Därefter utfördes en litteraturstudie som bestod av en risk- och sårbarhetsidentifiering som satte en kontext och kunskapsgrund hos författarna. Risk- och sårbarhetsanalysen kartlade de brandtekniska riskerna och sårbarheterna med ett fasadsystem av typen *rainshield cladding* och expanderande brandstopp. Vidare undersökes de ingående komponenterna enskilt, tidigare utförda experiment och forskning kopplade till fasadsystem och brandstopp. Litteraturstudien berörde även de svenska regelverken och testmetoderna samt ett antal internationella testmetoder. Metoden som användes för litteraturstudien var en allmän sökning och inläsning av ämnesområdet. Vidare studerades referenserna i dessa rapporter för att hitta mer relevant material.

Efter litteraturstudien sammanställdes de identifierade kunskapsluckor och sattes i kontext med möjligheterna till experimentella undersökningar och detta resulterade i en försöksmotivering. De första brandprovningarna utfördes enligt ISO 5660–1 på fasadsystemets komponenter. Därefter utfördes tester i tre faser med egenkonstruerade mellanskaliga tester vars metod presenterades i respektive avsnitt. I dessa faser låg föregående fas till grund för hur den kommande fasen genomfördes. Den första fasen undersökte brandbeteendet hos testuppställningen med obrännbara material, andra fasen inkluderade ett brandstopp och den tredje fasen inkluderade brännbara material. Resultatet från testerna i de olika faserna jämfördes och analyserades mot varandra.

Slutligen sammanställdes examensarbetet gällande hur ett brandstopp fungerar i olika sammanhang utifrån de utförda experimenten. Till sist gavs även förslag på framtida forskning.

1.5 Avgränsningar och begränsningar

Detta examensarbete avgränsade undersökningen till ett grafitbaserat brandstopp och funktionen i ett fasadsystem med *rainshield cladding*. Enbart vissa komponenter valdes för isolering och externa skivor. Brandstoppets fukthalt varierades mellanfuktmättat och torrt tillstånd. Brandexponeringen varierades genom att variera brännarens effekt mellan 25 och 50 kW. Enbart små och mellanskaliga tester genomfördes.

Arbetet innehöll begränsande faktorer som tidsbrist och experimentella begränsningar. Det inkluderar brännarens effekt då brandlabbet på LTH har en begränsning, antalet försök grundat på tillgängligt mängd brandstopp och material.

2 RISK

I detta avsnitt kommer begreppet risk att tas upp och diskuteras med avseende på fasadbränder.

2.1 Hur risk behandlas

För att kunna diskutera risk ska begreppet först definieras. I denna rapport användes en definition av Kaplan & Garrick (1981) som definierar risk utifrån följande tre frågor:

- Vad kan hända?
- Hur sannolikt är händelsen?
- Vad blir konsekvenserna om det inträffar?

Risker för människor kan klassificeras som samhällsrisk eller individrisk (Davidsson et al., 1997). Davidsson et al. (1997) beskriver samhällsrisk som en risk som har potential att påverka en större grupp människor samtidigt och värderas utifrån detta. Måttet för en samhällsrisk kan bland annat beskrivas med en FN-kurva där en kumulativ sannolikhet ställs mot antalet döda i en graf. Sannolikheten för en brandspridning i fasaden likt Grenfell Tower år 2017 är mycket låg men kan resultera i många dödsfall, vilket innebär en stor samhällsrisk. Individrisk skiljer sig genom att studera vad risken är för en enskild person som befinner sig i riskområdet där denne är som mest utsatt. Båda dessa synsätt av risker kompletterar varandra och ger en helhetsbild.

En låg samhällsrisk innebär inte nödvändigtvis att risknivån är acceptabel. I ett område med låg samhällsrisk kan individrisken vara väldigt hög. Beräkningsprocessen i samhällsrisk beaktar antalet personer som exponeras och vid en låg population blir samhällsrisk liten även om individrisken kan vara hög. Samtidigt är en hög individrisk inte nödvändigtvis farligt om inte några personer exponeras i området.

Med hjälp av data från utförda experiment har risken undersökts genom att studera skillnaderna i resultatet. Från analysen drogs slutsatser gällande konsekvenserna när ett brandstopp utsattes för varierande förhållanden. Risken analyserades i form av en spridningsrisk där en potentiell brand förmodades passera ett brandstopp. Bedömningen utgjordes av både kvalitativa och kvantitativa bedömningar. Underlaget bestod av data från utförda experiment och resonemang från tidigare forskning i relation mot utförda tester. Experimenten sattes i relation till varandra för att undersöka om olika förhållanden påverkade en skillnad i spridningsrisken.

Sannolikheter i denna rapport har endast behandlats i en riskanalys som utfördes innan de experimentella testerna. I övrigt har inte sannolikheter behandlats då detta examensarbete syftar till att undersöka konsekvenser i form av brandspridning inom fasadbränder kopplat till brandstopp. Tidigare bränder har benämnts men utgjorde inte någon form av sannolikhetsbedömning.

2.2 Riskhanteringsprocessen

Riskhanteringsprocessen är en processmodell som går att använda för olika sammanhang gällande hanteringen av olika risker. MSB (2011) beskriver riskhanteringsprocessen i flera stadier. Detta examensarbete har tagit inspiration från riskhanteringsprocessen som MSB (2011) beskriver och valt ut fyra moment som presenteras i Figur 1. Riskhanteringsprocessen riktar in sig på en målgrupp som är beslutande organ vilket inte gör det direkt tillämpbar till en studie av experimentell karaktär. Därför valdes delar ut för att göra den tillämpbar till detta examensarbete.



Figur 1 Riskhanteringsprocessen som kommer att användas i denna rapport.

Den första delen i riskhanteringsprocessen var att definiera utgångspunkter. Den första delen formade examensarbetets inriktning och frågeställningarna togs fram i samarbete med handledare och extern handledare. Syftet var att bestämma vilka typer av risker som skulle undersökas och att validiteten av rapporten och försöksupställningen var god. Det framgick även ett syfte och mål med examensarbetet i utgångspunkterna.

Utgångspunkterna följdes av riskidentifieringen som utgjorde hela litteraturstudien. I litteraturstudien identifierades riskerna som beskrivs i utgångspunkterna och de sattes i ett sammanhang och undersökte vad det är som kan hända och även om det fanns några kunskapsluckor. Efter riskidentifieringen erhöles mer kunskap vilket gjorde att syfte, mål och frågeställningarna uppdaterades. Alla val och specifika inriktningar under arbetets gång innebar generella avgränsningar och begränsningar.

Efter litteraturstudien försökte kunskapsluckorna fyllas igen med hjälp av experiment i riskundersökningen. Den fjärde punkten är riskutvärderingen som syftade till att sammanställa tidigare delar i riskhanteringsprocessen. Här undersöktes om de analyserade riskerna ansågs vara acceptabla eller inte och om det finns möjlighet för riskreducerande åtgärder.

2.3 Risker med brännbara fasader

Risken för en omfattande fasadbrand är större med brännbara material jämfört med obrännbara komponenter och detta kan med hjälp av brandtriangeln argumenteras varför risken ökar. För att en brand ska kunna börja eller fortsätta brinna måste syre och bränsle förekomma i rätt proportioner (MSB, 2013). Om mer brännbart material introduceras till en brand erhålls en större energimängd som branden kan förbruka, vilket leder till att brandens effekt och produktionen av giftiga brandgaser ökar, förutsatt att tillgången av syre och värme finns.

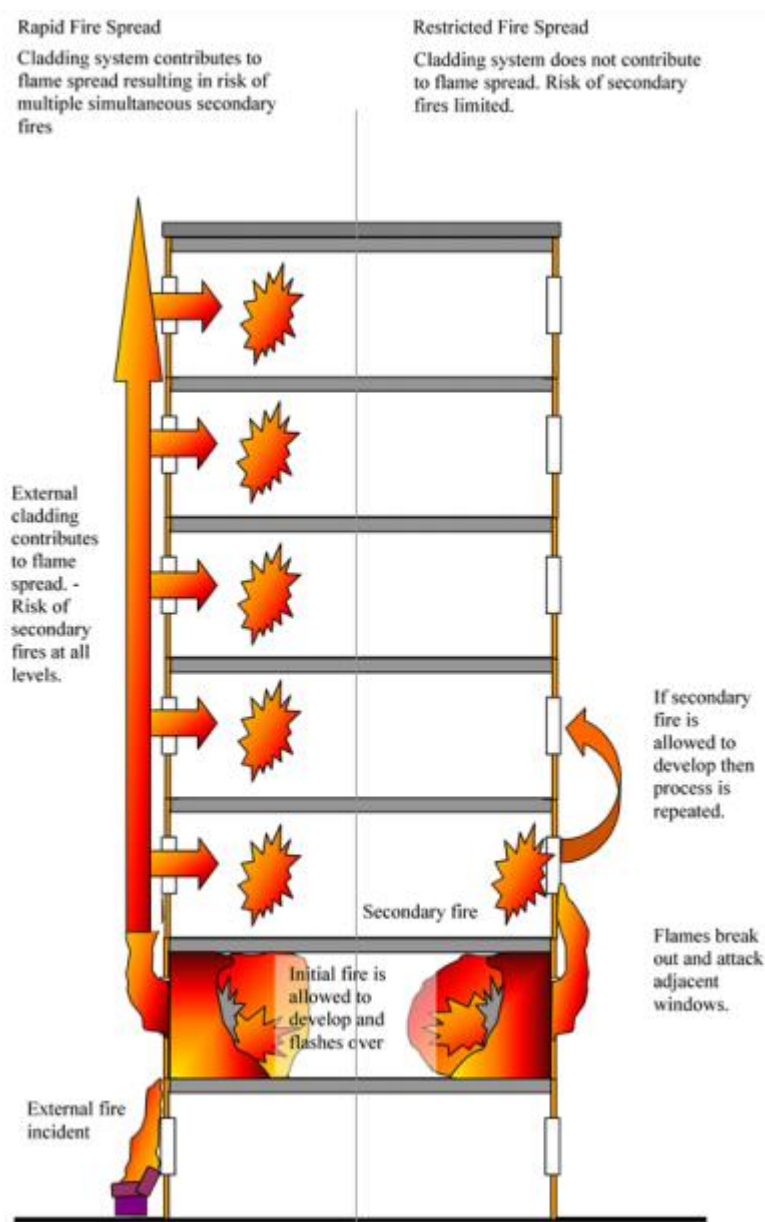
Om ett fast brännbart material påverkas av tillräcklig värme bryts det ner till brännbara gaser i en process som kallas pyrolys (Stauffer, 2003). Pyrolysisprocessen behöver enbart värme för att äga rum och är därför oberoende av tillgång till syre. Hastigheten som styr pyrolysisprocessen är den infallande strålningen och konvektionen. Desto större dessa är ju snabbare sker processen och mer brännbara gaser kan frigöras. Precis där gaserna bildas är blandningen ofta för fet för att antända vilket innebär att det finns för mycket bränsle i förhållande till syre. Även fast pyrolysisprocessen är oberoende av tillgången till syre är inte antändningen det, vilket följer tidigare logik beskrivet med brandtriangeln. Brandtriangeln innebär att luft måste tillföras i rätt koncentrationer som tillåter att blandningen

hamnar innanför brännbarhetsgränsen vilket innebär att blandningen kan antändas av en pilotlåga eller spontanantända om temperaturen är tillräckligt hög. Om materialet antänds kan det orsaka att ytterligare pyrolysgaser bildas som kan antändas vilket bidrar till en brandspridning. Processen startar om vid ett nytt opåverkat material och det skapas en fortskridande spridning av en brand, likt en snöbollseffekt. Om en brand påverkar en fasadlösning innehållande brännbart material medför detta en risk för brandspridning för att det brännbara materialet är vertikalt staplat.

Samhällsrisken och individrisken är större desto fler våningsplan ett hus har, där en vertikal brandspridning kan påverka hela huset och de människor som kan tänkas vistas där med antagandet att fler människor vistas i högre hus. Det blir också svårare för räddningstjänsten att rädda människor samt att släcka bränder i högre hus. Urbaniseringstrenden i Sverige pekar på att städerna förtätas och att fler höghus byggs (Live, 2020), vilket författarna av detta examensarbete menar på förhöjer exponeringen av denna risk i framtiden.

En brand kan sprida sig till flera våningsplan och skapa så kallade sekundärbränder i lägenheterna utmed den brandutsatta fasaden (Van Hees & Strömgren, 2018). Fenomenet med en vertikal brandspridning via brännbara fasader har påvisats genom tidigare bränder. Både branden i Grenfell Tower 2017 och i Dubai 2015 är exempel på detta fenomen (Chen et al., 2016). Ytterligare en risk är fallande brinnande delar av fasadsystemet som kan skapa sekundärbränder. Detta fenomen kan minska möjligheterna för utrymning för de personer som befinner sig i huset. Om en utrymningsstrategi används som innebär att personer ska invänta räddningstjänsten kan det resultera i att många människor inte hinner reagera om en brandspridning sker, vilket innebär att människor kanske inte hinner utrymma.

Till vänster i Figur 2 illustreras hur brandspridningen mellan våningar inträffar om fasadsystemet innehåller brännbart material. Till höger illustreras en fasad som är obrännbar och därmed inte bidrar till brandspridningen.



Figur 2 Möjligheter för brandspridning mellan våningsplan med brännbart material i fasader (vänster) jämfört med fasad som inte bidrar till brandspridning. Bilden ägs av och används med tillstånd av (BRE, 2003).

Fasadbränder kan uppstå på flera sätt menar Anderson et al. (2017). En orsak kan vara att en lägenhetsbrand, där lågorna som spiller ut från fönstret i sin tur antänder fasaden. Fasadbeklädnaden och isoleringsmaterialet kan vara brännbart och vid en brand kan materialen deformeras, vilket blottar mer brännbart material mot lågor. Vidare identifierar van Hees et al. (2020) att en extern brand, det vill säga en brand som startar i ett föremål utanför huset, kan antända fasaden. Det kan exempelvis vara en brand i ett fordon eller soptunna placerad för nära fasaden.

Om en brand skulle antända brännbart fasadmaterial står räddningstjänsten ibland inför en svårsläckt brand då släckvattnet kan ha svårt att nå fram till lågorna. På grund av fasadens uppbyggnad kan branden skyddas av konstruktionen från släckvattnet. Eftersom fasadsystemet *rainshield cladding* syftar till att hålla undan regnvatten innebär det också att släckvatten kan ha svårt att passera beklädnaden och nå lågorna.

I en studie utförd av brand- och riskkonsultbolaget BRIAB undersöktes förekomsten av brännbara fasader som en respons på Grenfell Tower branden år 2017, där frågeställningen var om en liknande brand kunde ske i Sverige (Strömgren, 2018). Strömgren (2018) gjorde detta med hjälp av ett frågeformulär där 113 personer svarade och urvalet bestod av personer som är erfarna brandskyddsprojektörer, byggare, bygglovshandläggare, fastighetsägare och räddningstjänster med mera. Svaren täckte alla län i Sverige vilket innebär att svaren är mer tillämpade att studeras ur en nationell synvinkel.

Resultatet av studien menar Strömgren (2018) pekar på en trend där användningen av cellplastisolering i fasader ökar. Enligt svar från enkäten är isoleringsmaterial i svenska fasader fördelat mellan 25% brännbar, 60% obrännbar och 11% okänd isolering i fasadsystem, resterande 4% redogörs inte. Förekomsten om vilka fasadsystem som den brännbara isoleringen finns i tas inte upp. Författaren uppger att det finns liknande fasadsystem av typen rainshield cladding i Sverige likt den som fanns i Grenfell Tower vilket innebär att det också finns en risk för liknande bränder. Fasadsystemet i Grenfell Tower inkluderade en brännbar isolering som kombinerades med en fasadbeklädnad av typen ACP (Aluminium Composite Panel). I Sverige är mörkertalet fortfarande ovisst gällande antalet byggnader med riskkonstruktioner (Brodin, 2019). Eftersom studien som BRIAB utfört är begränsad sett till antalet svar är det inte säkert att resultaten motsvarar verkligheten. En viktig aspekt som studien tar upp är hur brännbara fasadsystem valideras i verkligheten. Strömgren (2018) visar att 27 % av svaren indikerar att endast delar av fasadsystemet godkänns baserat på tester enligt SP Fire 105 och i 26 % av fallen testas hela ytterväggskonstruktionen i SP Fire 105 som det är tänkt. Vad som är anmärkningsvärt är att 25 % av svaren visar att ett utlåtande utförs av en brandkonsult. Resterande 22 % anger övriga svar, andra testmetoder eller vet ej. Referensen till Strömgren (2018) är en PowerPoint och det finns ingen offentlig rapport att hänvisa till.

Ett höghus beläget i Malmö med 15 våningsplan fick akutrenoveras till följd av att de yttersta fasadskivorna var brännbara (Jensfelt, 2020). Byggnaden hade under slutet av år 2014 godkänts för inflyttning och först under hösten 2020 upptäcktes att fasaden inte var utförd med rätt typ av fasadskivor och därmed inte uppfyllde regelverken. Detta kan tyda på att det finns fler hus i Sverige med bristande brandskydd.

3 LITTERATURSTUDIE

Detta avsnitt är riskidentifieringen och kommer att ge vidare kunskap inom de finns brandtekniska risker med fasadsystemet *rainshield cladding*. Den byggnadstekniska uppbyggnaden av fasadsystemet kommer att undersökas och varje komponents funktionella egenskaper kommer att granskas både under normala förhållanden och vid händelse av brand. Orsaken till detta är att varje komponent påverkar hela fasadsystemets brandsäkerhet enligt tidigare resonemang. Som en sista fas i litteraturstudien kommer det svenska regelverket att undersökas med hänsyn till nuvarande fasadkrav samt nationella och internationella testmetoder och klassifikationsstandarder. Syftet med litteraturstudien var att ge författarna insyn kring de rådande kunskapsluckorna inom de brandtekniska riskerna i fasadsystemet *rainshield cladding* och grafitbaserade brandstopp.

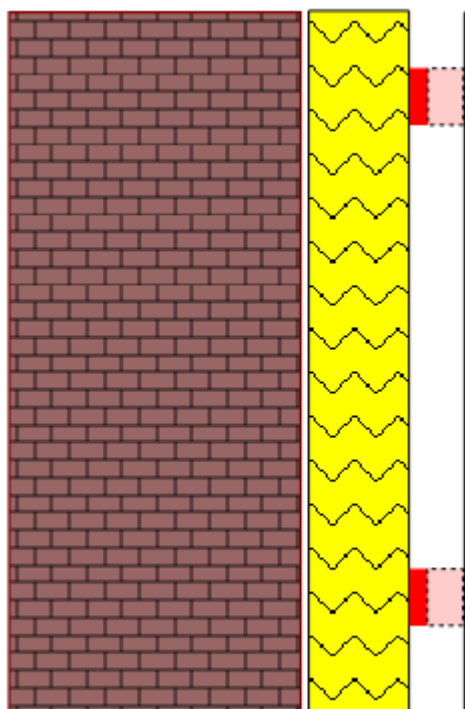
3.1 Bakgrund *rainshield cladding*

För att kunna utföra experiment med fasadsystemet *rainshield cladding* behövs en bakgrund som är heltäckande. I detta kapitel kommer därför den principiella uppbyggnaden av en *rainshield cladding*-fasad undersökas och fokuserar på de lager som bygger upp fasaden samt dess funktionella egenskaper.

3.1.1 Generell uppbyggnad av *rainshield cladding*

Som tidigare nämnt är definitionen av fasadsystemet *rainshield cladding* att isolera och skydda mot fukt och vatten genom att ventileras och dränera fasaden. Skikten som bygger upp fasadsystemet är placerade på en anordning som består av bärande skivor som i sin tur infästa i ytterväggskonstruktionen för stabilitet (NFPA, 2018). Detta innebär att fasaden inte är en del av den bärande konstruktionen och orsakar att denna typ av fasadlösning ibland benämns som en dubbelväggskonstruktion (Falk, 2014). Fördelarna med ett ventilerat fasadsystem är bland annat att behålla en bättre termiskisolering samt begränsa höga fukthalter i väggen, vilket sker genom naturlig konvektion i form av termisk stigitkraft (Asimakopoulou et al., 2016).

Bonner et al. (2020) menar att ett fasadsystem utfört i *rainshield cladding* kan ha följande byggtekniska struktur, se Figur 3.



Figur 3 Principiell illustration av de enskilda lager som tillsammans bildar ett fasadsystem av typen rainshield cladding. Lagret längst till vänster illustreras som bakomliggande vägg. Det gula materialet illustrerar isolering, på denna finns en fuktspärr. Det röda indikerar brandstoppets storlek vid normalfall och vid brand expanderar denna som illustreras av den streckade arean. Det yttersta skiktet längst till höger är regnskyddsbeklädnaden.

Notera att ett fasadsystem är betydligt mer komplext i verkligheten och detaljer som exempelvis fönster, balkonger eller infästningen inte inkluderas i Figur 3. Dessa typer av lösningar skiljer sig från varje byggnad vilket innebär att det är svårt att generalisera en heltäckande metod eller tillvägagångsätt för branddimensionering (FSD, 2020). Uppbyggnaden skiljer sig även då det kan finnas regler och ytterligare skivor av material (NFPA, 2018). Vidare finns fogar och andra installationer i fasadsystemet för att inte skapa områden där fukt kan läcka in (Batista da Silva et al., 2018).

Det första skiktet som är placerat längst till vänster i ett fasadsystem likt det som erhålls i Figur 3 är den bärande ytterväggen (Bonner et al., 2020). Den kan vara gjord i exempelvis betong, tegel eller trä. Materialet ska tillåta att bärande skivor kan fästas och utgöra den bärande konstruktionen för fasaden. Ytterväggen i sin helhet måste ha en tillräcklig stor strukturell bärighet för att tåla den ökade påfrestningen som fasadens egentyngd orsakar. Det andra lagret från vänster i Figur 3 är ett isoleringsmaterial. Utanpå isoleringsmaterialet sitter också en fuktspärr för att skydda isoleringsmaterial och underliggande fukt känsliga konstruktioner. Därefter installeras brandstoppen i luftspalten. Infästningspunkten kan dock variera mellan att vara fäst på isoleringsmaterialet eller det på den yttersta panelen. Det ska noteras att inte alla *rainshield cladding* har installerade brandstopp och andelen av vilka fasader som innehåller brandstopp är inte känt. (Bonner et al., 2020).

Luftspalten har egenskapen att tryckutjämna fasaden mot omgivningen, vilket leder till att trycket från eventuella vindkrafter som påfrestar den bärande väggen minskar (Poirazis, 2005). Egenskapen att tryckutjämna fasaden innebär också att fukt inte sugs in igenom glipor eller eventuellt dåligt tätade fogar då det inte bildas en större tryckskillnad (van Hees et al., 2020). Fogen kan dock gå sönder på grund av exponering från solljus och fysiska påverkningar vilket över tid tillåter att regnvatten passerar och detta påverkar fasadens tryckutjämnande egenskaper (Suresh Kumar, 2000).

Det yttersta skiktet, som är regnskyddet i fasadsystemet, fästes på de bärande skivorna. Plattorna som placeras är prefabricerade och kan vara av typen MCM-paneler (*Metallic Composite Material*). En annan typ av beklädnad är HPL-paneler (*High Pressure Laminate*). Hos fasadsystemet *rainshield cladding* finns det många olika alternativ att välja på vilket ökar möjligheterna för den estetiska funktionen (Arif Kamal, 2020).

3.1.2 Funktionella egenskaper av fasadens komponenter

Nedan beskrivs vilka komponenter som ingår i det fasadsystemet *rainshield cladding* i ordningen inifrån och ut med start från isoleringen, sett till väggens uppbyggnad.

Isolering

I Europa står byggnader för 36% av det totala koldioxidutsläppet där den största andelen av utsläpp är energiförluster där värme eller kyla förvinner ut från dåligt isolerade hus (Mikkola & Meuwisse, 2014). I vissa byggnader går det att reducera energiförlusten till nästan noll, vilket uppnås med ett tjockt lager av isolering (EAE, 2011). Erhorn et al. (2015) skriver att det finns flera olika typer av isoleringsmaterial som går att använda i en fasad. Syftet med isoleringen varierar beroende på var byggnaden geografiskt befinner sig. Vid ett varmare klimat kan syftet vara för att hålla nere temperaturen i byggnaden och tvärtom är syftet för kallare klimat att värmen ska stanna kvar i byggnaden. Ett isoleringsmaterial som uppfyller detta motverkar höga uppvärmnings- eller nedkylningskostnader. En värmeförlust behöver balanseras med mer energi för att få önskad temperatur, vilket bidrar till negativt klimatavtryck som i längden inte är hållbart. Vidare är ett annat syfte med isolering i fasader att förhindra fuktskador då isoleringen höjer temperaturen i ytterväggen och i fasadsystemet, vilket också minskar den relativa fuktigheten (Erhorn et al., 2015). Ett isoleringsmaterial som utsätts för fukt erhåller en högre fukthalt kan leda till höga värmelningstal som minskar isoleringsförmågan (Wang et al., 2015). Det orsakar att vissa isoleringsmaterial är i större behov av en fuktfri miljö än andra (Mattila, 2017). Fuktskador till exempel mögel kan leda till byggnadsskador och direkta hälsorisker för människor som vistas i byggnaden. Fuktskador är inte önskvärdt och om kan dessa undvikas kan det öka byggnadens livslängd, vilket också resulterar i ekonomiska och miljömässiga vinster (Erhorn et al., 2015).

Relevanta fysikaliska egenskaper hos isoleringsmaterial är bland annat densitet, värmeledningsförmåga, ljudisolering och fuktbeständighet (Papadopoulos et al., 2002; Papadopoulos, 2004). Värmeledningstal är ett mått på hur effektivt ett material leder värme (Asdrubali et al., 2015). Värmeledningstalet har symbolen λ och enheten W/mK vilket kommer från hur mycket konstant energiflöde som behövs för att ett material med tjockleken 1 meter ska ha en temperaturskillnad på 1 Kelvin (Asdrubali et al., 2015). Total värmeöverföringskoefficient (*U-värdet*) är ett värde för summan av en väggs värmeisolerande förmåga och har enheten W/m²K (Al-Homoud, 2005). *U-värdet* beräknas genom att ta hänsyn till varje komponent i fasadens isolerande förmåga. Detta summeras för varje skikt och då erhålls hela väggen *U-värde*. Ett lägre *U-värde* indikerar på en bättre isolerad vägg (Al-Homoud, 2005).

Fuktspärr

Fuktspärren ska placeras utanför de fukt känsliga komponenterna i fasadsystemet och syftet är att skydda andra komponenter från vatten i både vätske- och gasform (Lstiburek, 2011). Vissa typer isoleringsmaterial kan ha fuktspärren direkt på sig för att skydda dem. Det förväntas även finnas en fuktspärr som förhindrar transport av fukten från inomhus och ut i fasadsystemet. Koester (2010) skriver att en potentiell fukt exponering kan innebära förekomst av röta och mögel som kan förkorta komponenternas livslängd. Fuktspärren kan vara gjort av ett lager av plast, aluminiumfolie eller polyetenskivor och dessa är generellt tunna vilket innebär att de tar upp lite plats i fasaden (Bomberg

& Kisliwicz, 2015). Olika lösningar finns beroende på hur systemet är uppbyggt. Fukttransporten sker i fasadsystemets i luftspalt.

Luftspalt

Luftspalten är ett tomrum som finns i ett fasadsystem och kan variera i storlek i alla tre dimensioner. Det primära syftet med en luftspalt är att ventileras bort fukt och vatten (Falk, 2010). Även fast det yttersta regnskyddet syftar till att vara regnbeständigt kommer fukt att passera och nå luftspalten. Tjockleken på luftspalten skriver Falk (2010) är en viktig parameter att ta hänsyn till då den styr luftomsättningen i luftspalten. En större bredd genererar fler omsättningar av luft vilket i sin tur leder till att mer fukt kan transporteras bort. Detta i sin tur minskar uttorkningstiden hos fasadsystemet vilket skyddar mot eventuella fuktskador. För att erhålla de positiva egenskaperna hos luftspalten bör bredden vara minst 25 mm bred (Falk, 2010). Trots att fasadsystemet dränerar och ventilerar bort fukt kan det uppstå kondensation i luftspalten under exempelvis klara nätter då temperaturen är gynnsam för kondensation (Falk, 2014).

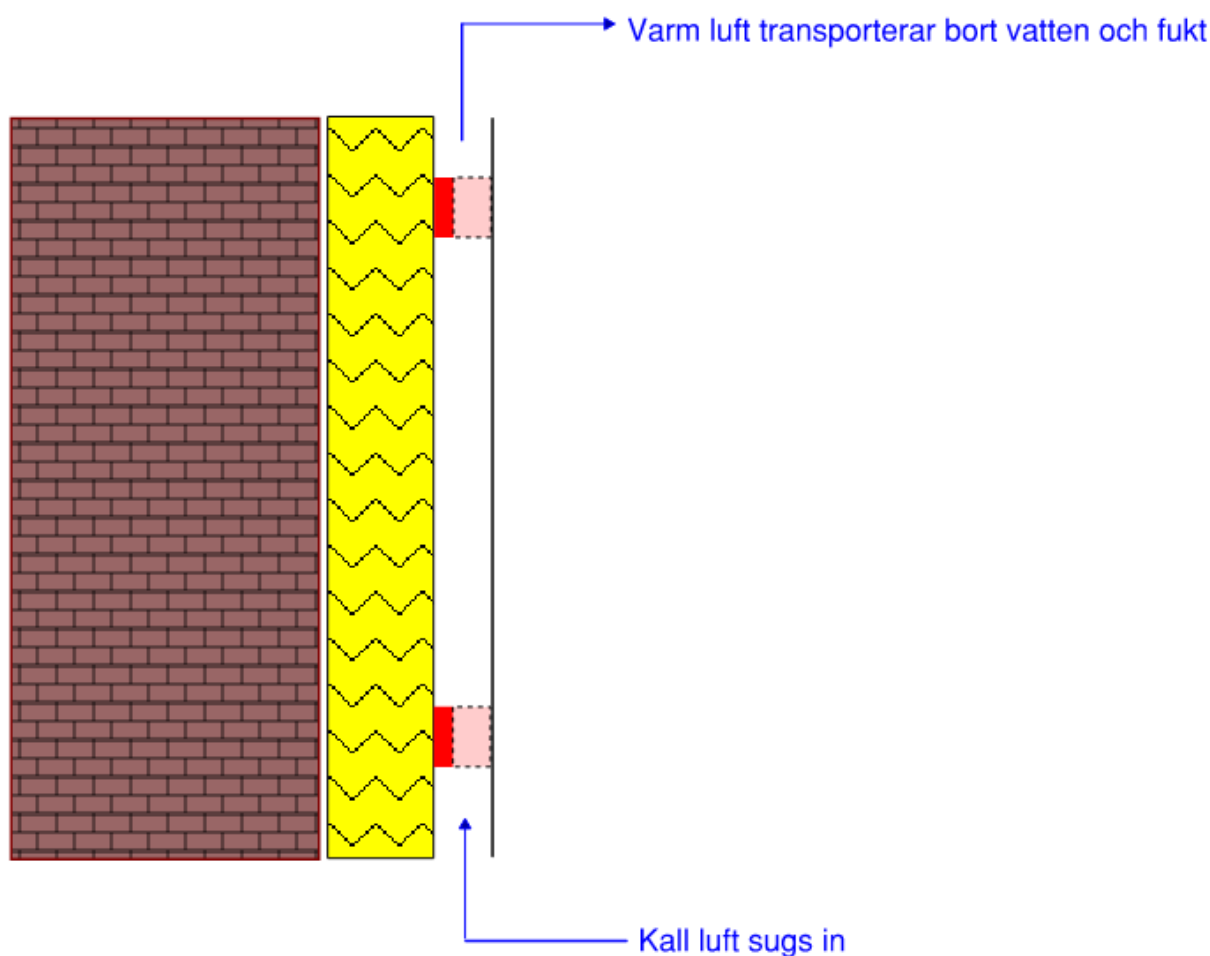
Luftspalten kan vertikalt ventileras naturligt, vilket orsakas av den så kallade skorstenseffekten (Tanaka & Lee, 1988). Principen är att kall luft strömmar in längst ner i fasaden. Den kalla luften värms sedan upp i luftspalten från värmen som byggnaden avger eller från solen, vilket främst sker på sommarhalvåret då solstrålningen är som störst (Tanaka & Lee, 1988). Detta genererar en densitetsförändring vilket kan förklaras med Ekvation 1. Ekvationen är härledd från allmänna gaslagen och är praxis inom beräkningar för brandteknik (BRE Global, 2020).

$$\rho = \frac{353}{T} \quad 1$$

T är luftens temperatur i Kelvin

ρ är luftens densitet i kg/m^3

Den kalla luften som har värmts upp i luftspalten får en termisk stigningskraft orsakad av densitetsskillnaden jämfört med den kallare uteluften (Tanaka & Lee, 1988). Denna tryckdifferens orsakar ett luftflöde som är riktat uppåt i luftspalten. Den uppvärmda luften kan innehålla mer fukt och transporteras bort genom en öppning på ovansidan av fasadsystemet, vilket gör att fasadsystemet ventileras. Desto högre luftspalten är, desto större flöde kan uppstå (Tanaka & Lee, 1988). Tanaka & Lee (1988) skriver att vindhastigheten har den största påverkan men är samtidigt svårast att ta hänsyn till i beräkningar. I modellen som Tanaka & Lee (1988) beskriver orsakas flödet av en termisk stigningskraft där solen är den drivande kraften. På vinterhalvåret är solens påverkan mindre vilket gör att luften blir mer stillastående enligt modellen, vilket skapar en synergi då isoleringsförmågan av hela fasadsystemet förbättras då luftspalten bibehåller spillvärmen från byggnaden (Escolano, 2019). Då vindhastigheten inte beaktas vid modellen begränsas resonemanget till enbart temperaturförändringar. I verkligheten förväntas vindhastigheten påverka tryckskillnaderna kraftigt och kan leda till att flödet ändrar håll. Bonner et al., (2020) menar att luftspalten är ett hålrum som löper vertikalt i fasaden se Figur 4.



Figur 4 Illustration av luftspalt. Pilarna visar luftens rörelse i luftspalten då solen är den drivande faktorn. Ingen vindpåverkan tas med i denna figur. Innehållet i figuren beskrivs i Figur 3.

Ventilerande brandstopp

Beroende på luftspaltens storlek och fasadsystemets brandrisk kan det installeras ventilerade brandstopp, vilket är en komponent som kan begränsa brand och rökspridningen i en fasad samtidigt som luftspaltens ventilationsegenskaper bibehålls. Brandstoppet kan vara en luftspaltsventil likt ett tätt hönsnät, benämnt på engelska som *Flame Arrestor*, som sväller och stryper flammor i kombination med en värmesvällande list (även kallad svällist), från och med nu benämnt som brandstopp. Brandstoppet expanderar när den utsätts för en viss aktiveringstemperatur vilket innebär att den tar tid på sig att värmas upp och sedan expanderas. De brandstopp som används i luftspalter ska hastigt expandera i händelse av brand och täta springor eller spalter och förhindra penetration av värme och brandgaser. Volymökningen kan bli 4 – 10 gånger större efter att den expanderat (Adl-Zarrabi, 2007). Vidare hävdar Adl-Zarrabi (2007) att brandstopp erhåller ett lägre värmeledningsförmåga efter att de expanderat. Brandstopp är ett aktivt brandskydd (Adl-Zarrabi, 2007) då det är en del av den byggnadstekniska lösningen och då den aktiverar vid brand. IFSA (2016) nämner tre vanligt förekommande material som kan användas som brandstopp. Dessa är ammoniumfosfat, hydrerat natriumsilikat och interkalerad grafit. Egenskaperna för dessa tre varierar och nedan presenteras några av skillnaderna (IFSA, 2016):

- Ammoniumfosfat: Materialet är baserat på mono-ammoniumfosfat eller ammoniumpolyfosfat. Aktiveringstemperatur ligger normalt kring 180 °C och volymökning

sker mjukt vilket innebär att den inte genererar något större tryck mot andra komponenter i fasaden, vilket IFSA (2016) hävdar kan vara bra i tryckkänsliga utrymmen.

- Hydrerat natriumsilikat: Ett material som kommer i flera olika dimensioner och har en förhållandevis låg aktiveringstemperatur på 110 – 120 °C. När hydrerat natriumsilikat expanderar genereras ett stort tryck och materialet hårdnar till en massa med goda isoleringsegenskaper. Materialet går även att förstärka med exempelvis glasfibrer för att kunna styra expanderings riktning. Det innebär att det går att säkerställa en större expansion i en bestämd riktning, vilket är gynnsamt i vissa luftspalter där geometrin är komplex (IFSA, 2016).
- Interkalerad grafit: Interkalerad grafit har en aktiveringstemperatur på 170 – 200 °C. Molekylstrukturen är sådan att vattenmolekyler finns mellan skikt av kolatomer, vilket är det som kemiskt skiljer materialet från grafit. Vid händelse av brand förångas vattenmolekylerna vilket skapar en reaktion då vattenången lämnar materialet. Detta orsakar en expansion och materialet ökar i volym och blir fluffigt och tvättsvampliknande. Interkalerad grafit kan generera ett stort tryck när den expanderar vilket innebär en risk om omgivande material är känsligt för tryckkrafter (IFSA, 2016). Om brandstoppet expanderar i en sådan omfattning att det orsakar skador på omliggande skikt kan det bildas nya vägar som rök och värme kan transporteras igenom. Detta betyder att brandstoppet uppgör en risk istället för en lösning om det används fel (IFSA, 2016). Återigen behövs ett helhetsperspektiv (van Hees et al., 2020).

Beklädnad

Det finns flera olika varianter av paneler som kan sitta ytterst på en fasad och ett av dessa material är MCM (*Metallic Composite Material*) (Deffenbaugh, 2016). MCM erhåller i princip inga termiskt isolerande förmågor utan syftar till att akustiskt isolera, skydda mot regnvatten samt bidra till byggnadens estetik (Kingspan, 2016). Den vanligaste typen av denna panel i brandsammanhang är ACP-paneler (*Aluminium Composite Panels*) (Bonner & Rein, 2018). Uppbyggnaden av en ACP-panel är bestående av två skivor av aluminium som lamineras till ett brännbart isoleringsmaterial, som oftast är polyetenen (Bonner & Rein, 2018). Desto mer isoleringsmaterial som fästs mellan skivorna desto bättre strukturella egenskaper erhålls samtidigt som brännbarheten ökar (Bonner & Rein, 2018). Tjockleken av panelen varierar mellan 4 – 6 millimeter där den enskilda aluminiumskivan har en tjocklek på ungefär 0,5 millimeter (CHUBB, 2018).

För att hantera den förhöjda brandrisken i en ACP-panel kan mineraler och flamskyddande medel blandas med polyetenen för att reducera brandrisken och till följd av detta finns många produkter på marknaden med olika egenskaper (Bonner & Rein, 2018). Det går generellt att dela upp ACP-paneler i tre kategorier (CHUBB, 2018). Den första kategorin är den mest brännbara och innehåller över 30 % brännbart material vilket benämns som ACP PE, där PE är polyeten. ACP PE är den typ av fasadbeklädnad som användes i Grenfell Tower (Guillaume et al., 2018). Andra kategorin har upp till 30 % brännbar isolering som benämns som ACP FR, där FR är en förkortning för *Fire Retardant* vilket innebär att panelen är brandskyddad. Tredje och sista kategorin är ACP A2 och innehåller mindre än 10 % brännbart isoleringsmaterial (CHUBB, 2018), där A2 kommer från materialklassen A2 från testet SS-EN 13501–2. Den sista panelen ska erbjuda bästa brandskydd då den innehåller minst brännbart material (Guillaume et al., 2018).

En annan typ av panel som kan sitta ytterst i en fasad är en HPL-panel. Uppbyggnaden av en HPL består av en ytterst belägen dekorativ yta som är placerad på flera lager av kärnmaterial. Dessa binds samman av en process som innebär att plattorna trycks mot varandra under en hög temperatur och ett högt tryck. Det dekorativa lagret består av ett pappersmaterial som är impregnerat av aminoplaster (ICDLI, 2015). När dessa plaster genomgår den process som innebär höga tryck och temperaturer hårdnar

materialet och blir irreversibelt till sitt tidigare mjuka tillstånd (Parry, 1973). Kärnan är också impregnerad fast med papper och oftast fenolbaserade produkter (ICDLI, 2015). Fördelar med HPL-paneler är att de har låg densitet, är vädertåliga samt den estetiska designen går att variera (Bonner & Rein, 2018). Den negativa aspekten är att panelerna oftast är brandfarliga, vilket styrs av förekomsten av flamskyddande medel, tjockleken och hur lagren är limmade. Vidare hävdar Bonner & Rein (2018) att oberoende forskning på HPL är bristfällig, vilket kan antyda på att resultaten av rapporter bör handskas med försiktighet då resultaten inte nödvändigtvis är konservativa.

Utöver de ovannämnde skivor finns exempelvis obrännbara skivor och vissa träbaserad skivor, etcetera

3.2 Regelverk, testmetoder och klassifikationsstandarder

I detta avsnitt beskrivs svenska regelverk, testmetoder och klassifikationsstandarder för fasadsystem. Även internationella testmetoder berörs. Nedan beskrivs de svenska regelverken och klassifikationsstandarderna.

3.2.1 Regelverk och testmetoder i Sverige

Byggregler BBR 29

Det svenska regelverket skiljer på brandkraven för fasader beroende på vilken byggnad fasaden sitter på. Generellt kan man skilja på kraven för olika byggnadsklasser. Byggnader med en byggnadsklass Br2 eller Br3 tillåts ett fasadsystem i lägst materialklass D-s2,d2 (BBR, 2011). Byggnader i byggnadsklass Br2 eller Br3 är maximalt uppförda i 2 våningsplan bortsett från småhus som kan tillåtas 3 våningsplan.

I Sverige ska ytterväggar utveckla en begränsad värme och rökutveckling och för byggnader tillhörande byggnadsklass Br1 ska utformas enligt följande fyra föreskrifter som är beskrivs i Boverkets byggregler, BBR 29 (citat från Boverket 2020).

“1. den avskiljande funktionen upprätthålls mellan brandceller,

2. brandspridning inuti väggen begränsas,

3. risken för brandspridning längs med fasadytan begränsas,

4. risken för personskador till följd av nedfallande delar av ytterväggen begränsas.

Det innebär i praktiken att fasader antingen ska utföras med obrännbart material (klass A2-s1,d0) eller provas med ett storskaligt brandprov (SP FIRE 105). Att den typ av fasad som fanns på Grenfell Tower skulle uppfylla de svenska kraven är därmed högst osannolikt.”

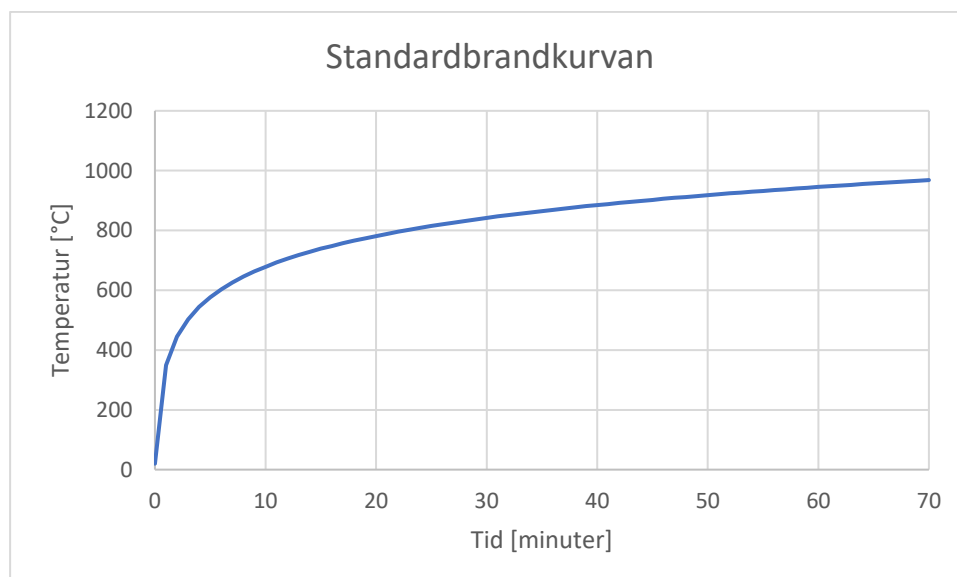
Byggnader i byggnadsklass Br1 har fler än 3 eller fler våningsplan eller innehåller en verksamhet som har ett stort skyddsbehov. Gällande fasader är kraven funktionsbaserade vilket innebär att det inte finns detaljkrav på fasadsystemen. Istället ska funktionen, det vill säga fasaden uppfylla de fyra föreskrifterna som är beskrivna ovan. I Sverige används SP Fire 105 som testmetod och vid godkännande uppfyller en fasad funktionskrav 2, 3 och 4. Om inte SP Fire 105 används kan funktionskrav 1 uppfyllas genom godkänt test enligt SS-EN 13501–2. Funktionskrav 2 och 3 kan separat uppfyllas genom klassifikationsstandard SS-EN 13501–1, som anger materialklass hos material om alla komponenter i fasadsystemet uppfyller materialklass A2-s1,d0. Funktionskrav 4 ska beaktas vid projektering och begränsade nedfallande delar. Klassifikationsstandarderna och SP Fire 105 beskrivs nedan. (Boverket, 2011)

SS-EN 13501–1

Denna standard klassificerar de enskilda byggkomponenternas reaktion vid en extern brandpåverkan (SIS, 2019). Resultatet av testerna ger upphov till olika brandtekniska klasser som anger huvudklass efter materialets brännbarhet (A1, A2, B, C, D, E och F) där A1 är obrännbar och F kan ingen brandklass bestämmas då den inte kan uppfylla de lägsta kriterierna eller att den inte är testad. Den lägsta huvudklassen som kan godkännas är E. Varje material klassas även med tilläggsklassificeringar. Den första är rökklass som anger hur mycket rök som bildas när materialet brinner och anges i s1, s2 och s3 där s1 innebär en begränsad rökutveckling. Det andra anger materialets droppklass och anger benägenheten för materialet att avge brinnande droppar och partiklar vilket klassas enligt d0, d1 och d2 där d0 anger inga droppar (SIS, 2019).

SS-EN 13501–2

För att upprätthålla en avskiljande funktion mellan brandceller anger standarden SS-EN 13501–2:2016 att exempelvis väggar, tak och golv ska testas enligt EN 1363–1:2012 (SIS, 2016). KlassifikationsstandardEN EN 1363–1: 2012 utsätter konstruktionens brandmotstånd med en brandpåverkan som följer standardbrandkurvan (SIS, 2020), som illustreras i Figur 5.



Figur 5 Standardbrandkurvan ISO 834.

Standardbrandkurvan definieras enligt Ekvation 2, där t är tiden i minuter och T är temperatur i °C (SIS, 2020).

$$T = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1) \quad 2$$

I detta test undersöks om föreskriftspunkt nummer 1 kan godkännas. I en ytterväggskonstruktion är avskiljningen mellan två brandceller utförd som ett brandstopp som normalt sett är placerad i bjälklaget. Testet utförs genom att utsätta brandstoppet för standardbrandkurvan och kriterierna benämnda E (integritet) och I (isolering) måste godkännas. Kravet för integritet mäts genom att hålla en bomullstuss på den icke-brandpåverkade sidan av brandstoppet. Om bomullstussen inte antänds eller börjar att glöda inom ca 10 – 30 sekunder godkänns produkten (Jansson & Strömgren, 2014). Ytterligare ett krav är att det inte får bildas öppningar som förbinder den brandbelastade sidan med den icke-utsatta med en viss dimension. Under provet undersöks detta med särskilda metallstavar med en viss typ av dimension (Jansson & Strömgren, 2014).

Kravet för isolering bestäms av en maximalt tillåten temperatur på icke-brandbelastade sidan. Den indelas i två temperaturkrav där det första innebär att ytmonterade termoelement inte får registrera en temperatur över 180 °C samt att medeltemperaturen under hela provet inte får vara högre än 140 °C.

Testmetoden för brandstopp, EN 1366–4, utsätts för standardbrandkurvan enligt ISO 834 (Johansson et al., 2013). Detta innebär en chockartad brand som leder till en snabbare expansion av brandstoppet. Denna testmetod är således inte konservativ i testandet av ett expanderande brandstopp. Johansson et al. (2013) skriver att bränder inom området 50 – 250 kW inte är tillräckligt kraftiga för att orsaka en expansion vid en takfot då temperaturökningen är för låg. Detta pekar på att testmetoden ISO 834 inte täcker alla typer av bränder som kan tänkas passera förbi ett brandstopp vilket innebär ett problem.

SP Fire 105

SP Fire 105 är en storskalig testmetod som efterliknar en fasad på ett trevåningshus med måtten 6 x 4 meter (höjd x bredd). Branden ska efterlikna en fullt utvecklad rumsbrand som ventileras via ett fönster. Detta görs med hjälp av att 60 liter heptan används som bränsle och placeras i ett rum på första våningen där testet pågår i 15 – 20 minuter (Anderson et al., 2017). Brandeffekten har en maximal effekt på cirka 2,0 MW. SP Fire 105 är en giltig testmetod i Danmark, Norge och Sverige (Anderson et al., 2016).

Föreskriftspunkt nummer 2, 3 och 4 i BBR testas i SP Fire 105. Om en fasad godkänns i SP Fire 105 är det ett alternativ till en obrännbar fasad av materialklass A2. Skulle en ytterväggskonstruktion godkännas i SP Fire 105 är det hela väggen som godkänns och inte komponenter i den. Exempelvis är fasaden inte godkänd på en annan bakomliggande vägg.

Under SP Fire 105 noteras att inga större delar av fasaden lossnar och trillar ner. Dock finns ingen definition angående storleken hos vad som anses som 'större delar'. Istället är en bedömning att de fallande objekten inte bör väga mer än 1 kg och dess area bör vara mindre än ett A4-papper med en tjocklek som understiger 7 mm (Boverket, 2020).

Som en andra parameter noteras brandspridningen i fasadens ytskikt och i väggen där en maximal spridning tillåts till underkanten av ett fönster beläget två våningsplan över brandrummet (Andersson et al, 2017). Vidare skriver Andersson et al. (2017) att den sista parametern som noteras är att inga flammor ska kunna antända takfoten som är belägen två våningar ovanför brandrummet. Detta mäts genom att en termometer placeras strax under takfoten och mäter om temperaturen överstiger 500 °C under en period av två minuter eller om temperaturen överstiger 450 °C under tio minuter.

För byggnader med fler än åtta våningar tillkommer ett krav i SP Fire 105 gällande en maximal inkommande strålning. Ytterväggskonstruktionen ska inte bidra till en ökad risk av brandspridning till en annan brandcell, se sekundärbrand i Figur 2. Detta ställs likvärdigt med en maximalt inkommande strålning på 80 kW/m² i rummet beläget ovanför brandrummet (BBR, 2011).

Innan SP FIRE 105 användes som testmetod var den testmetoden i mindre skala och introducerades på 1950-talet. Detta då den hade visat sig vara jämförbara med storskaliga experiment som utförts innan dess (Anderson et al., 2017). Men i takt med att brandbelastningen blev högre i bostäderna ifrågasattes utifall omskalningen fortfarande var jämförbar. Till följd av detta utformades testmetoden SP Fire 105 (Anderson et al., 2017).

3.2.2 Internationella testmetoder

På grund av den varierande förekomsten av olika fasadsystem runt om i världen finns det många olika storskaliga tester med olika kriterier och acceptansnivåer som ska möta de individuella byggreglerna varje land har (BRE Global, 2019). Med olika testmetoder går det inte att direkt jämföra säkerheten av fasader mellan länder vilket försvårar internationella forskningsprojekt då varje testmetod är definierat för ett enskilt land. Därför är ett harmoniserat regelverk på gång inom EU, vilket innebär att testmetoder och klassificering av fasader utgår från ett internationellt regelverk inom EU (van Hees et al., 2020). Dock finns det problematik då fasaders uppbyggnad är komplexa och skiljer sig mycket från fall till fall måste den nya metoden ta hänsyn till detta.

Nedan presenteras några exempel på testmetoder i olika länder. Ytterligare information om andra metoder och kompletterande information kan hittas i senaste rapporten av EU projektet för harmonisering av testmetoder i Europa (Anderson et al., 2019; Smolka et al., 2016).

Storbritannien BS 8414

I Storbritannien används ett test som heter BS 8414 och föreställer en fullt utvecklad rumsbrand där lågor slår ut genom ett fönster. Fönstret är placerat vid ett hörn där två väggar möts vinkelrätt (BRE Global, 2019). Branden har en maximal effektutveckling på ungefär 3,0 MW och testet pågår i ungefär 30 minuter (Delichatsios & White, 2014). Fasaden ska minst ha måtten 8 x 2,5 meter (höjd x bredd). Fasaden godkänns om temperaturen inte överstiger 600 °C vid 5 meter ovanför fönstrets samt att branden inte får spridas till den icke exponerade sidan av fasaden. Båda kriterierna får inte ske inom 15 minuter från det att temperaturen 2,5 meter ovanför öppningen nått 200 °C. Testet utförs utomhus vilket involverar mycket osäkerheter gällande väderförhållanden och naturliga variationer.

Tyskland DIN 4102–20

Tyskland har en testmetod som heter DIN 4102–20 och testet föreställer en fullt utvecklad rumsbrand där lågor slår ut genom ett fönster. Fönstret är placerat vid ett hörn där två väggar möts vinkelrätt. Brandkällan är en gasbrännare som har en konstant effekt på 320 kW och testet pågår i 20 minuter. Fasaden ska minst ha måtten 5,5 x 2 meter (höjd x bredd). Fasaden godkänns om inga brandskador (bortsett från smältning) uppstår 3,5 meter ovanför öppningen, temperaturen i väggen 3,5 meter ovanför öppningen understiger 500 °C samt att flammorna aldrig får nå toppen av testfasaden någon gång under testet. (Delichatsios & White, 2014)

USA NFPA 285

I USA används en testmetod som heter NFPA 285 och testet föreställer en fullt utvecklad rumsbrand där lågor slår ut genom ett fönster. Testet inkluderar endast en vägg och fönstret är placerat i mitten av fasaden. I testet finns två bränder varav den som kallas rumsbrännaren kommer ifrån en gasbrännare där effekten går ifrån 690 till 900 kW där höjningen går under testets gång. Den andra brännaren kallas för fönsterbrännare. Fönsterbrännaren startar en 5 minuter in i testet och dess effekt går ifrån 160 till 400 kW. Fasaden ska vara minst 5,3 x 4,1 meter (bredd x höjd). Fasaden godkänns om temperaturen 3,05 meter över öppningen inte når 538 °C. Ingen vertikal flamspridning får heller ske vertikalt 3,05 meter och horisontellt 1,52 meter ifrån öppningen. Flammorna får inte heller vara synliga utanför fasadens sidor. (Delichatsios & White, 2014)

3.3 Forskning inom *rainshield cladding* och brandstopp

I detta avsnitt diskuteras tidigare forskning inom brandstopp samt monterade brandstopp i fasadsystemet *rainshield cladding*. Orsaken till att fasadsystemet undersöks är att det behövs ett helhetsperspektiv för att skapa tillräckligt med kunskap inför de experimentella testerna.

Colic & Banjad Pecur (2020)

Colic & Banjad Pecur (2020) undersökte påverkan på brandspridningen vid förekomst av vertikala och horisontella expanderande brandstopp. Testerna utfördes enligt den brittiska standarden BS 8414–1 som är beskriven ovan. Författarna använde en varierande uppsättning av material och antalet av brandstopp varierades i totalt sju uppsättningar. I ett fall där obrännbart isoleringsmaterial i form av stenull jämfördes med brännbart isoleringsmaterial i form PIR, utan några brandstopp, kunde författarna påvisa en stor skillnad i uppmätt temperatur. Det uppmättes en temperaturdifferens på 750 °C, vilket författarna menar indikerar på att en brännbar isolering kraftigt bidrar till en brandspridning.

I ett annat fall undersökte Colic & Banjad Pecur (2020) skillnaden mellan obrännbar isolering i form av stenull och brännbar isolering i form av PIR respektive fenolskum i tre försök, där två av respektive vertikala och horisontella brandstopp användes i samtliga försök. Till skillnad från föregående test kunde författarna studera effekten av ett brandstopp när det introducerades i en riktig fasad och utsattes för en enligt författarna verklighetsbaserad brand. Författarna noterade att den högsta temperaturen på ca 900 °C uppmätts vid en liknande tid för alla tre försök i anknäytning till brandstoppet. Dock skiljer det sig genom att temperaturen i isoleringsmaterialet inte överskred 135 °C i stenullen. I PIR och fenolskummet var temperaturen ungefär en faktor sju högre. Författarna tolkar detta genom att bakomliggande strukturen av väggen skyddades då en obrännbar isolering används eftersom värmepåverkan blir mindre.

I de sista experimenten som Colic & Banjad Pecur (2020) utförde var det en skillnad på antalet vertikala brandstopp som studerades. Försöken utfördes med brännbar isolering och fyra horisontella brandstopp. Temperaturen var avsevärt lägre då fler brandstopp användes, vilket författarna menar indikerar på att flera vertikala brandstopp delvis begränsar värmespridningen.

Några av de viktiga slutsatser som kan erhållas från rapporten av Colic & Banjad Pecur (2020) är att vid användandet av en brännbar isolering är två horisontella brandstopp otillräckligt och en brandspridning förhindrades inte. Installation av horisontella brandstopp i en obrännbar fasad kan bidra till temperaturer som är upp till fem gånger lägre än den som uppmätts vid brännbar isolering med fyra brandstopp. Till sist är positionen av de horisontella brandstoppen avgörande för temperaturminskningen och begränsningen av brandspridningen.

Glockling et al. (2020)

Glockling et al. (2020) utförde experiment med fokus på brandbeteendet hos fasadsystemet *rainscreen facades* som är en synonym till *rainshield cladding*. Författarna undersökte brandbeteendet genom att elda olika materialkompositioner av typiska fasadsystem innehållande varierande material för både isolering och fasadbeklädnader. Författarna utförde experimenten enligt den brittiska fullskaliga testmetoden BS 8414–1 dock med en reducerad höjd på tre meter, vilket innebär att höjden av testtriggen var totalt fem meter.

I tre av de fyra utförda experimenten av Glockling et al. (2020) användes fasadbeklädnaden ACM–A2 med varierande isoleringsmaterial. I experimenten noterade författarna att fasadmaterialet smälte eller började brinna, trots klassningen att panelen vara obrännbar. Då det omgivande materialet i

panelen var av aluminium resulterade detta i att den strukturella integriteten minskade. Vid cirka 650 °C smälter aluminium (Kaufman, 2016) och det menar Glockling et al. (2020) är temperaturer många bränder överskrider. Då panelen smälte öppnades fasadsystemet upp och skapade direktkontakt mellan branden och ett brännbart isoleringsmaterial eller fuktspärr. Författarna hävdar att det var svårt att urskilja hur mycket panelen bidrog till branden då mätvärden dominerades av initialbranden som låg på 3 MW. Brandstoppen som fanns i luftspalten kunde därmed inte expandera och täta igen luftspalten eftersom panelen smälte bort och expansionen inte nådde något material. Panelen av ACM-PE uppvisade liknande resultat men författarna fick avbryta testet av säkerhetsskäl enligt standardprotokoll för BS 8414-1, vilket tyder på en väldigt stor brand.

Vidare påvisade Glockling et al. (2020) strukturella disintegreringar av fasadsystemet i två av experimenten med kombinationen PIR eller fenolskum med fasadbeklädnaden ACM-A2. Efter ca 20 minuter av testet hade isoleringsmaterialen delvis släppt från bakomliggande vägg. Författarna påvisade då att dessa kombinationer inte var acceptabla enligt BS 8414-1. Samtidigt är dessa kombinationer acceptabla i det brittiska regelverket och denna problematik åskådliggör problematik med icke heltäckande regelverk, hävdar författarna.

Glockling et al. (2020) jämförde rapportens resultat mot ett mellanskaligt experiment som utfördes av Guillaume et al. (2018). Guillaume et al. (2018) genomförde experiment på fasader med en initialbrand på 100 kW vilket lämnade fasadbeklädnaden relativt oskadad i jämförelse med de storskaliga testerna där panelerna smälte bort. Brandens effekt vid de mellanskaliga testerna menar Glockling et al. (2020) genererar andra typer av resultat som inte är jämförbara med de storskaliga testerna. Författarna skriver att komplexiteten av helheten av fasadsystemet gör att testmetoderna blir svåra att jämföra.

Johansson et al. (2013)

Johansson et al. (2013) har utfört tester på hur ett grafitbaserat brandstopp reagerat i två olika experimentuppsättningar. Experimentuppsättningarna som rapporten använde sig av var en konkalorimeter enligt ISO 5660 samt ett småskaligt test i en ugn. I konkalorimetern varierades värmestrålningen i fyra olika test vilket innebar olika förhållanden. De olika testerna på brandstoppet varierades med bland annat standardbrandkurvan, konstanta temperaturökningar, konstanta temperaturer, blötläggning av brandstoppet samt plötsliga, hastiga temperatur- och tryckökningar varierades. Detta resulterade i åtta olika försök.

Johansson et al. (2013) kom fram till att strålningsintensiteten inte påverkade hur mycket energi som krävdes för att brandstoppet skulle expandera, men däremot hur mycket den expanderade. Ju mer infallande energi, desto mer expanderade brandstoppet. I testet där brandstoppet blötlades påvisades inte någon skillnad i jämförelse med de torra försöken och brandstoppet täppte igen öppningen i samtliga tester. Det ska noteras att brandstoppets massa ökade med 16 % efter fuktexponeringen. Ytterligare en sak som ska noteras är att brandstoppen förvärmades med hypotesen att funktionen skulle förändras då den utsätts för en hög temperatur innan expansionen. Detta skulle kunna ha inneburit att brandstoppet fick tid att torka innan trycket ökades och således inte hade en sådan hög fukthalt som önskat. Författarna nämner i introduktionen en rapport av Adl-Zarrabi (2007) där det konstaterades att ett grafitbaserat brandstopps svällning kan minska med upp till 50 % ifall den är blötlagd vilket motsäger resultatet från Johansson et al., (2013).

Vidare hävdar Johansson et al. (2013) att de bara verifierat att brandstoppet fungerar för de konkreta, utförda försöken. Författarna anser att det behövs mer forskning på hur andra material på brandstopp fungerar i mer realistiska brandscenarior.

BRE Group (2020)

I en omfattande rapport utförd av BRE (*Building Research Establishment*) Group (2020) undersöks skillnaden av olika typer av MCM-paneler vid händelse av brand. Initialbranden var att en trästapel antändes och genererade en medeleffekt på 300 kW för varje experiment.

Resultatet av BRE Group (2020) visar att beklädnader av typen ACM PE genererade störst effektutveckling och högst temperatur av de testade panelerna. En panel av zink istället för aluminium med en kärna av PE tror författarna bör generera ett likande resultat då smältemperaturen är lägre för zink än aluminium. Dock resonerade författarna enbart kring resultatet av en zinkpanel då det saknades produkter på marknaden.

När test utfördes på en kopparpanel förändrades egenskapen av fasadsystemet vid brand drastiskt. Som resultat av koppars höga smältpunkt, som är knappt 1100 °C, bibehålls panelens integritet under branden. Branden i luftspalten begränsades till denna volym och detta genererade mycket höga temperaturer och strålningsnivåer. Skorstenseffekten blir mycket mer tydlig när ett material med en hög smältpunkt används. BRE Group (2020) belyser problematiken och komplexiteten med olika fasadsystem. Slutsatsen som författarna drar är om zinkpanelen används så uppmäts den snabbaste genombränningen och det största bidraget av effekt till branden. Samtidigt uppmätte BRE Group (2020) de högsta temperaturerna och strålningar i luftspalten då koppar användes i kombination med att panelerna behölls intakta.

Livkiss et al. (2018)

Livkiss et al. (2018) noterade vid ett mellanskaligt experiment att kvoten mellan brandens effekt mot spaltbredden i en fasad och flammans bredd (brandens effekt/(spaltbredden*bränslets bredd)) kan beskriva när flamhöjden ökar i luftspalten. Livkiss et al. (2018) visar om kvoten överskrider 300 kW/m² noteras en större flamhöjd och förhållande anges vara linjärt och flamhöjden är växande för större kvoter. Detta ger sambandet mellan spaltens bredd och brandens effekt. Om effekten ökar eller om spaltens bredd minskar resulterar det i en ökad flamhöjd. I ett fall uppmätte författarna en flamhöjd som var en faktor 2,2 större än det som uppmättes vid en öppen brinnande låga som är placerad intill en fasad. Kvoten mellan brandens effekt och bränslets bredd kallas för effekt per löpande meter. Denna kvot kan användas för att jämföra olika brännare som har varierande dimensioner. Livkiss et al. (2018) menar att strålningen inne i spalten ökar homogent längs med höjden då spaltbredden minskar. En mindre spaltbredd genererar en högre flamhöjd vilket orsakar den förändrade strålningen över hela spalten. Detta resulterar i en större påverkan på materialet som befinner sig i spalten och om det finns brännbart material är det en risk för antändning.

Mckenna et al. (2019)

Mckenna et al. (2019) har i en rapport undersökt brandegenskaper i olika komponenter som kan ingå i ett fasadsystem med *rainscreen cladding*, vilket de har gjort i mindre skala. Det gjordes flera tester på olika typer av fasadpaneler, varav två tester är gjorda med HPL-paneler. Dessa kallas författarna för HPL_FR och HPL_PF (där FR står för *Fire Retardant* och PF står för *Phenolic Foams*).

Mckenna et al. (2019) testade de olika panelerna i en konkalorimeter där HPL-panelerna hade en kortare antändningstid än ACP-panelerna då strålningen var 50 kW/m². HPL_FR hade en antändningstid på cirka 25 sekunder och en maximal effektutveckling per kvadratmeter på 263 kW/m². HPL_PF hade en antändningstid på cirka 50 sekunder och en maximal värmeutsläppshastighet på nästan 530 kW/m². Den fasadpanel som hade högst totalt värmeutsläpp i experimenten av Mckenna et al., (2019) var HPL_PF, som låg på 173 MJ/m². Slutligen hävdar författarna att de småskaliga testerna som utförts i experimenten är jämförbara med BS 8414–1-testerna med avseende på maximal

värmeutsläppshastighet. Kostnaderna för dessa experiment är ungefär 1 % i jämförelse med de fullskaliga testerna i BS 8414–1 (McKenna et al., 2019).

McKenna et al. (2019) menar att det finns en utbredd användning av HPL i fasader i Storbritannien. Trots detta har den brittiska myndigheten inte publicerat några officiella rapporter med testmetoden BS 8414–1 för fasader med HPL (McKenna et al., 2019). Från resultaten av de småskaliga försöken tror författarna att de inte skulle klara av de storskaliga testerna på grund av att testerna som inkluderade HPL-paneler överskred de kriterier för de utförda testerna. Detta skulle innebära att det även med HPL-paneler finns stora risker likt ACP paneler (McKenna et al., 2019)

NFPA (2018)

NFPA (2018) har utvecklat ett verktyg för att kunna bedöma de risker en brännbar fasad ger upphov till och även hur utrymningsstrategin kan påverkas av fasadsystemet. Verktöget har utvecklats av konsultföretaget Arup och är ett globalt verktyg vilket innebär att det saknar grund i ett specifikt nationellt regelverk. Bedömningen av risken utförs i verktöget på två nivåer i både fasadens brännbarhet och möjligheten till utrymning. På den första nivån utförs en enklare undersökning med hänsyn till konsekvens och sannolikhet för fasadens risker. Ett frågeformulär utgör ramen och frågor specificeras på fasadens brännbarhet i isoleringsmaterial, beklädnader, potentiella tändkällor och hur dessa geometriskt ansluter till varandra. Liknande undersöks utrymningsmöjligheter gällande brandlarm, tillgängliga utrymningsvägar och brandceller. Den första nivån riktas till personer utan större kunskap inom brand som ska kunna göra en första bedömning och sammanställa resultatet i en enklare riskmatris. Riskmatrisen indikerar om det finns en risk som behöver analyseras vidare eller om fasadsystemet anses acceptabelt.

Om riskmatrisen påvisar en kombination av risker med fasadsystemet och/eller bristande utrymningsstrategi ska en analys i nivå två utföras vilket har en djupare detaljnivå. Här undersöks de specifika fasadlösningar som används och vilka detaljer som kan medföra risker samt tändkällor. Bland annat diskuteras detaljer med luftspalter och beklädnader av HPL inom nivå två. Utrymningsstrategin kräver bedömningar som kräver en djupare förståelse för den specifika byggnadens utrymning. Lik resultatet i nivå ett är resultatet för nivå två presenterat i riskmatriser där fasaden och utrymningen sammanställs mot varandra. Vid olika konstellationer av risker kan riskreducerande åtgärder implementeras (NFPA, 2018). Om resultatet påvisar en risk som verktöget inte anser vara godkänd kan en bedömning utföras av en brandkonsult, vilket verktöget noterar som nivå tre. Dock behandlas inte denna nivå då dessa typer av bedömningar inte baseras på ett frågeformulär utan istället ingenjörsmässiga bedömningar (NFPA, 2018).

3.4 Sammanställning och diskussion av litteraturstudie

En *rainshield cladding* kan se ut på många olika sätt med uppbyggnader av olika material och tekniska installationer. I vissa typer av luftspalter används brandstopp som syftar till att begränsa rök och värme-spridning vid händelse av brand. I de experiment som är utförda noteras en skillnad i hur mycket produkter sväller vid olika typer av förhållanden.

Som det nämns i 3.3 finns det olika förhållanden och parametrar som kan påverka brandstoppet vid händelse av brand. Bland annat noterades fukthalten påverka expansionen av brandstoppet med upp till 50 %. Om ett brandstopp skulle fuktas i ett fasadsystem skulle det innebära stora konsekvenser för brandspridning i luftspalten i händelse av brand. Även brandens effekt påverkar hur snabbt brandstoppet aktiveras. Samtidigt som brandstoppet utsätts för en värmepåverkan gör även det omliggande materialet det. Funderingen är vad som händer först, att brandstoppet hinner svälla eller att det ovanliggande materialet antänds och det sker en brandspridning. I vissa fall har större bränder

noterats totalt förbigå brandstoppet när komponenter i fasadsystemet är brännbara. Även mindre effekter visar sig kunna medföra att en flamma kan förbigå brandstoppet och möjligtvis antända brännbart material på den tänkta skyddade sidan innan brandstoppet hinner nå aktiveringstemperaturen och expandera.

På grund av att det svenska regelverket är funktionsbaserat för fasader innebär det att kraven på detaljlösningar, exempelvis ett brandstopp, inte finns. Istället gäller det att möta kraven i BBR på ett sådant sätt att man tillgodoser hela fasadsystemets brandfunktion och övriga krav. Detta orsakar att fasadsystem kommer att skilja sig från byggnad till byggnad vilket innebär en problematik med att bedöma riskerna. För att möta detta måste fasaden undersökas i sin helhet med exempelvis testet SP Fire 105. Det skapas på så sätt en problematik då det finns lite kunskap kring detaljernas funktion samtidigt som helheten måste beaktas. Därför finns det ett behov av ett harmoniserat regelverk som innebär att brandkraven på fasadsystem är samma inom EU, vilket är under konstruktion.

Sammanfattningsvis kan riskidentifieringen påvisa att det finns aktuella brandrisker med fasadsystemet *rainshield cladding*. Den tidigare forskningen domineras av försök i både liten och stor skala gällande ACP-paneler vilket författarna av examensarbetet tror kan vara ett resultat av branden Grenfell Tower år 2017. En fasadbeklädnad av sorten HPL har inte fått lika mycket uppmärksamhet i forskningen som visar sig i det bristande antalet av publicerade artiklar. Detta samtidigt som HPL-paneler medför brandrisker, vilket påvisades i ett höghus i Malmö som behövde akutrenoveras (Jensfelt, 2020).

Även i den tidigare forskningen har det funnits experiment där brandstopp har använts i olika sammanhang. Men forskningen är inte heltäckande och har inte inkluderat alla typer av fasadsystem. I de fall som brandstopp funnits i fasadsystem har det varit större bränder involverade. Hur ett brandstopp agerar i olika förhållande har tidigare testats men mycket forskning tyder på att enskilda komponenters beteende vid brand inte går att koppla till ett fasadsystemets helhetsbeteende. Tester bör istället ske med brandstopp placerade i verkliga fasader för att undersöka brandstoppets egenskaper i en fasad. Därför finns det fler sammanhang där det kan vara intressant att se om brandstopp är en bra lösning för en fasad med avseende på brandskydd. Helhetsorienterade tester tar inte hänsyn till de detaljer som kan vara viktiga att undersöka. På så vis finns inte många rapporter som inte direkt tar hänsyn till brandstoppens egenskaper vid händelse av brand. Samtidigt måste det erhållas kunskap om hur fasadsystem fungerar och hur kommande experiment ska utformas vilket är anledningen till att fördelningen mellan litteratur som behandlar brandstopp i kombination med fasadsystem är låg.

4 FÖRSÖKMOTIVERING

I den tidigare riskidentifieringen påträffades kunskapsluckor gällande ett brandstopps egenskaper vid brand. Vid de mellanskaliga experimenten ligger stor fokus på hur kompositionen och variationen av material påverkar en potentiell brand där brandexponeringen är en viktig faktor och styrdes av brännarens effektutveckling. I många fall undersöks inte den direkta påverkan som ett horisontellt placerat brandstopp har och hur väl den begränsar flamspridning. På grund av detta ska detta examensarbete försöka fylla en kunskapslucka gällande egenskapen hos brandstopp genom att utsätta den för olika verklighetstroga förhållanden. Från litteraturstudien bedömdes fukthalten i brandstoppet få påverkan på olika brandstopps svällningseffekt vid händelse av brand. Den andra påverkande parametern från litteraturstudien är flammans effekt. Att ett brandstopp inte begränsar en brand kan beror på en liten eller en större brand. En liten brand skulle kunna tänkas orsaka antändning men inte aktivering av brandstoppet då expansionen förväntas ta längre tid vid lägre temperaturer samt att det tar en viss tid för expansionen att ta plats. Den större flammen kan orsaka en stor värmepåverkan på ovanliggande material och som antänder innan brandstoppet inte hinner expandera.

För att undersöka detta inkluderade experimenten ett konkalorimetertest som följde ISO 5660 samt egenkonstruerade mellanskaliga tester. Konkalorimetertestet syftade till att undersöka antändningstiden, eventuell effektutveckling och aktiveringstid hos de material som användes, speciellt brandstoppet. Vidare studerades skillnaden i erhållen data från konkalorimetertestet mellan fuktmättat respektive torrt tillstånd hos brandstoppet. I de mellanskaliga testerna utfördes brandstoppets egenskaper i större och mer komplexa förhållanden som efterliknade en verklig brand. Alla mellanskaliga tester äger rum i brandlabbet på LTH och där finns en begränsning på en maximal brandeffekt på 100 kW då flammor inte får slå upp i huven. Nedan anges vad som ingår i de olika faserna.

Fas 1 obrännbara material

I den första fasen var fasadsystemet konstruerat av obrännbara material. Fas 1 syftade till att undersöka brandbeteendet av fasadsystemet och skapa underlag för en testmatris, det vill säga hur de ingående variablerna förändrades i de kommande testerna. Brandbeteendet som noterades var hur väl flammen nådde in i luftspalten och vilken flamhöjd som genererades.

Fas 2 obrännbara material + brandstopp

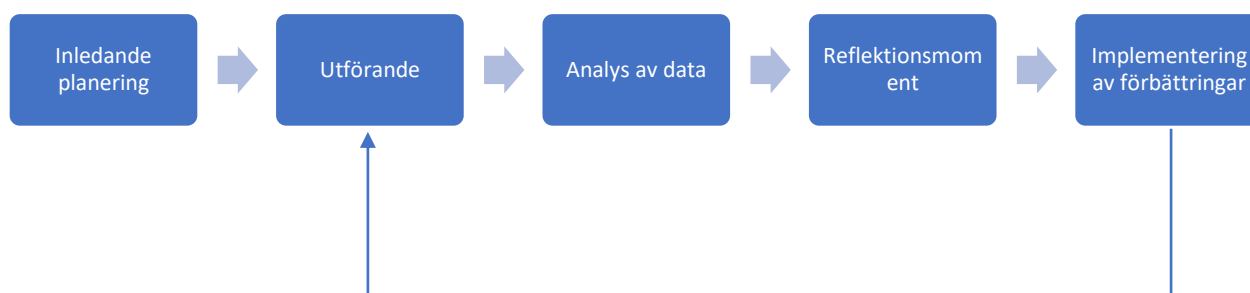
Den andra fasen var likt Fas 1 konstruerad med obrännbara material samt att ett brandstopp monterades i fasaden. Syftet var att undersöka brandstoppets beteende vid brand. I Fas 2 mättes temperatur och hastighet av gasflödet i luftspalten. Brandstoppet utsattes för varierande brandeffekter och fukthalter i brandstoppet i torrt respektive fuktmättat tillstånd. Brandstoppet fuktmättades genom att det placerades i en hink med vatten under 30 minuter vilket gav liknande mätning som ett brandstopp som fuktats i ett dygn.

Fas 3 brännbara material + brandstopp

I den sista fasen innehöll fasadsystemet en materialsammansättning som skulle efterlikna ett verkligt fasadsystem av typen *rainshield cladding*. Isoleringsmaterialet var PIR-skum med tillhörande aluminiumfuktspärr, brandstoppet var samma som i Fas 2, beklädnaden var en HPL-panel eller en obrännbar skiva. Material i materialuppställningen varierades och undersökte skillnaden om fasadsystemets materialval påverkade brandstoppets funktion. I diskussion med extern och intern

handledare bör det finnas liknande typer av materialkombinationer i fasadsystem i verkligheten. Syftet var att undersöka brandstoppets lämplighet i ett visst fasadsystem samtidigt som det undersöktes om brandstoppet begränsade brandspridning.

Metoden för de praktiska testerna följde en iterativ process se Figur 6.



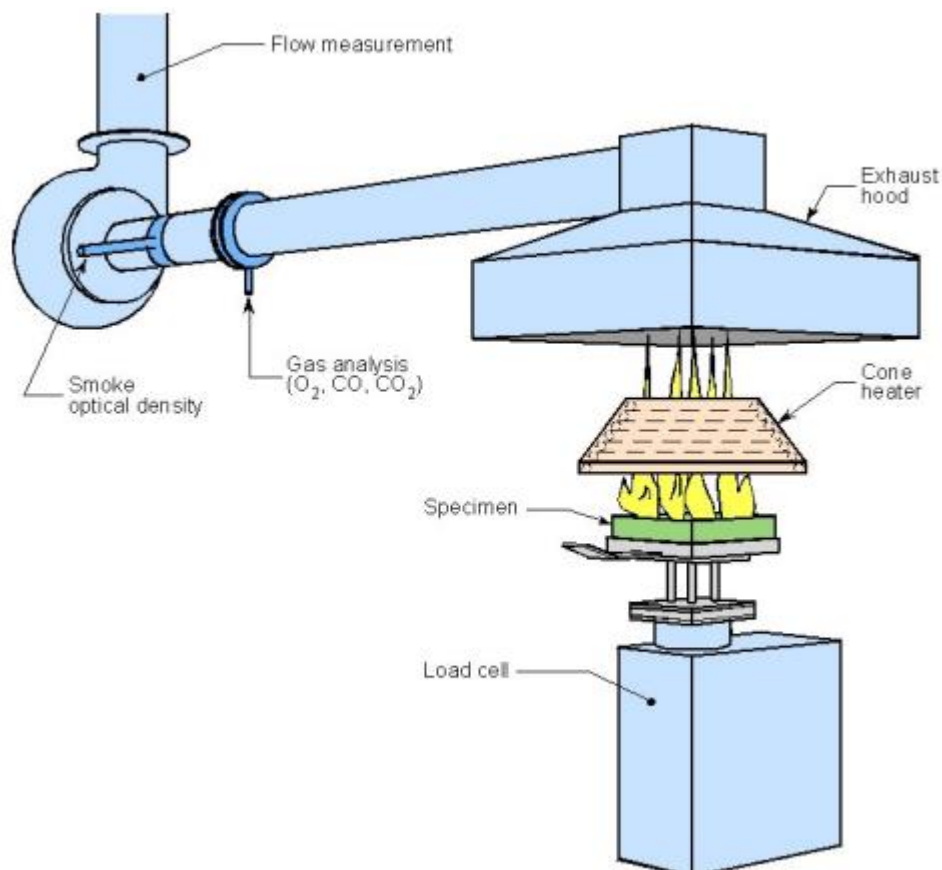
Figur 6 Iterativ metod för praktiska experiment.

5 KONKALORIMETERTEST

Under detta kapitel presenteras metod, testade material, resultat och diskussion för testet i konkalorimetertesten.

5.1 Konkalorimeter metod enligt ISO 5660 (2019).

En konkalorimeter är ett verktyg som genererar data då ett material påverkas av en infallande värmestrålning (Babrauskas, 1990), se bild på konkalorimetern i Figur 7.



Figur 7 Schematisk bild av en konkalorimeter. Publiceras med tillstånd från RISE (Försth & Larsson, 2008).

Metoden följer en version av standarden från 2019 (SIS, 2019). I standardtestet ISO 5560–1 används en konkalorimeter för att undersöka ett materials brandegenskaper. Under värmekonen placeras ett material med en kvadratisk dimension med sidorna 100 millimeter och en höjd på maximalt 50 millimeter under ett värmeelement som genererar en inkommande strålning (SIS, 2019), vilket ska efterlikna en infallande strålning från en brand. Material som testas placeras på en höjd som är 25 millimeter från konvärmaren (SIS, 2019). I försök med svällande föremål ska avståndet vara 60 millimeter för att tillåta expansion (SIS, 2019). Den infallande strålningen är tillräckligt stor för att orsaka pyrolys hos materialet och med hjälp av en gniständare kan dessa brännbara gaser antändas och materialet börjar brinna. Tiden till svällning noteras. Fler parametrar som går att ta fram med hjälp av en konkalorimeter är massförbränningshastighet, tid till antändning, rökproduktion och total värmekapacitet (Yang & Zhang, 2019).

Innan experimentet tog plats kalibrerades och nollställdes konkalorimetern. Efter detta påbörjades upphettningen av konvärmaren, i Figur 7 är den benämnd *cone heater*, till önskad temperatur som motsvarade en bestämd infallande strålning mot materialets yta. Detta kontrollerades med en

strålningsmätare. När rätt temperatur uppnåddes täcktes undersidan av konvärmaren med strålskärmar för att skydda materialet från strålning genererad av konvärmaren. Därefter placerades materialet i testhållarens. Experimentet startades genom att samtidigt aktivera datainsamlingen och att locket snabbt togs bort.

Efter antändning leddes brandgaserna från det brinnande materialet till en huv. Flödet av brandgaserna transporterades genom gasanalyser som mäter brandgasernas tillstånd och innehåll. I en konkalorimeter beräknas effekten genom att mäta mängden syrgas som förbränts (NIST, 2018).

Ett ämnes brännbarhet mäts i den energi per tidsenhet som ett material brinner med, vilket benämns som effekt. Metoden var att beräkna skillnaden mellan syrehalten i brandgaserna och syrehalten i den omgivande luften. Ett kilogram förbrukad syrgas motsvarar 13,2 MJ, vilket innebär att det går att beräkna en brands effekt vid en given tidpunkt (Karlsson & Quintiere, 2000). Författarna skriver att förbrukningen av syrgas är nästan identisk i energiinnehåll oavsett bränsle eller huruvida bränslet är i gasform, vätskeform eller fast form. Generellt kan effekten beräknas med hjälp av Ekvation 3 (SIS, 2019).

$$\dot{q} = \left(\frac{\Delta h_{hc}}{r_o} \right) \cdot (1,10) \cdot C \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{T_e}} \cdot \frac{X_{O_2}^0 - X_{O_2}}{1,105 - 1,5X_{O_2}} \quad 3$$

$\frac{h_{hc}}{r_o} = 13100$, som är förbränningsvärme för syrgas [kJ/kg]

$C = 0,0417$ är flödesmätarens kalibreringskonstant [-]

Δp är öppningens flödestryckskillnad [Pa]

T_e är öppningens temperatur [K]

$X_{O_2}^0$ är initial syrehalt [-]

X_{O_2} är syrehalten i brandgaserna [-]

Innan de experimentella försöken tog plats utfördes en riskanalys, se Bilaga A.

5.2 Testade komponenter

Försöket i konkalorimetern utfördes i brandlabbet vid Lunds Tekniska Högskola. Det gjordes tester på två komponenter, HPL-skivan och brandstoppet. Då ett tidigare examensarbete redan utfört tester på PIR-isoleringen fanns det därför inget behov att göra nya tester.

Materialklassen på HPL-panelen är B-s1,d0 enligt produktbladet. På grund av brandstoppets begränsning av bredden testades brandstoppet med dimensionerna 75 x 100 millimeter istället för 100 x 100 millimeter. Enligt produktbladet på brandstoppet ska det börja svälla efter en temperaturökning på 180 °C. Yttemperaturen vid expansion valdes inte att undersökas då det innebär en problematik med att mäta yttemperatur på ett material som expanderar. Vid expansionen förändras synfaktorn, det vill säga den infallande strålningen ökar då brandstoppet växer mot konvärmaren.

Brandstoppet är grafitbaserat med en omgivande blå PE-plast. Materialet är taget från marknaden och det kommersiella namnet nämns inte i examensarbetet. Det ska tydligt redogöras att brandstoppets skyddande plast var trasigt på lokala delar och är även naturligt öppet på sidorna vid montage. Detta innebär att fukt och vatten kan nå brandstoppet trots skyddsplasten.

För HPL-skivan var det effektutvecklingen per kvadratmeter som undersöktes. För brandstoppet undersöktes massförlusten över tiden, tid till expansion samt tid till dess att brandstoppet expanderat 60 mm. Massförlusten uppmättes med hjälp av en våg i konkalorimetern. Expansionen uppfattades visuellt samt med hjälp av en videoinspelning. Testet avslutades då inga visuella förändringar på brandstoppet noterades.

För att ta reda på hur lång tid brandstoppet behövdes för att fuktmättas undersöktes en provbit. Den torra startvikten var 2,4 gram och efter att ha legat i vatten i 15 timmar vägdes den till 4,0 gram. Därefter gjordes ett likadant test under 30 minuter för att se om en liknande fukthalt uppmättes efter denna kortare tid. Efter att brandstoppet tagits upp ur hinken tilläts det fria vattnet i form av vattendroppar att droppa av och sedan vägdes provkroppen igen. Fukthalten kan beräknas med Ekvation 4 (Govett, Mace, & Bowe, 2010).

$$\text{Fukthalt i procent} = \frac{m_{\text{fuktmättat}} - m_{\text{torr}}}{m_{\text{fuktmättat}}} \cdot 100 \quad 4$$

$m_{\text{fuktmättat}}$ avser vikten vid fuktmättat tillstånd

m_{torr} avser vikten vid ett torrt tillstånd

Resultaten från massan i ovanliggande stycke innebär att det fanns en fukthalt på ca 40 % då provbiten är fuktmättad. Det innebär att det förväntas ske en viktökning efter att brandstoppet har legat i vatten med cirka 70 %, vilket också kontrollerades inför varje test. Testerna som utfördes under konkalorimetern på brandstoppen beskrivs i Tabell 1. På HPL-skivan utfördes ett standardtest enligt ISO 5560 ovan med ett avstånd på 25 millimeter från konvärmaren.

Tabell 1 Beskrivning av testvariabler i försöksupställningen ISO 5560 för brandstoppet.

Test	Brandstoppets tillstånd	Värmestrålning [kW/m ²]	Startmassa [g]	Massa före fuktmätning [g]
A	Torrt	25	20,1	-
B	Torrt	15	20,6	-
C	Fuktmättat	25	37,1	19,5
D	Fuktmättat	15	34,5	17,7

I ett tidigare examensarbete av Hahlin (2019) konstaterades att det är svårt att se skillnader på olika PIR-skum i ett konkalorimetertest. I testerna av Hahlin (2019) togs ytskiktet i aluminiumfolie bort och endast isoleringsskummet testades. Hahlin (2019) hävdar att osäkerheterna i resultatet var stora och att repeteringen av försöken gav avvikande resultat. Därför angavs resultatet i ett intervall för både antändningstid och effektutveckling. Densiteten på PIR-skummet som användes i de kommande faserna är 35 kg/m³, vilket passar in i Hahlins (2019) tester där densiteten låg mellan 29–41 kg/m³. PIR-skummet som används i kommande faser har klassificeringen B-s1,d0 enligt fabrikanten.

5.3 Resultat konkalorimeter

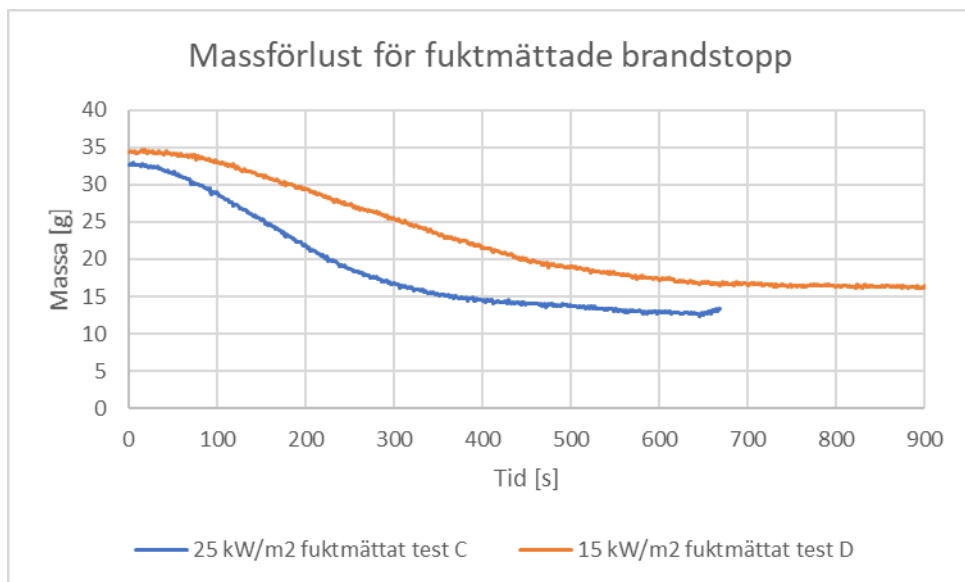
I detta avsnitt presenteras resultatet från testerna i konkalorimetern. I Tabell 2 presenteras tid till expansion samt tid till dess att brandstoppet expanderade 60 millimeter i de fyra testerna.

Tabell 2 Visar tid till expansion start samt tid tills brandstoppet expanderat 60 mm

Test	Tid till expansion [s]	Tid till 60mm expansion [s]	Absorberad värme vid expansion [kJ/m ²]
A	7	140	175

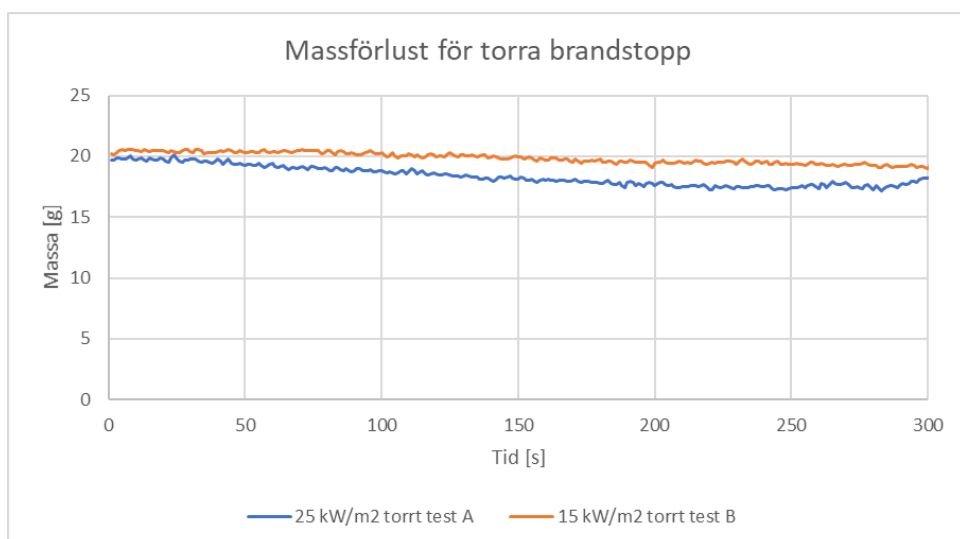
B	20	288	300
C	219	506	5475
D	460	799	6900

I Figur 8 erhålls massförlusten för det fuktmättade brandstoppet i test C och D. I test A och B noteras en liten massförändring under hela testet samtidigt som det lossnade bitar som förändrade massan.



Figur 8 Beskrivning av massförändringen för brandstoppen i test C (blå) och D (orange). Test C pågick under en kortare tid än test D.

I Figur 9 erhålls massförlusten för det torra brandstoppet i test A och B. Efter 280 sekunder för test A blir data ogiltig eftersom brandstoppet trycker mot konen vilket resulterar i att vågen noterar en större vikt.



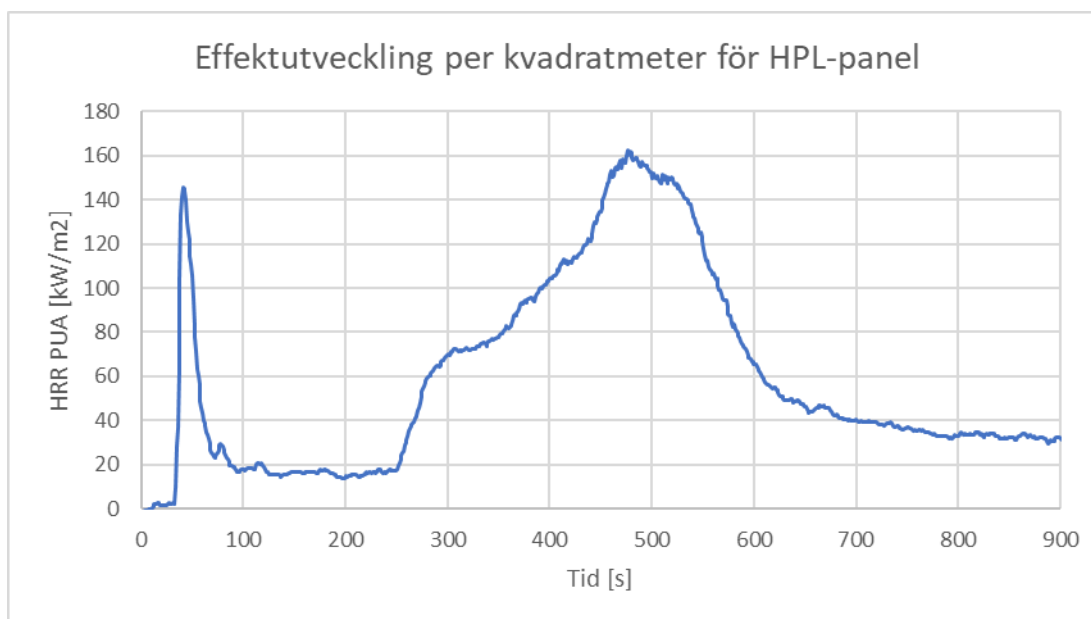
Figur 9 Beskrivning av massförändringen för brandstoppen i test A (blå) och B (orange).

I Figur 10 visas svällningen av brandstoppen vid tidpunkten då testerna avslutades.



Figur 10 Svällningen av brandstoppen vid tidpunkten då testerna avslutades. Figuren visar i ordning test A - D f.v.

I Figur 11 erhålls effektutvecklingen per kvadratmeter för en HPL-skiva.



Figur 11 Effektutveckling per kvadratmeter för en HPL-skiva vid infallande strålning 25 kW/m^2 . HRR PUA står för Heat Release Rate per unit area, vilket är effektutveckling per kvadratmeter.

Resultat för PIR-skum:

Antändningstiden för 95 % av de 72 försöken på PIR-skum utförda av Hahlin (2019) var 1 – 14 sekunder. Generellt var det kortare antändningstid vid lägre densitet och en större infallande strålning. Den maximala effektutvecklingen per kvadratmeter var $61 - 101 \text{ kW/m}^2$. Därefter sjönk effektutvecklingen per kvadratmeter efter ungefär 30 sekunder och hölls därefter konstant på $20 - 30 \text{ kW/m}^2$ i samtliga tester (Hahlin, 2019).

5.4 Diskussion konkalorimeter

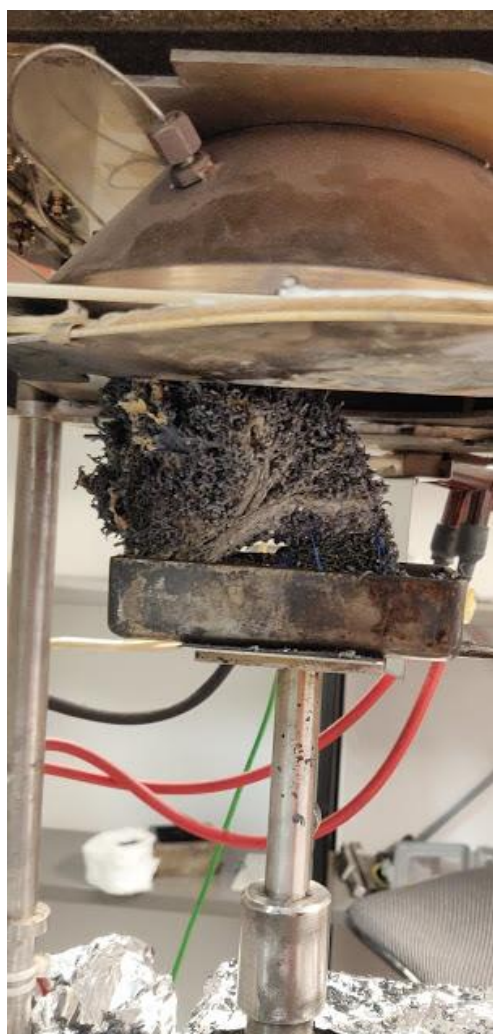
HPL-skivan antändes efter 20 sekunder då en del knastrande och smällande ljud uppfattades. Sen sloknade det. Denna första del var kortvarig och efter det tog det ungefär tre minuter till dess att HPL-skivan antändes igen. Den högsta effektutvecklingen per kvadratmeter var 163 kW/m^2 och den var över 150 kW/m^2 i cirka 60 sekunder för att sedan minska.

Ur rapporten av Hahlin (2019) går det att konstatera att PIR-skummet är lättantändligt och fick en hög effektutveckling väldigt hastigt. Därefter fortsatte PIR-skummet att brinna då den utsattes för strålning. PIR-skummet förkolnade också under konkalorimetertestet och förlorade dess integritet (Hahlin, 2019). Hahlin (2019) gjorde försök utan aluminiumfuktskyddet, vilket hade kunnat förändra resultatet med avseende på tid till antändning och effektutveckling.

För testerna med fuktmättade brandstopp gick det att se att brandstoppet inte nådde upp till aktiveringstemperaturen förrän den största delen av fukten hade ångats/kokats bort. Då materialet fortfarande avger fukt och vattenånga antas ytemperaturen vara begränsad till 100 °C. Detta går att se i Figur 8 både i test C och D där massan närmar sig massan vid torrt vid tidpunkten då den expanderar. För de torra testerna går det att se att massan minskar med tiden, dock är massförändringen väldigt liten.

När ett torrt brandstopp började svälla noterades en jämnare svällning över materialets yta jämfört med det blötlagda där expansionen var mer lokal. Svällningshastigheten noterades vara olika för torrt och fuktmättat tillstånd och det blöta brandstoppet tog längre tid på sig att svälla. Detta även om den största delen av fukten försvann, vilket diskuterades tidigare. Visuellt observerades en större svällning då brandstoppet var torrt, men svällningen i testet med 15 kW/m² var inte skillnaden lika stor.

Mängden värme som behövdes för att brandstoppet skulle börja expandera varierade beroende på strålningen och var betydligt mindre för testerna med 25 kW/m², vilket skiljer sig från slutsatserna i Johanson et al., (2013). En skillnad från testerna som Johanson et al., (2013) utförde är att i dessa tester var grafiten täckt av en PE-baserat skyddsplast, vilket kan ha haft en inverkan på den infallande strålningen på grafiten genom att det krävdes energi att smälta bort skyddsplasten vilket kan ha fördröjt tiden till expansion. En bild på brandstoppets utseende efter svällning illustreras i Figur 12.



Figur 12 Bilden illustrerar ett brandstopp som är placerat under konkalorimetern i ISO 5660, test B 350 sekunder in i testet. Brandstoppet ligger i metallbrickan och har svällt.

Svällningsprocessen går att illustrera i Figur 12 och det ser ut som att brandstoppet är pressat i olika lager av material, vilket kan ge en inblick i tillverkningsprocessen. Det första som noterades var att den skyddande blå plasten smälte bort. Sedan noterades att det översta lagret expanderar och sedan börjar underliggande lager expandera vilket gav upphov till denna form. I detta fall blev expansionen något ojämn vilket innebär att brandstoppet började luta åt vänster i bild. I det fallet när ett blött brandstopp användes noterades inte de undre lagren av pressat material expandera i samma utsträckning. Orsaken tros vara att de fortfarande innehåller fukt vilket innebär att den inkommande värmen gick till att förångas bort vattnet. När det första lagret svällde isolerades värmen vilket innebär att mindre värme nådde dessa lager och svällningshastigheten minskade.

En intressant aspekt vore att blöta och torrlägga ett brandstopp flera gånger för att undersöka om den svällande egenskapen förändras. Antingen sker detta genom att ett ämne binds med vattnet och förs bort eller att de pressade lagren i brandstoppet släpper från varandra. Det noterades tyvärr inte om vattendropparna var missfärgade när det tilläts att droppa bort, vilket skulle kunnat visa om hypotesen stämmer eller inte. Ett brandstopp förväntas blötläggas och torkas ut i ett verkligt fasadsystem vilket kopplas till livslängden och robustheten.

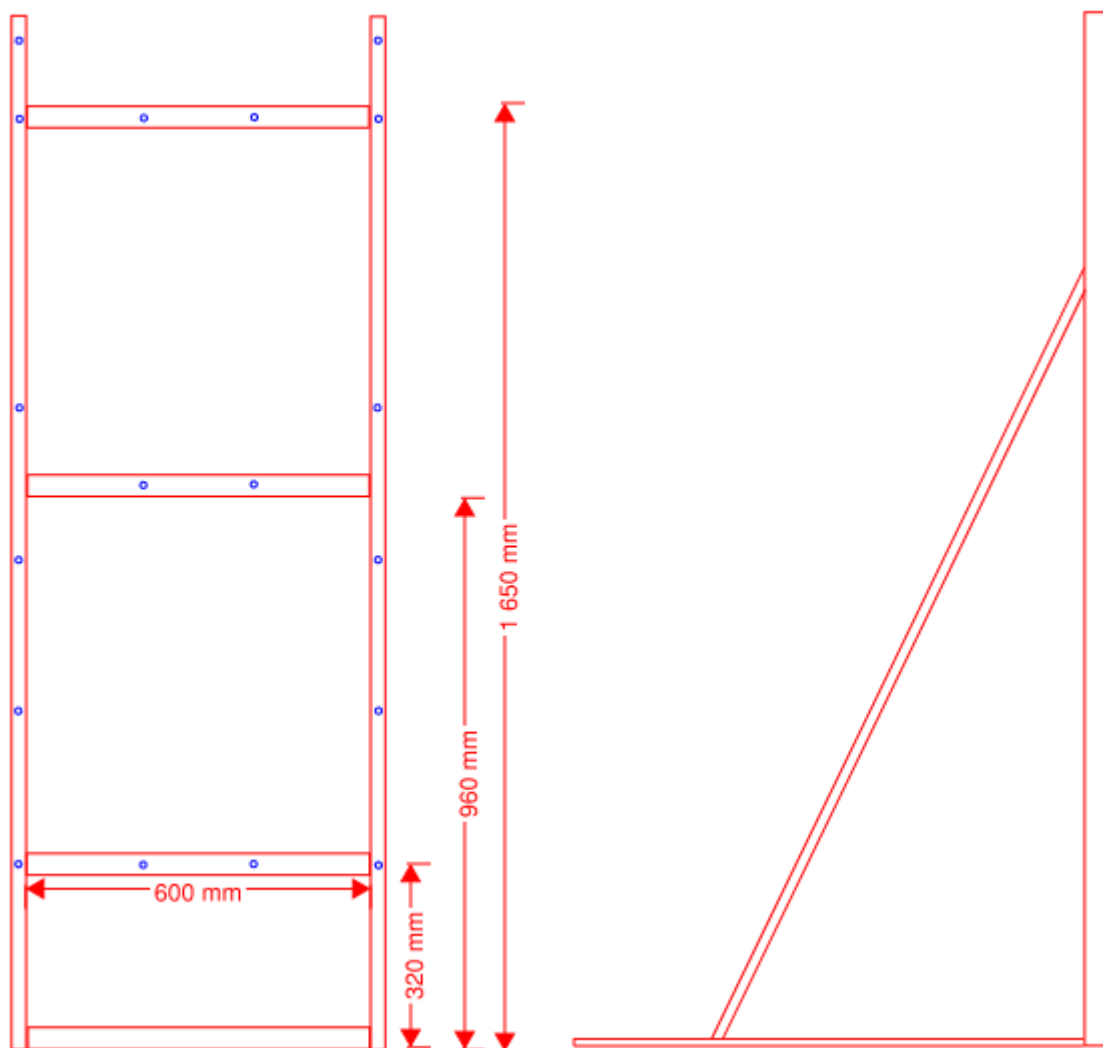
De fuktmättade brandstoppen som användes vid testerna hade en högre fukthalt än vad provbiten hade, då provbiten inte hade någon skyddsplast. Orsaken var att det fanns fritt vatten i form av vattendroppar som skyddsplatsen förhindrade att rinna ut. Innan experimentet tog plats vidtogs åtgärder för att få ut som mycket vatten som möjligt. Detta gjordes genom att hänga brandstoppet så att vatten kunde rinna av.

6 MELLANSKALIGT TEST FAS 1

Under detta kapitel presenteras metod, resultat och diskussion för test i Fas 1. Testmetoden finns inte beskriven i standard utan är istället framtagen av författarna av detta examensarbete i samarbete med intern och extern handledare.

6.1 Metod Fas 1 - obrännbara material

Under Fas 1 användes följande testrigg som är tillverkad i stål, se Figur 13.



Figur 13 Bilden till vänster i figuren beskriver testriggens dimensioner sett framifrån. Rött markerar metallställningen och de blåa cirklarna markerar hål som en fasad kan fästas på. Den högra bilden visar testriggen från sidan.

Dimensionen på fasadsystemet som fästes på testriggen är 62 centimeter i bredd och 60 centimeter i höjd. På testriggen placerades två icke-brännbara skivor som sattes på ett avstånd på 5 centimeter vilket gav upphov till en luftspalt. Skivorna som användes var en 1,2 centimeter tjocka med densiteten 1200 kg/m². Det innebär att endast en del av testriggens area användes, vilket exponerade metallställningen för påverkan av flammor. För att skydda metallställningen kläddes den in i samma

obrännbara skivor samt isoleringsmaterial på utvalda punkter. Isoleringsmaterial på utvalda punkter. Fasadsystemets utseende under Fas 1 erhålls i Figur 14.



Figur 14 Bilden till vänster är fasaden sett framifrån utan brännaren. Bilden till höger är fasaden sett från sidan och det går att se spaltbredden. Den undre skivan syftar till att skydda ställningen mot värmepåverkan. De två övre skivorna bildar luftspalten, där placerades mätinstrumenten.

Vidare täcktes luftspalten från sidorna vilket syftade till att minska luftflödet från sidorna för att efterlikna ett fasadsystem. Ytterligare ett syfte var att begränsa flammorna kommer in i luftspalten via fasadens nederkant och inte via sidorna. På den högra bilden i Figur 14 placerades en glasskiva som

tillät att det gick att se in i luftspalten och visuellt observera flammorna, se Figur 15. På andra sidan placerades obrännbart isoleringsmaterial.



Figur 15 Ena sidan av fasaden är ogenomskinlig. Det går att se de termoelement som är placerade i luftspalten.

För att mäta temperaturen användes ett termoelement som placerades i mitten av luftspalten 25 centimeter upp. Termoelementet hade en tjocklek på 0,3 millimeter, vilket innebär att den var termiskt tunn och kunde mäta hastiga temperaturförändringar. Termoelementet tillverkades genom att tvätta två metalltrådar runt varandra.

En *sandboxburner* placerades under fasaden och bränslet var gasol. Brännaren som användes har en diffusionsflamma vilket innebär att luften och gasolen blandades genom en diffusionsprocess när gasolen strömmat ut från sandbädden. Sand placeras i brännaren som syftar till att skapa ett jämnare gasolflöde och flamma. Vidare i rapporten används ordet *sandboxburner* för brännaren.

Dimensionen på *sandboxburnern* 30 x 60 x 30 (längd x bredd x höjd) i centimeter. Höjden på bränslet är 17 centimeter ovanför marken då *sandboxburnern* var placerad direkt på golvet vilket innebär att avståndet mellan sanden och kanten är 13 centimeter. Gasöppningens dimensioner valdes till 10 x 30

centimeter och detta gjordes med hjälp av att lägga en obrännbar skiva ovanför sanden och kanterna fogades. Brännaren placerades intill fasadsystemet. Brännarens utseende erhålls i Figur 16.



Figur 16 Sandboxburnern sett ovanifrån. En yta på 10 x 30 centimeter kapades ut från en obrännbar skiva där gasolen tilläts passera vilket ses i ovankant av brännaren. Bilden är tagen uppifrån.

Effektutvecklingen från gasolflödet beräknas med Ekvation 5 (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$\dot{Q}_{mass} = \dot{m} * \Delta H_c * \chi \quad 5$$

\dot{m} är massflödet [kg/s]

ΔH_c är förbränningsvärme [kJ/kg] och den är 46 MJ/kg för propan (Karlsson & Quintiere, 2000).

χ är förbränningseffektiviteten och antas till 0,7 för propan (Karlsson & Quintiere, 2000).

Massflödet beräknas med hjälp av Ekvation 6.

$$\dot{m} = \dot{V} * \rho \quad 6$$

\dot{V} är volymflödet [m³/s]

ρ är densiteten som är 1,808 kg/m³ vid 25 °C för propan (Engineering ToolBox, 2018)

Testrighen placerades under en ventilationshuv, vars avsikt var att ventilerade undan brandgaserna. Vid det första experimentet var höjden 17 centimeter över golvet. Därefter varierades höjden för att undersöka vilken höjd av brännaren som ger bäst typ av flammor. Vid starten av experimentet påbörjades datainsamlingen och därefter användes gasolen. Flammans effekt ökades tills dess att flammor började slå över luftspalten och då avbröts försöket. Inför test 2 ökades brännarens höjd till 30 centimeter. Detta upprepades ytterligare en gång till test 3, vilket innebar en höjd på 43 centimeter

över golvet. Höjden av *sandboxburnern* styrdes med staplade bitar av lättbetong och en pallyft, se Figur 17.



Figur 17 Upphöjningen av *sandboxburnern* skedde med hjälp av en truck och staplade lättbetongbitar.

Följande tester utfördes under Fas 1, se Tabell 3. Testnamnen inkluderar beskrivande nummer och bokstäver för hur testet är genomfört. Första siffran 1 står för Fas 1, nästa nummer är bränslets höjd i centimeter.

Tabell 3 Benämning av tester från Fas 1.

Testnamn
1-17
1-30
1-43

6.2 Resultat Fas 1 - obrännbara material

Nedan presenteras resultatet från ett test i Fas 1. Resultatet från test 1-43 genererade bäst förutsättningar inför kommande faser då flammen regelbundet slog in i luftspalten på ett önskat sätt, vilket anses öka repeterbarheten. De övriga två testernas flammor var mer oregelbundna. Resultatet av de två övriga testerna erhålls i Bilaga B.

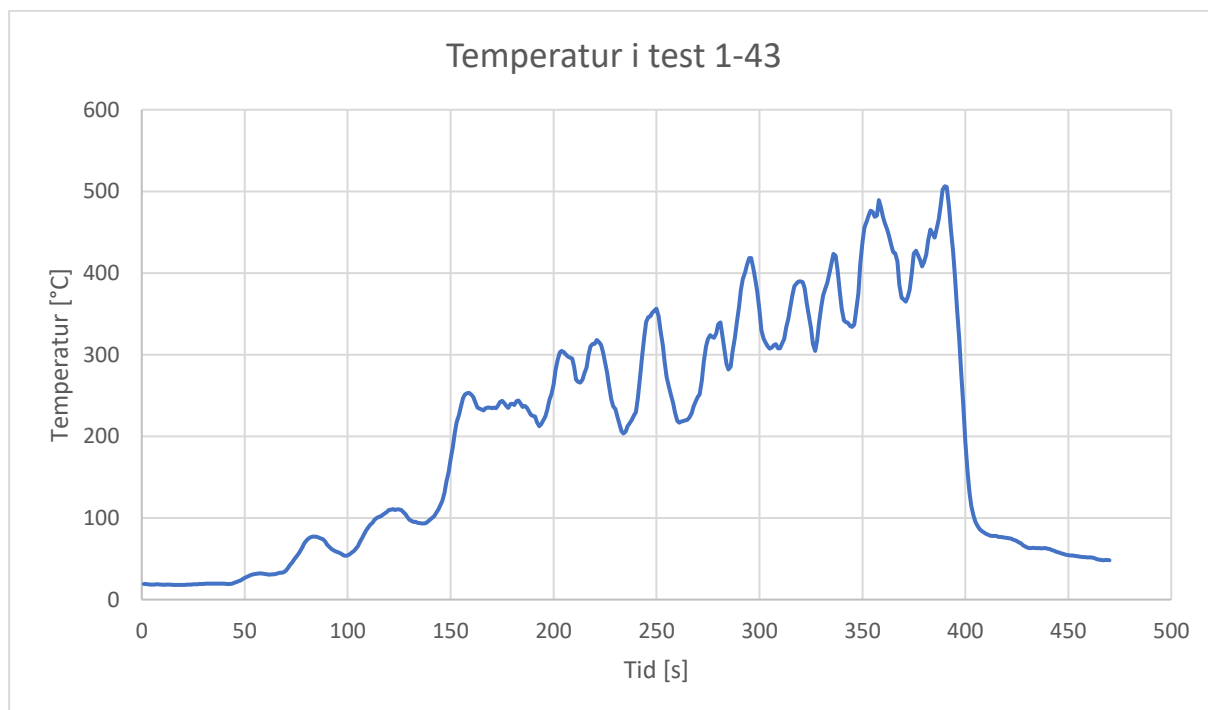
Test 1–43: Bränslets höjd 43 centimeter

Effekten från brännaren styrdes med en gasregulator och varierades med tiden. Ökningen i effekt skedde under några få sekunder mellan varje nivå. Variationen över tid erhålls i Tabell 4.

Tabell 4 Hur effekten varierades med tiden i test 1–43 i Fas 1.

Tid [s]	Effekt [kW]
0	0
80	10
150	20
210	30
270	40
330	50
390	0

I Figur 18 presenteras medelvärdet för hur temperaturen varierade med tiden. En mätpunkt för temperaturen är ett medelvärde av de tio senaste sekunderna vilket motsvarar tio mätvärden. Detta medelvärdesbildande används i alla resultatfigurer framöver.



Figur 18 Temperaturens variation med tiden i test 1–43 i Fas 1. Termoelementet var placerat i mitten av luftspalten.

6.3 Diskussion Fas 1 - obrännbara material

Innan *sandboxburnern* som slutligen användes i Fas 1 testades en mindre *sandboxburner* med måtten 7 x 7 centimeter. Gasflödet från denna brännare fick en för hög gashastighet redan vid en låg effektutveckling och flammen slog igenom luftspalten direkt, vilket inte ansågs vara ett troligt brandscenario. I kombination med begränsningen att lågor inte tilläts slå upp i huven valdes denna brännare bort. Det övervägdes om branden skulle utgöras av en brinnande trästapel eller en pölbrand. Dessa bränder valdes snabbt bort på grund av den bristande kontrollen över effektutvecklingen och att bränslen tenderar att sota mer.

Arean för gasöppningen i *sandboxburnern* togs fram iterativt. Den första och största arean som testades var 15 x 60 centimeter. Den utsläppningsarean orsakade att flammor slog utanför och runt testtriggen samtidigt som få flammor nådde in i luftspalten. På grund av detta minskades arean till 10 x 30 centimeter för att en större del av flammen skulle nå in och påverka luftspalten, samtidigt som storleken av flammen skulle vara ett mer troligt scenario för en brand i ett fasadsystem.

Utifrån de tre försöken i Fas 1 kan man dra slutsatsen att temperaturen fluktuerar kraftigt och når temperaturökningar på upp emot 300°C på korta tidsperioder när rådata studeras. Vilket var fallet under test 1–43 då effekten var 50 kW. Detta observerades då flammor periodiskt fluktuerade mellan utanför och innanför luftspalten vilket orsakade temperaturförändringarna. Genom att jämföra resultaten från datainsamlingen med visuella observationer kan det styrkas att temperaturens fluktuering orsakas av flammans periodiserade intrång i luftspalten. Det innebär att temperaturen i data uppmäts på ett verklighetstroget sätt. Storleken på termoelementet kan också noteras vara tillräckligt litet för att notera fluktueringen.

För test 1–17, där avståndet mellan brännaren och luftspaltens öppning var som störst noterades att flammen sökte sig bort från fasadsystemet och inte in mot luftspaltens öppning. På grund av detta sker det stora temperaturförändringar när väl flammen nådde in eftersom fasaden hinner kylas ned innan nästa flamma slår in. Detta fenomen resulterade i en mer oregelbunden temperaturökning och utseendet av Figur 42 blev mer påverkat av detta än de två andra testerna i Fas 1. Test 1–43 påvisade det jämnaste flöde av inkommande flammor och på grund av detta valdes höjden på bränslet till 43 centimeter i Fas 2 och 3.

Under alla tre test då effekten var 50 – 70 kW observerades att flammorna periodiskt bildade en U-liknande form, se Figur 19.



Figur 19 U-formad flamma som uppstod vid höga effekter.

På grund av den 13 centimeter höga kanten mellan utsläppningsarean av gasolen och brännarens kant måste tilluften upp över kanten och sedan vända riktning nedåt för att nå botten av brännaren. Tilluften som passerar över brännarens kant har ett stort moment vilket resulterar i att flammor trycks mot kanterna av brännaren. På grund av detta fenomen noterades det inte några flammor i mitten av brännaren och således observerades en U-formad flamma.

På grund av att fasadens bredd är större än gasolutsläppningsbredden tillåts ändå flammorna att nå upp i luftspalten, dock inte helt centrerat. Väl i luftspalten noterades flammor bre ut sig och platta till sig vilket innebar att termoelementet i mitten ändå utsattes för flampåverkan trots den U-formade flammen. Detta fenomen pekar på att det är svårt att styra flammans placering, istället är det gasolens utsläppningsarea vi kan kontrollera. Möjliga förbättringsförslag vore att foga bättre i de kanter där gasolen noterades läcka ut samt att såga ut en obrännarskiva som passar bättre.

Ett kvantitativt mått som kan används för att jämföra tester är begreppet effekt per löpande meter. Det innebär förhållandet mellan brandens effekt över brännarens längd. I detta examensarbete användes effekten 50 kW på en löpande längd på 30 centimeter vilket ger upphov till en effekt per löpande meter på 167 kW/m. Enligt det mellanskaliga testet ISO 13785–1 används 100 kW på en längd på 1,2 meter (White et al., 2013) vilket orsakar en effekt löpande meter på 83 kW/m. Det skiljer sig därmed på en faktor 2 mellan ISO 13785–1 och det egna mellanskaliga testet. I jämförelse

med ISO 13785–1 är vår brand mer konservativ och utsatte brandstoppet för högre temperaturer och strålningar. Motsägelsefullt är en större brand inte nödvändigtvis mer konservativ om testuppställningen ses i sin helhet och effekt per löpande meter tas i beaktning.

7 MELLANSKALIGT TEST FAS 2

Under detta kapitel presenteras metod, resultat och diskussion för test i Fas 2.

7.1 Metod Fas 2 - obrännbara material och brandstopp

Fas 2 utgick ifrån erhållet resultat och diskussionen från Fas 1. En liknande materialuppsättning användes i Fas 2 som i Fas 1 med skillnaden att ett brandstopp installerades samt att fler mätinstrument användes. Brandstoppet hade måtten 4 x 75 millimeter (tjocklek x höjd) och dess längd kapades utifrån fasadens bredd, vilket blev 560 millimeter. Enligt produktbeskrivningen kan brandstoppet användas i en luftspalt vars bredd är maximalt 50 millimeter om den fästes med skruv eller spik. Vidare expanderar brandstoppet vid en temperaturökning på 180 °C och sedan tar det två minuter för brandstoppet att svälla och försegla luftspalten. Brandstoppet har möjligheten att expandera 25 – 30 gånger större än ursprunglig tjocklek och skadar inte närliggande komponenter. Efter expansionen ger brandstoppet brandmotstånd i form av integritet och isolering i 30 eller 60 minuter beroende på montering enligt produktbladet. Det ska tydligt klargöras att endast en specifik produkt av brandstopp användes i experimenten. Slutsatserna som dras är endast baserade på denna produkt.

Ett mätinstrument som användes i Fas 2 var en så kallad TSC (*Thin Skin Calorimeter*)-mätare. Syftet med denna var att kvantifiera den infallande strålningen mot fasaden samt notera flammor som passerade förbi brandstoppet. Uppbyggnaden av TSC-mätaren är generellt två material med termiska egenskaper som är olika från varandra. I dessa experiment användes en cirkulär och tunn kopparskiva som fästes på ett bakomliggande cirkulärt och tjockare isoleringsmaterial. Se Bilaga C för tillverkningsprocessen. Principen är att metalldiskens temperatur är homogen vilket kan säkerställas om Biots tal är mindre än 0,1 (Hidalgo et al., 2017). Se Figur 20 för en bild på en TSC-mätare.



Figur 20 TSC-mätare. Svart cirkulär platta är koppardisken som målats med värmebeständig svart färg. Isoleringsmaterialet kan ses och termoelementen sticker ut på baksidan.

En flödesmätare installerades vertikalt och längs med flödesriktningen av brandgaserna, ovanför brandstoppet. Mätaren är av typen *bi directional probe* och kan på svenska översättas till dubbelriktad sond.

Intill flödesmätaren placerades även ett termoelement. Hogan et al. (2009) skriver att en flödesmätare kan uppmäta den lokala hastigheten av brandgaser, i detta fall de brandgaser som tränger in i luftspalten. Mätaren baserar beräkningen av hastighet som en funktion av uppmätta tryckskillnader mellan de två sidorna, i detta fall tryckskillnaden över och under. Den ena sidan är vänd mot flödesriktningen och den andra sidan är riktad bort. På grund av detta skiljer sig det dynamiska trycket mellan de två sidorna och med hjälp av Ekvation 7 kan hastigheten beräknas (Bart, 2005; McCaffrey & Heskestad, 1976).

$$v = \frac{\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}}{k_p} \quad 7$$

v hastigheten av brandgaserna [m/s]

ΔP tryckskillnad mellan de två sidorna av flödesmätaren [Pa]

ρ densiteten av brandgaserna [kg/m^3]

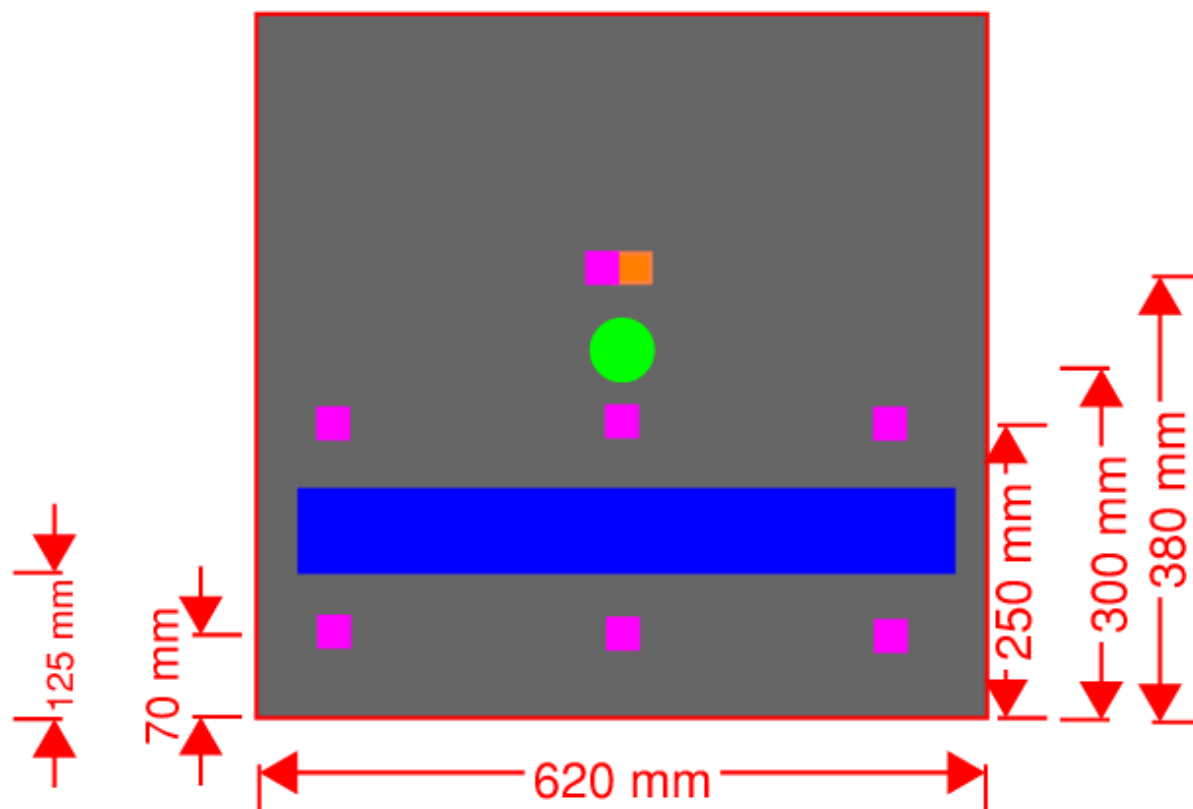
k_p kalibreringskoefficient som är 1,046

Se Figur 21 för en bild på en *bi directional probe*.



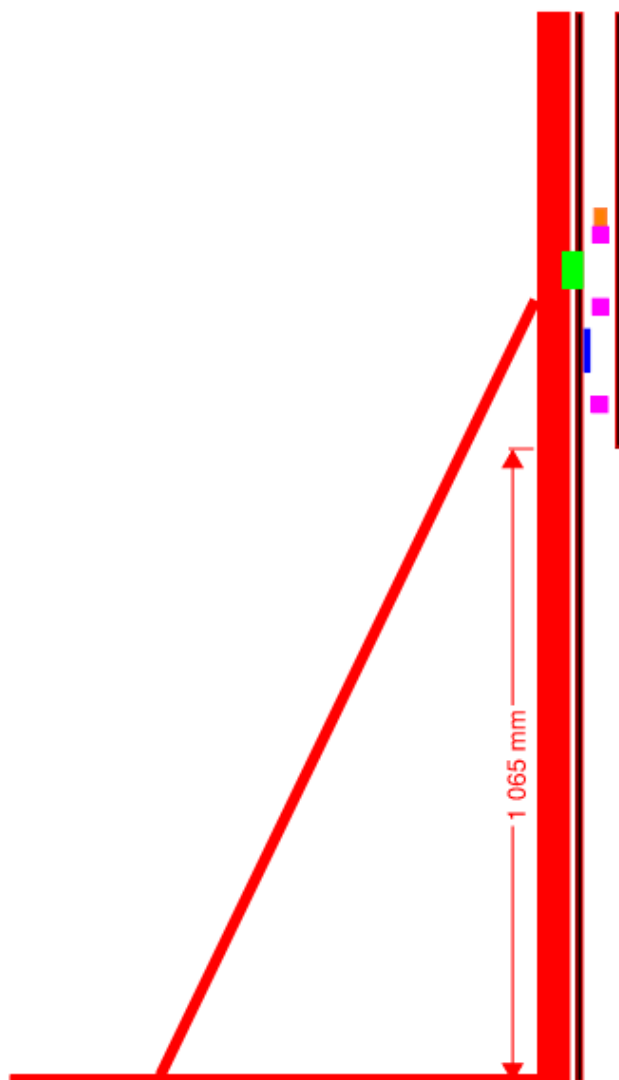
Figur 21 Utseende av ett horisontellt placerat *bi directional probe*. Bilden är tagen framifrån. Ett termoelement är placerat till vänster om *bi directional proben*.

De mätinstrument som användes under Fas 2 illustreras sett framifrån i Figur 22. Samtliga är placerade inuti luftspalten.



Figur 22 Den bakre fasadskivan sett framifrån. Rosa färg illustrerar placering av termoelement, de sitter centrerat i luftspaltens bredd. Termoelementen benämns uppe (vänster, mitten och höger) och nere (vänster, mitten och höger). Benämningen är relativ brandstoppet. Blå färg indikerar placering av brandstoppet. Grön färg är placering av TSC-mätaren. Orange färg är placering av bi directional probe och i anslutning till den finns ett termoelement.

Mätinstrument sett från sidan illustreras i Figur 23.



Figur 23 Fasadsystemet sett från sidan. Färgkoden är samma som i Figur 22.

Alla experiment i Fas 2 utgjordes av en bränslehöjd på 43 centimeter ovanför golvet. Inledningsvis pågick testen tills dess att brandstoppet ansågs ha täppt igen luftspalten. Efter varje test utfördes ett reflektionsmoment och förbättringar implementerades.

Följande tester utfördes under Fas 2, se Tabell 5. Testnamnen inkluderar beskrivande nummer och bokstäver för hur testet är genomfört. Där 2 står för Fas 2, numret är effekten i kW, *T* betyder torrt brandstopp, *F* betyder fuktmättat brandstopp och A respektive B står för om det är första eller andra testet.

Tabell 5 Benämning av tester från Fas 2.

Testnamn
2-50TA
2-50TB
2-50FA
2-50FB
2-25TA
2-25TB
2-25F

Innan dessa tester genomfördes erhöles data för referensbränder vid 25 respektive 50 kW. Detta gjordes för att skapa ett underlag som gör det möjligt att utvärdera brandstoppets egenskaper vid händelse av brand. Se Bilaga D för data från referensbränderna.

Efter de två första utförda testerna 2-50TA och 2-50FA bestämdes ett kriterium för när gasolbrännaren stängs av vilket är då temperaturen ovanför brandstoppet var mindre än 200 °C. Detta baserades på aktiveringstemperaturen hos brandstoppet. Vidare bestämdes att mer sand skulle placeras i brännaren för att höjden mellan sanden och övre kanten skulle minska. Syret behövde nå över en mindre kant och tilluftens moment kunde därmed minskas och flammen blev då mer centrerad. Det tredje som bestämdes var att fästa aluminiumfolietejp på brännarens kanter eftersom den expanderade på grund av en temperaturökning. Sista åtgärden var ett byte av huv då kapaciteten var för liten och rök från brandstoppet och sandboxburnern inte sögs upp.

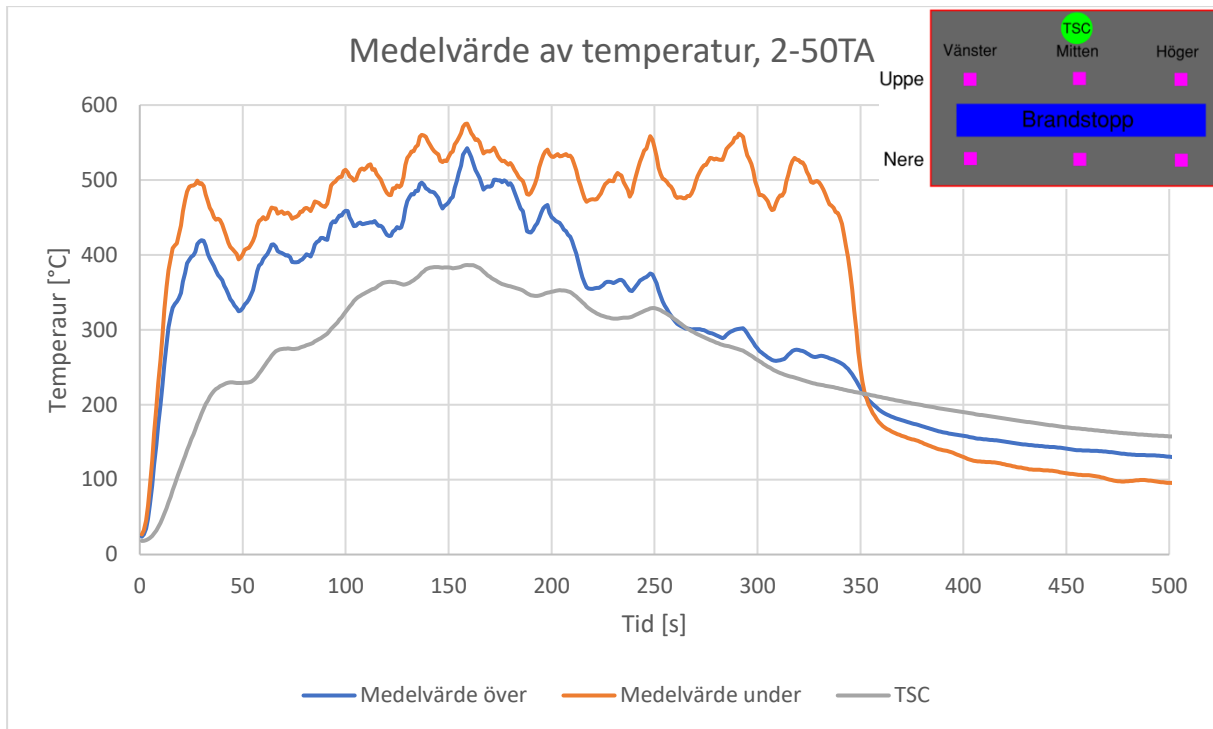
7.2 Resultat Fas 2 - obrännbara material och brandstopp

Nedan presenteras viktigaste resultaten från Fas 2 från respektive test. All data från Fas 2 samlas i Bilaga E. I test 2-50TA noterades följande visuella observationer se Tabell 6.

Tabell 6 Visuella observationer under test 2-50TA.

Tid [s]	Visuella observationer
58	Blå PE-plast är bortsmält
275	Inga flammor syns högst upp
305	Visuellt tätt

Ett medelvärde av termoelement uppe, nere och data från TSC-mätaren sammanställt från test 2-50TA se Figur 24. Gasolbrännaren stängdes av och testet avslutades efter 348 sekunder.



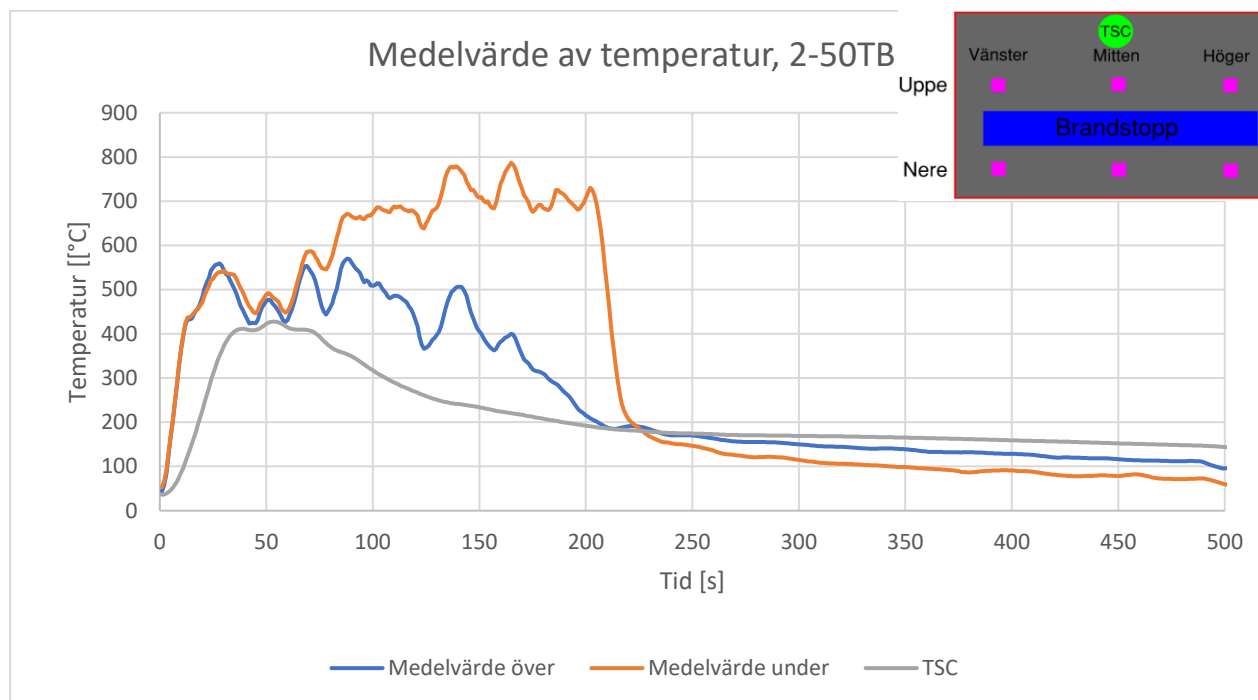
Figur 24 Blå linje är ett medelvärde från de tre termoelementen som är placerade över brandstoppet och orange linje är ett medelvärde från de termoelementen under brandstoppet. Grå linje är TSC temperatur. Uppe till höger i figuren är placeringen av termoelementen beskrivna i förhållande till det blå brandstoppet. Lila kvadrat är placering av termoelement och grön cirkel är TSC-mätaren. Testet är 2-50TA.

I test 2-50TB noterades följande visuella observationer se Tabell 7.

Tabell 7 Visuella observationer under test 2-50TB

Tid [s]	Visuella observationer
23	Brandstoppet brinner och börjar svälla
113	Svällt i mitten och höger
140	Flamman går förbi observationsglaset
200	Visuellt tätt

Ett medelvärde av temperaturen från termoelement uppe, nere och data från TSC-mätaren sammanställt från test 2-50TB se Figur 25. Testet avslutades efter 205 sekunder.



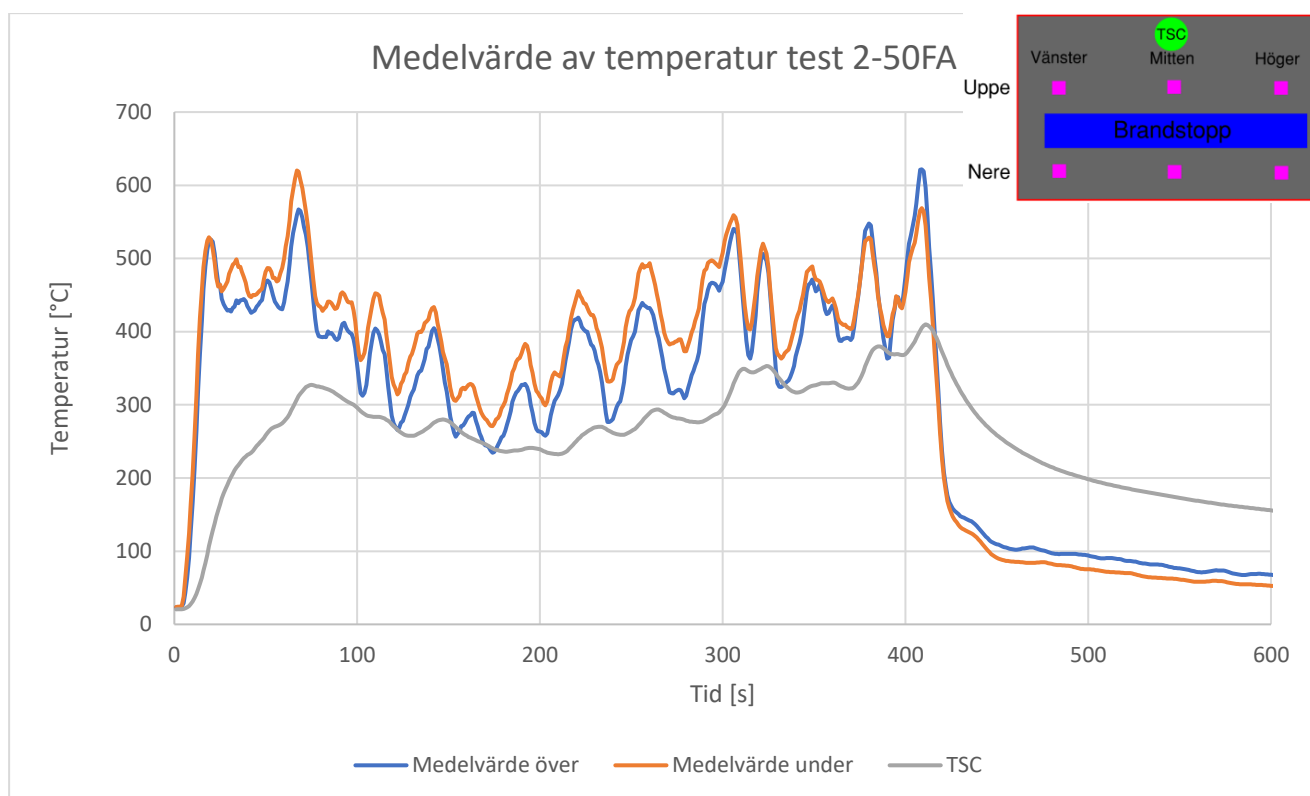
Figur 25. Temperaturkurvor för test 2-50TB. Förklarande bild över mätvärdenas placering finns uppe till höger.

I test 2-50FA observerades följande visuella observationer se Tabell 8.

Tabell 8 Visuella observationer under test 2-50FA.

Tid [s]	Visuella observationer
240	Vattenånga ses komma från brandstoppet
255	Liten expansion noteras
375	Brinner i högra hörnet av brandstoppet
410	Inte visuellt tätt

Eftersom flammen lutade åt höger antogs ett medelvärde från mitten och höger. Temperaturen och TSC-mätaren sammanställs från test 2-50FA i Figur 26. Testet avslutades efter 410 sekunder. Fukthalten i brandstoppet var 45 % innan testet påbörjades.



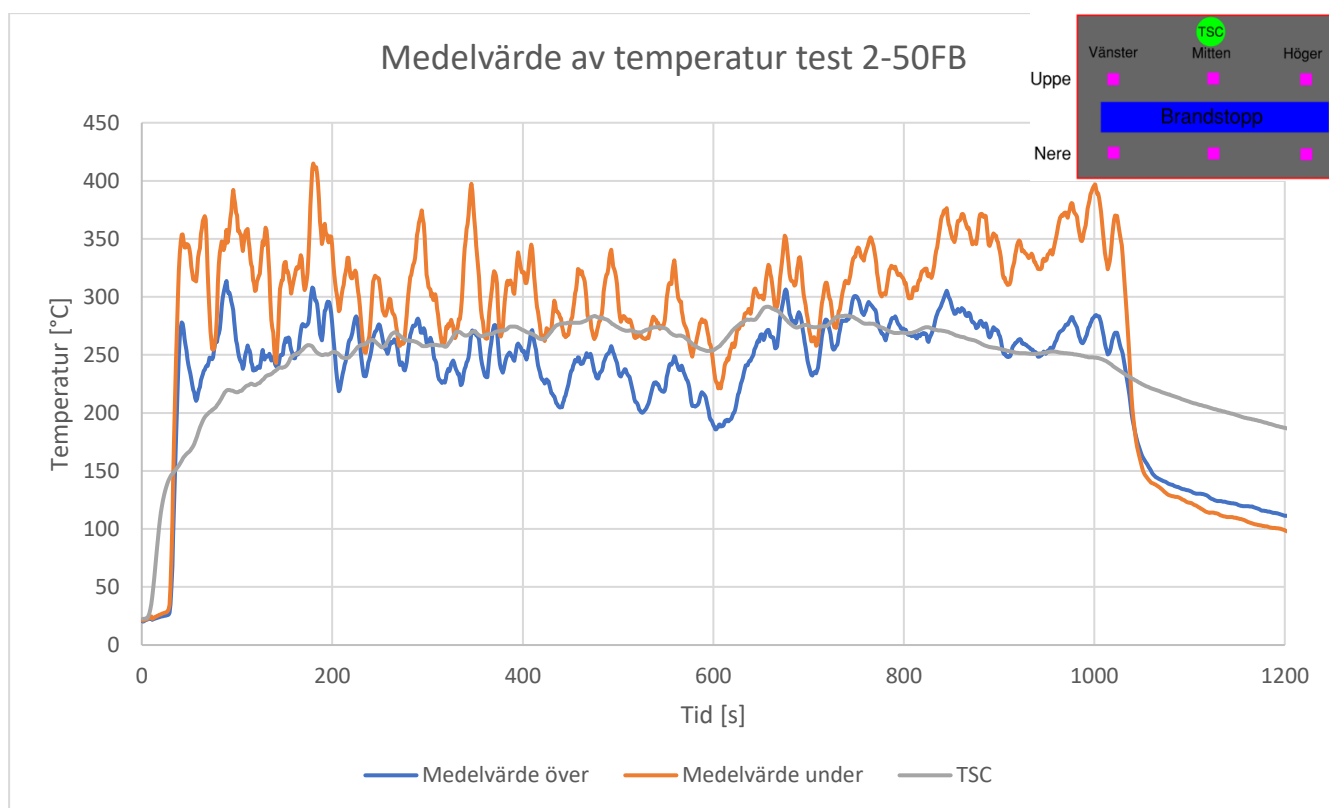
Figur 26 Termoelementen placerade till vänster utslöts då flaman lutade åt höger under testet. Detta ses som en felkälla. Test 2-50FA. Förklarande bild över mätvärdenas placering finns uppe till höger.

I test 2-50FB noterades följande visuella observationer se Tabell 9.

Tabell 9 Visuella observationer under test 2-50FB.

Tid [s]	Visuella observationer
462	Liten expansion noteras
1000	Inte visuellt tätt

Temperaturen och TSC-mätaren sammanställs från test 2-50FB i Figur 27. Testet avslutades efter 1023 sekunder. Fukthalten i brandstoppet var 43 % innan testet påbörjades .



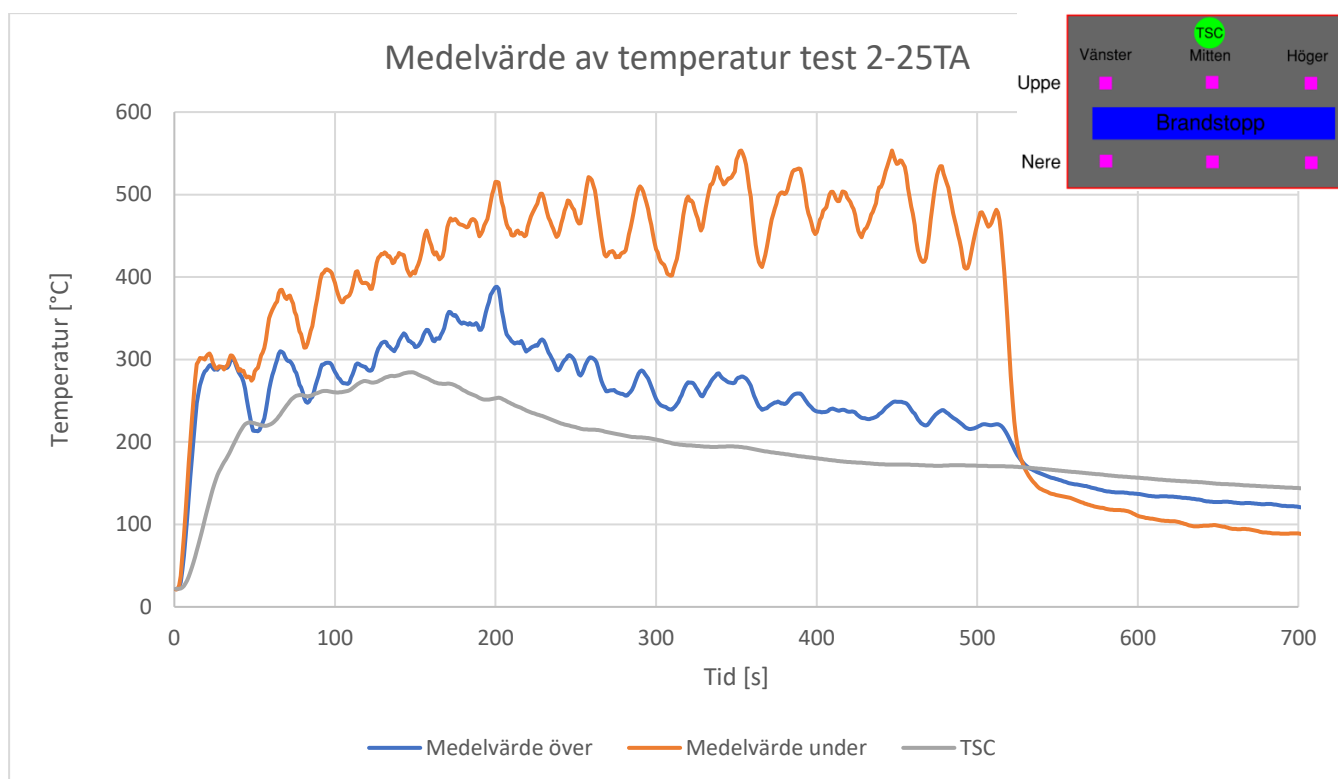
Figur 27 Termoelementet placerat uppe till höger var under testet trasigt och är inte inkluderat i det övre medelvärdet. Testet är 2-50FB. Förklarande bild över mätvärdenas placering finns uppe till höger.

I test 2-25TA noterades följande visuella observationer se Tabell 10.

Tabell 10 Visuella observationer under test 2-25TA.

Tid [s]	Visuella observationer
75	Liten expansion noteras
235	Svällt mitten och höger
400	Visuellt tätt

Temperaturen och TSC-mätaren sammanställs från test 2-25TA i Figur 28. Testet avslutades efter 514 sekunder.



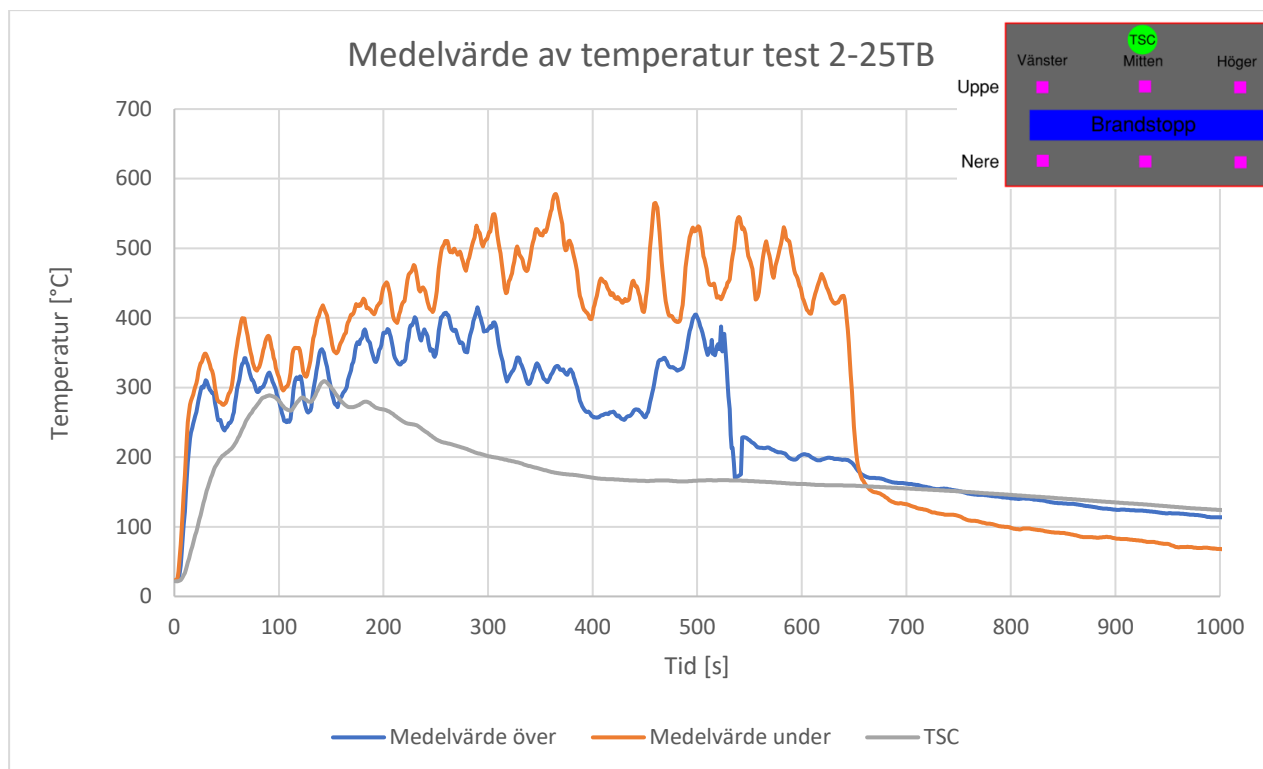
Figur 28 Temperaturkurvor för test 2-25TA. Förklarande bild över mätvärdenas placering finns uppe till höger.

I test 2-25TB noterades följande visuella observationer se Tabell 11.

Tabell 11 Visuella observationer under test 2-25TB.

Tid [s]	Visuella observationer
65	Sväller i mitten
395	Svällt längs med hela brandstoppet
465	Brandstoppet brinner vid termoelement uppe till vänster
565	Slutar brinna vid termoelement

Temperaturen och TSC-mätaren sammanställdes från test 2-25TB i Figur 29. Testet avslutades efter 642 sekunder.



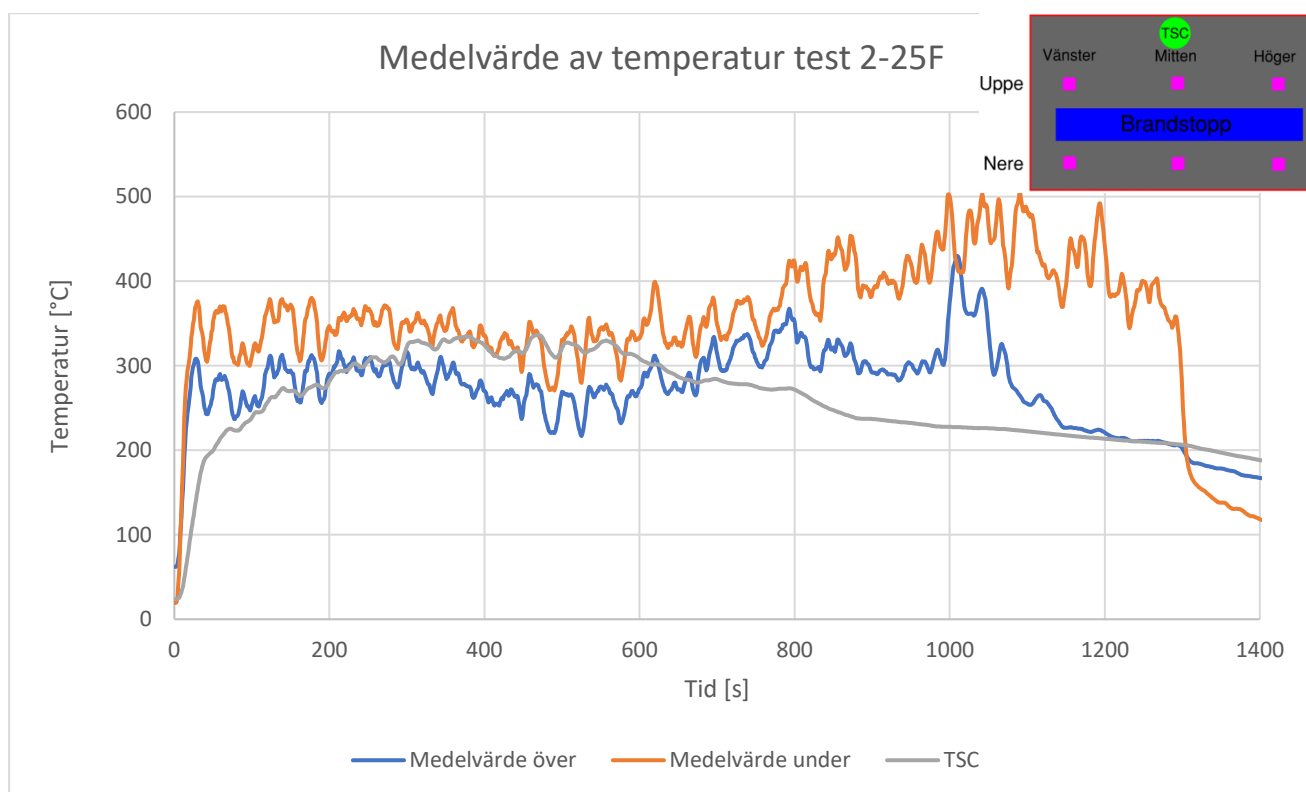
Figur 29 Vid 543 sekunder går termoelement uppe till vänster sönder orsakat av flammen. Medelvärdet tas då från mitten och höger. Temperaturkurvor för test 2-25TB. Förklarande bild över mätvärdenas placering finns uppe till höger.

I test 2-25F noterades följande visuella observationer se Tabell 12.

Tabell 12 Visuella observationer under test 2-25F.

Tid [s]	Visuella observationer
350	Liten expansion noteras i mitten
600	Noteras svälla i mitten
1000	Brandstoppet brinner till höger
1100	Brandstoppet brinner till vänster
1150	Noteras vara tätt

Temperaturen och TSC-mätaren sammanställdes från test 2-25F i Figur 30. Testet avslutades efter 1293 sekunder. Fukthalten i brandstoppet var 44 % innan testet påbörjades.

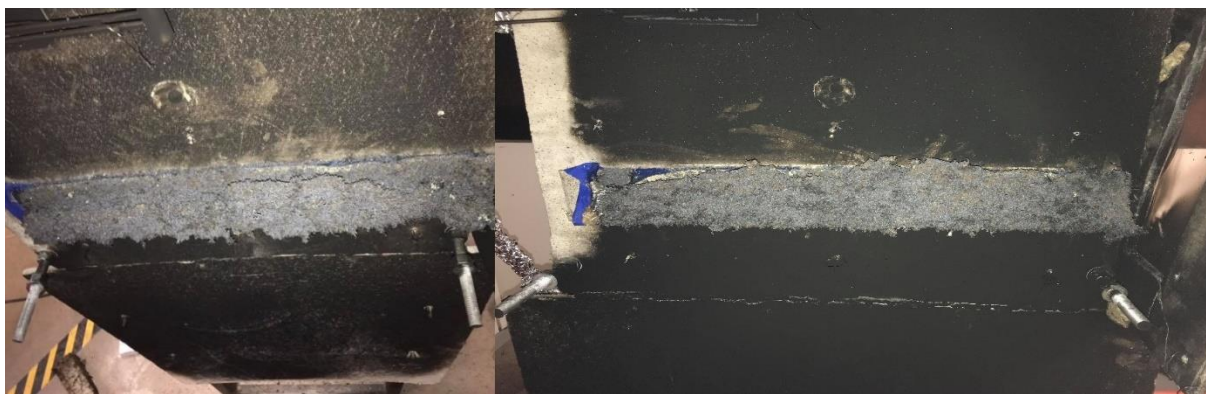


Figur 30 Temperaturkurvor för test 2-25F. Förklarande bild över mätvärdenas placering finns uppe till höger.

7.3 Diskussion Fas 2 - obrännbara material och brandstopp

När resultatet från Fas 2 analyserades blev det uppenbart att det var komplext att bedöma när brandstoppet har svällt. När de visuella observationerna jämfördes med temperaturerna skiljs tiderna åt i bedömningen när brandstoppet hade svällt. Det finns för stora osäkerheter i att bedöma när brandstoppet har svällt speciellt då inga tydliga kriterier finns att jämföra med. Istället för att göra bedömningen om när det har svällt gick det istället att se indikationer i data på när det istället börjar att svälla. Därför analyserades resultatet genom indikationer på när brandstoppet började svälla.

Resultatet från test 2-50TA visar på hur mätdata för de tre olika mätinstrumenten förändrades då brandstoppet började expandera. Temperaturen över brandstoppet minskade eftersom brandstoppet stängde igen luftspalten och då stoppade brandgaser och flammor. En bild på ett svällt brandstopp efter det att fasaden tagits av erhålls i Figur 31. Utseendet var likartat i samtliga tester.



Figur 31 Brandstoppet utseende efter att fasadskivan tagit av.

Brandstoppets expansion avlästes som en konstant temperaturminskning fram tills att det nådde ett jämviktstillstånd där temperaturen var i princip är konstant. TSC-mätaren har ett likande utseende där det noterades en uppvärmning fram tills att brandstoppet började expandera och sedan noterades en temperaturminskning. Det tydliga variationer i temperaturen som snabbt ökar och detta stämmer överens med visuellt observerade flammor som slog förbi brandstoppet under tiden det expanderade. Flödesmätaren noterar en expansion som en tydligt hastighetsminskning av brandgaserna. Eftersom brandstoppet först expanderade i mitten av luftspalten noterades detta av flödesmätaren. Om expansionen skulle börjat på någon av sidorna skulle detta inte kunna ha detekteras av flödesmätaren. Innan brandstoppet expanderade noterades en konstant brandgashastighet och efter expansionen uppstod turbulens i luftspalten och data blev opålitligt. Vid ett turbulent flöde påverkas det statiska trycket ovan och under flödesmätaren på ett fluktuerande sätt och hastigheten går då inte att beräkna. Tiden det tog för brandstoppet att börja svälla benämns framöver som svällningstiden. Svällningstiden för de olika mätinstrumenten noterades i test 2-50TA vara 135 sekunder för termoelementen, TSC-mätaren uppmätte en konstant temperaturminskning och brandgashastigheterna minskade kraftigt vid samma tidpunkt.

Om test 2-50TA jämförs med test 2-50FA då ett fuktmättat brandstopp används påvisades en stor skillnad i svällningstid. I test 2-50FA noterades brandstoppet inte svälla i den omfattning som kunde ge utslag på mätinstrumenten trots att testet pågick 100 sekunder längre än test 2-50TA. Dock noterades en mindre lokal expansion av brandstoppet centrerat i luftspalten. Test 2-50FA kan i efterhand noteras ha avbrutits för tidigt då det vore intressant att erhålla en svällningstid som kunde jämförts med test 2-50TA. Metoden för experimenten innehåller varje test ett reflektionsmoment som innebär implementering av förbättringar. Efter detta test förlängdes testtiden och tilluftarean till lokalen ökade vilket innebar att i test 2-50FB noterades brandstoppet svälla och flammen var mer jämnt fördelad. I test 2-50FB, som pågick längre än 2-50FA noterades det att termoelementen påvisades en svällningstid på cirka 770 sekunder, TSC-mätaren påvisar en kontinuerlig minskning från cirka 770 sekunder och hastigheten noterades vara som minst vid 800 sekunder. Det innebär en skillnad i svällningstid på cirka 635 sekunder vilket är fördröjning på över 10 minuter mellan ett torrt och ett fuktmättat brandstopp under samma brandexponering.

Under test 2-50FB noterades en avvikelse som påverkade gasutsläppningsarean. Under tiden som testet pågick värmdes *sandboxburnern* upp till höga temperaturer vilket orsakade en värmeexpansion. Detta innebar att arean av *sandboxburnern* ökade under experimentet som resulterade i att gasolen läckte runt skivan förbi fogningen. Flammen blev således inte centrerad intill fasaden och flammor sträckte sig även bort från fasaden, vilket minskade värmepåverkan i luftspalten. Åtgärden blev att öka mängden sand i brännaren för att minska den exponerade kanten av brännaren. Sedan tejpades resterande exponerade kanter med en aluminiumtejp som syftade till att reflektera bort strålning. Under test 2-50FB noterades brandstoppet efter 600 sekunder antända och bidrog med en egen effektutveckling vilket lokalt höjde temperaturen vid termoelementet beläget uppe till höger.

En jämförelse mellan test 2-25TA och 2-25F går det att dra liknande slutsatser som från jämförelsen test 2-50TA och 2-50FA. Tiden till expansion är längre för fuktmättade brandstopp. Svällningstiden för test 2-25TA är för termoelementen cirka 210 sekunder, för TSC-mätaren 160 sekunder och brandgasernas hastighet minskade efter 110 sekunder. Jämfört med det fuktmättade brandstoppet i test 2-25F noterade termoelementet en expansion efter 1110 sekunder, TSC-mätaren efter 510 sekunder och efter 410 sekunder för brandgashastigheten. Orsaken till att temperaturen påvisade en hög tid är på grund av att brandstoppet återigen lokalt började att brinna och orsakade en total temperatur på över 700 °C. Det område som började brinna noterades vara ett där expansionen var som minst. En orsak tros vara att brandstoppet påverkades av hög värme under en lång tid vilket fick

den bakomliggande blåa skyddsplatsen att antända. Det noterades en grön flamma när brandstoppet började brinna se Figur 32.



Figur 32 Bild på grön flamma som orsakas av att brandstoppet brinner. Brandstoppet har svällt och syns som en svart yta. Det går att se lågor under brandstoppet samt ett termoelement. Bilden är tagen igenom glasrutan som placerades till höger i testuppställningen.

Detta är en tydlig avvikelse från produktbladet som anger att brandstoppet förhindrar brandspridning. Med detta tillkommer större risker med brandspridning då brandstoppet bidrar med en effektutveckling och flammor som slår över brandstoppet.

Skillnaden i svällningstiden för ett torrt och fuktmättat brandstopp mellan test 2-25TA och 2-25F är cirka 900 sekunder med utgångspunkten ur termoelementdata vilket är 15 minuter. Den största skillnaden mellan testerna med 50 kW och 25 kW är en längre svällningstid för såväl ett torrt som ett fuktmättat brandstopp. Dock är den avsevärt längre för ett fuktmättat brandstopp vilket innebar en skillnad på 15 minuter i svällningstid.

Tre av testerna utfördes med liknande förutsättningar sett till effektutveckling och tillstånd på brandstoppet var torrt respektive fuktmättat brandstopp. Det bör poängteras att mellan varje test förbättrades testuppställningen vilket orsakade att resultatet skiljer sig mellan tester med samma förutsättningar. Om resultatet från test 2-50TA och 2-50TB jämförs mot varandra går det att se att termoelementet placerat uppe i mitten för test 2-50TB nästan når 1000 °C. Detta eftersom

brandstoppet även i detta test började att brinna. I test 2-50TA når den knappt 600 °C. Detta tyder på att det finns en variabilitet i hur brandstoppet reagerar vid händelse av brand då små förutsättningar förändrades. Dock noteras det att svällningstiden för alla mätinstrument för test 2-50TB är kortare än för test 2-50TA. Orsaken tros vara ett resultatet av de förändringar som implementerades mellan varje test.

Till sist jämfördes test 2-25TA och 2-25TB med varandra och det kunde konstateras att de är lika varandra. Skillnaden i svällningstid för temperaturkurvan noterades vara någorlunda mindre vilket även gällde för TSC-mätaren och hastighetskurvorna hade liknande utseende. Dock noteras att efter att brandstoppet svällde så antändes den vänstra delen av brandstoppet i test 2-25TB. Det ses som en temperaturökning hos termoelementet beläget uppe till vänster innan det gick sönder.

Under alla tester i Fas 2 noterades att flammor slog runt efter det att brandstoppet täppt igen. Även när insläppningsarean succesivt minskades i luftspalten orsakad av expansionen sökte sig flammor till andra öppningar i testuppställningen. Inför varje test tätades dessa igen med mineralull men det noterades att bitarna gick sönder eller trillade bort. Detta betyder att data för termoelementen ovanför brandstoppet inte är tillförlitligt efter det att brandstoppet täppt igen luftspalten. Flammor hade troligtvis inte kunnat gå runt om brandstoppet varit monterat hela vägen ut mot kanten av fasaden. Speciellt många flammor noterades vid det fönster som fanns på testuppställningen, det vill säga till höger i fasaden, då det fanns många sprickor och öppningar.

Det går att notera likheter i resultat mellan de mellanskaliga testerna i Fas 2 och tester i konkalorimeter. I båda testmetoderna noterades svällningstiden vara högre vid ett fuktmättat tillstånd av brandstoppet. När svällningen sker noteras hastigheten av svällningen mycket långsammare i båda fallen. Testet i konkalorimetern kunde därmed påvisa att ett fuktmättat brandstopp kommer ha annorlunda svällningsegenskaper, vilket kan användas framöver som en indikering på beteendet. Däremot finns det många olikheter mellan dessa tester. Exempelvis är temperaturen i luftspalten och strålningen från konkalorimetern inte jämförbara. I luftspalten noterades ett turbulent och ojämnt flöde av flammor som orsakade stora fluktuationer i temperatur och strålning. Samtidigt är det i konen en konstant infallande värmestrålning som är gynnsam för en snabbare svällningstid då materialet konstant värms upp. I testen i Fas 2 med torra brandstopp noterades en kortare svällningstid vid en högre effektutveckling hos brännaren vilket är ett liknande resultat från en högre inkommande strålning i konkalorimetertesten.

I de tester när *sandboxburnern* expanderade eller när flammen lutade åt ett håll ansågs testet bli felaktigt utifrån den experimentplan som fanns. Samtidigt är brandscenariot verklighetstroget och ska inte förkastas. Om ett långt brandstopp installeras i ett fasadsystem och det börjar brinna i mitten av detta kommer en värmeexponering att minska ut mot kanterna. Någonstans längs med längden av brandstoppet kommer det finnas en mindre värmeexponering som kan jämföras mot den som fanns i de tester som avvek från experimentplanen. Således är även dessa tester viktiga och ska inte förkastas.

8 MELLANSKALIGT TEST FAS 3

Under detta kapitel presenteras metod, resultat och diskussion för test i Fas 3.

8.1 Metod Fas 3 - brännbara material och brandstopp

Från resultatet i Fas 2 kunde en testmatrix tas fram för försöken i Fas 3. På grund av det fuktmättade brandstoppets fördröjande expansion vid brand valdes enbart torra brandstopp i denna fas. Detta för att ge brandstoppet en ärlig chans att hinna svälla då ett fuktmättat brandstopp förväntades innebära en obestridd brandspridning med tanke på flammans exponeringstid.

Fasaduppställningen modifierades från Fas 2 till att kunna tillåta ett isoleringsmaterial att installeras. I övrigt bibehölls samma mått och placering av mätinstrumenten. PIR-skummet sågades till dimensionen 0,4 x 0,6 x 0,06 meter (bredd x höjd x tjocklek) och monterades endast ovanför brandstoppet. Under brandstoppet var det ingen isolering utan en obrännbar skiva. PIR-skummet som monterades vägde cirka 500 gram. HPL-skivan och den obrännbara skiva som användes som ytterskiva sågades med dimensionen 0,61 x 0,64 meter (bredd x höjd).

Innan testen påbörjades undersöktes brandegenskaperna hos PIR-skummet i ett inledande test för att säkerställa att brandlabbets huvkapacitet var tillräckligt stor. Ingen data erhöles utan istället gjordes visuella observationer angående flamhöjd och PIR-skummets benägenhet att röra på sig under brand. Det gavs en möjlighet att implementera förbättringar som annars kunde ha orsakat fel under testerna i denna fas. Det noterades under detta test att PIR-skummet brann med en acceptabel flamhöjd och att det rörde på sig under experimentet. PIR-skummet tappade sin strukturella integritet då det förkolnade. För att hantera detta spändes infästningen, som också höll fast flödesmätaren, mycket hårdare för att undvika någon rörelse under kommande tester.

Under experimenten tillämpades samma metod som i tidigare faser. Se Tabell 13 för testnamnen i Fas 3. Där 3 står för Fas 3, *numret* är effekten i kW, P står för PIR, H står för HPL-skiva och O står för obrännbar skiva.

Tabell 13 Benämning av tester och dess uppbyggnad i Fas 3.

Testnamn
3-50PH
3-50PO

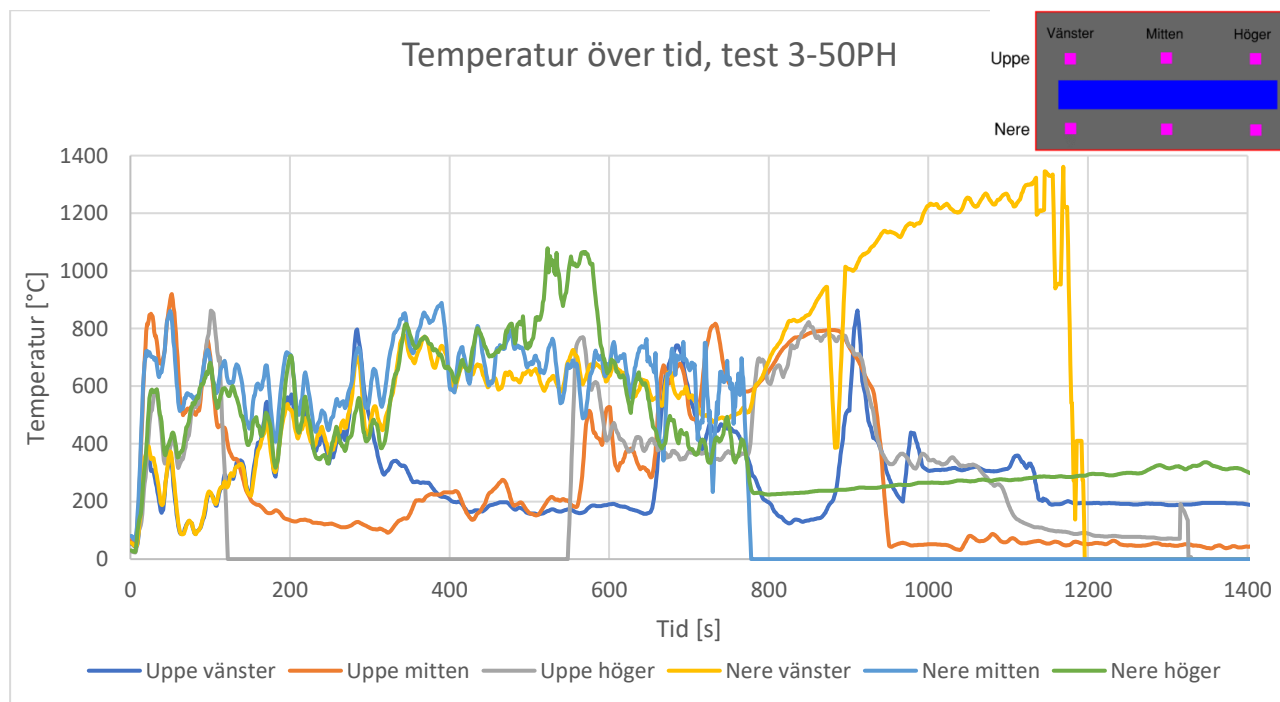
8.2 Resultat Fas 3 - brännbara material och brandstopp

Nedan presenteras resultat från teserna i Fas 3. I test 3-50PH noterades följande visuella observationer, se Tabell 14.

Tabell 14 Visuella observationer under test 3-50PH. Det gick inte att visuellt se när PIR-skummet slocknade under experimentet.

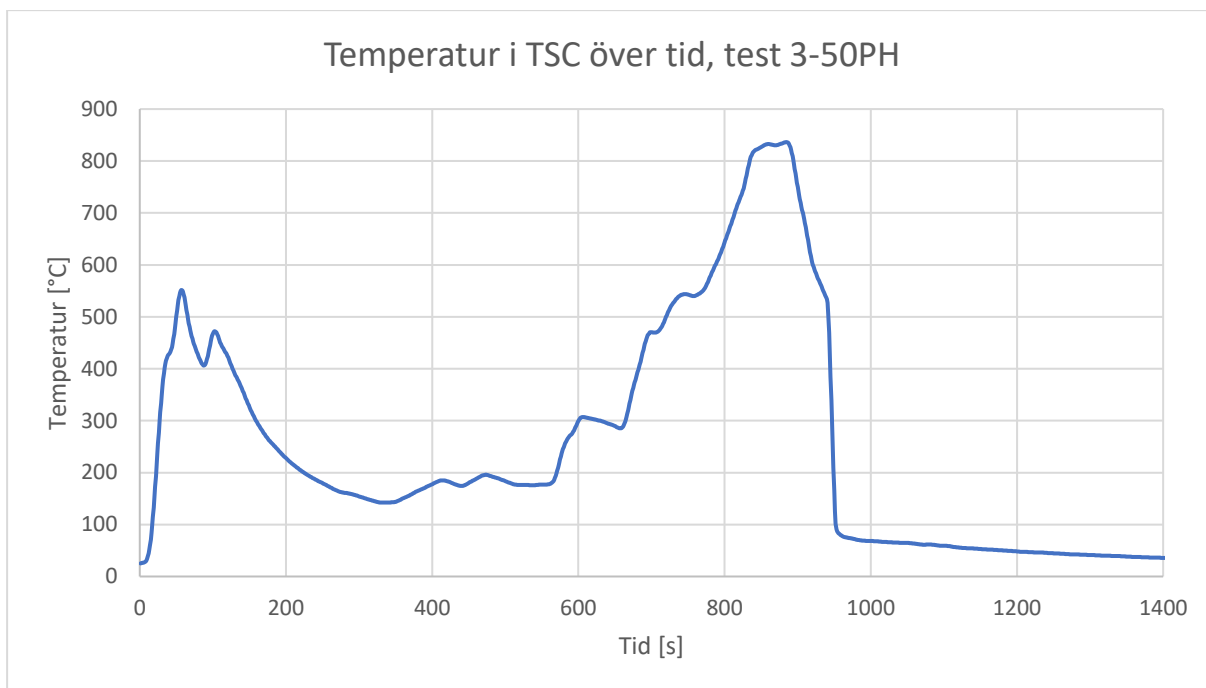
Tid [s]	Visuella observationer
20	PIR-skum brinner
40	Brandstopp brinner
110	Noteras svälla i mitten
120	HPL-skiva börjar brinna
310	Noteras vara tätt
340	Hål i HPL-skiva
540	Brandstoppet synligt framifrån
640	Delar av HPL-skiva plockas av
760	Brännaren stängs av
870	Branden försöker släckas med vatten
950	PIR-skum fortsätter att brinna
1130	PIR-skummet slocknar
1160	Sista släckningsförsök

Temperatures variation med tiden för de sex termoelementen erhålls i Figur 33.



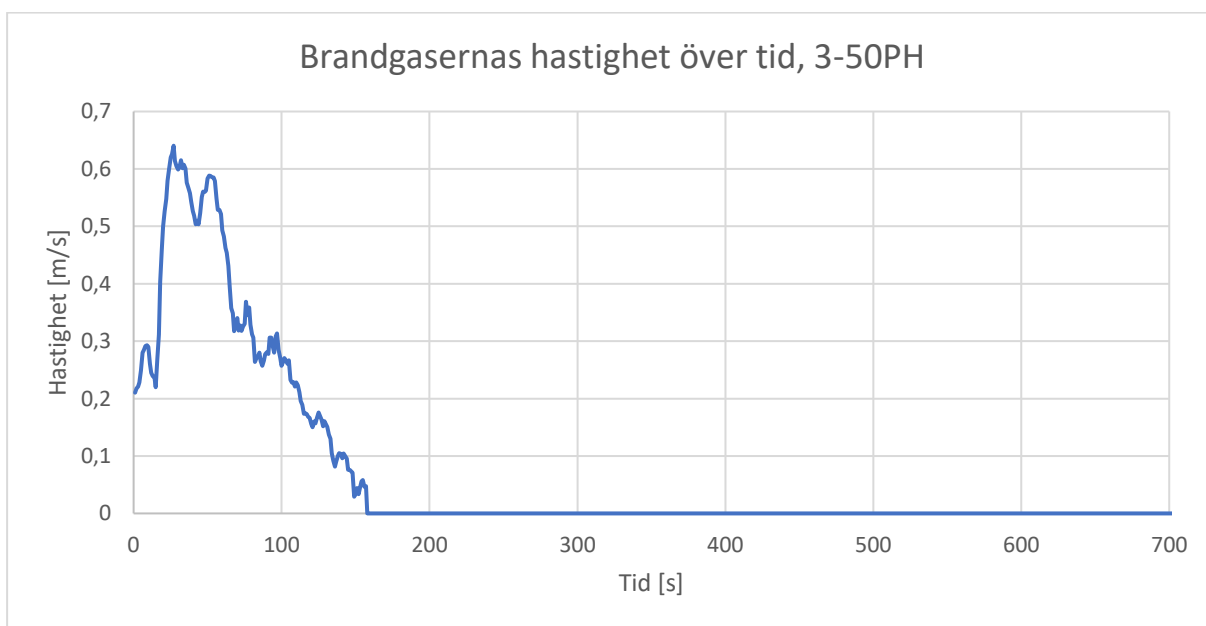
Figur 33 Temperatures variation med tiden för de sex termoelementen i test 3-50PH. Vid 104 gick termoelementet uppe till höger sönder och började fungera igen vid 550 sekunder. Termoelementet nere vänster gick sönder vid 1170 sekunder.

Temperatures variation med tiden för TSC erhålls i Figur 34.



Figur 34 Temperaturs variation med tiden för TSC i test 3-50PH.

Variationen för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 35.



Figur 35 Variationen för brandgasernas hastigheter i test 3-50PH. Efter 160 sekunder uppstår negativa tryckskillnader och en hastighet går inte att påvisa. Efter 700 sekunder är mätningen opålitlig.

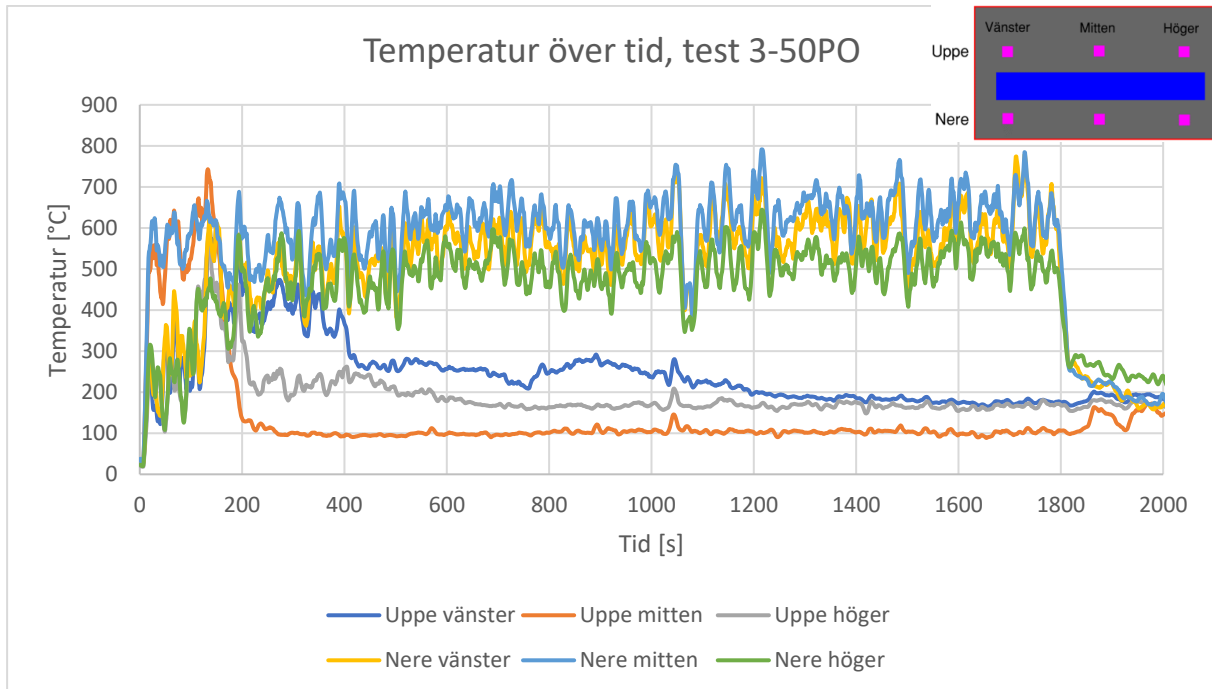
Nedan presenteras resultatet från mätinstrumenten för test 3-50PO där HPL-panelen ersattes med en obrännbar skiva.

I test 3-50PO noterades följande visuella observationer, se Tabell 15.

Tabell 15 Visuella observationer under test 3-50PO.

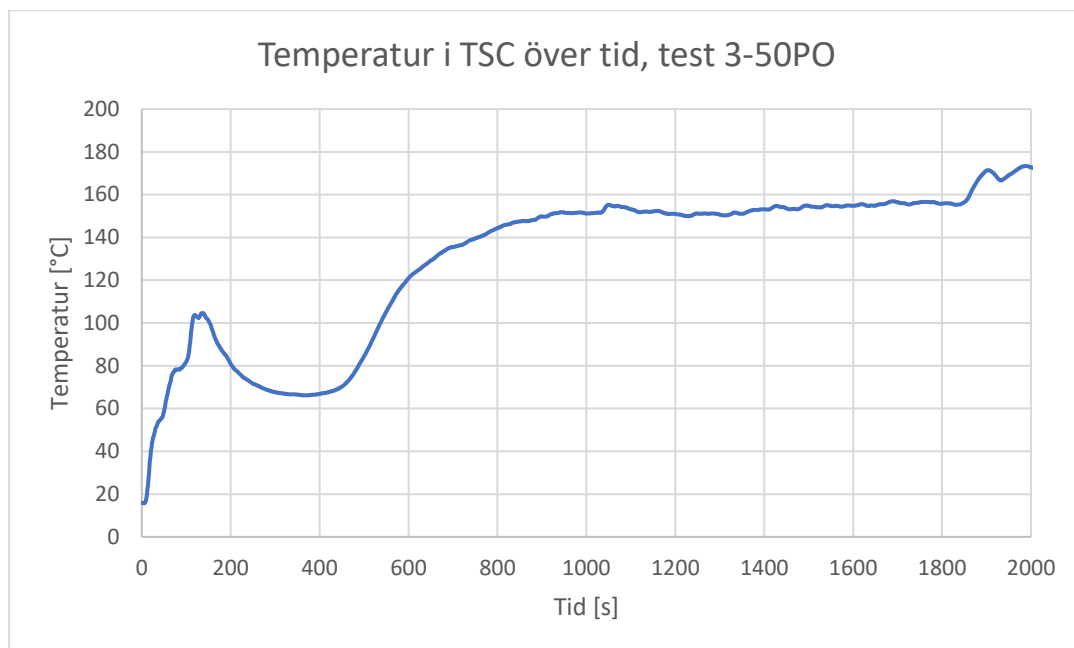
Tid [s]	Visuella observationer
60	PIR-skum brinner
60	Brandstopp brinner
360	Visuellt tätt, inget brinner
1800	Brännaren stängs av

Temperaturens variation med tiden för de sex termoelementen erhålls i Figur 36.



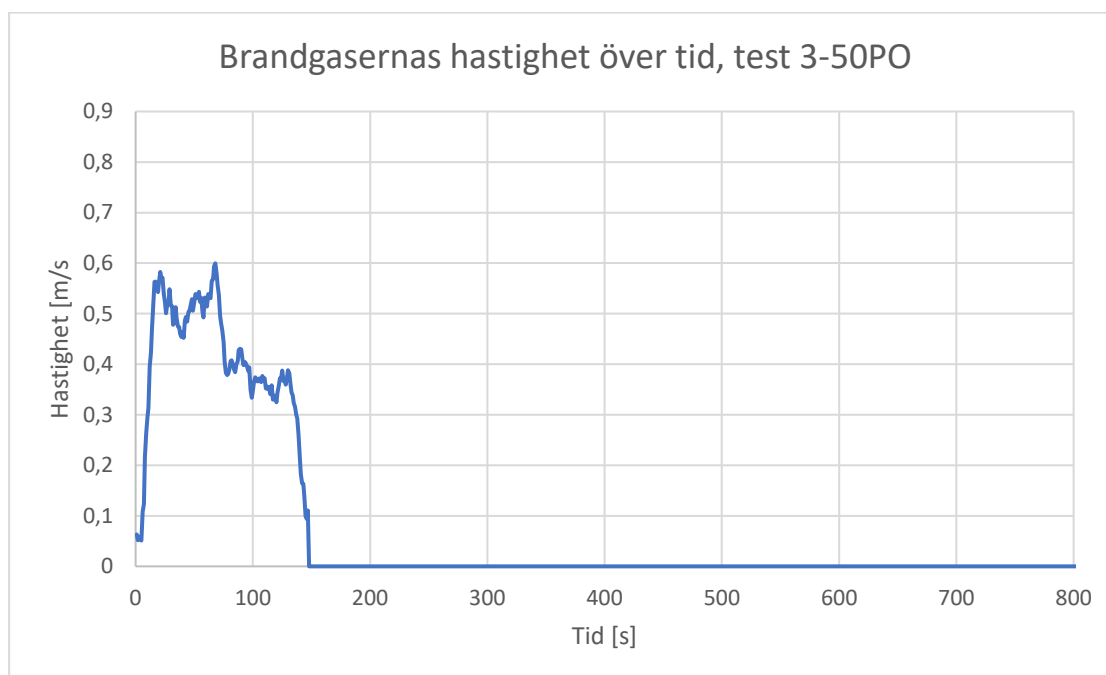
Figur 36 Temperaturens variation med tiden för de sex termoelementen i test 3-50PO.

Temperaturens variation med tiden för TSC erhålls i Figur 37.



Figur 37 Temperaturens variation med tiden för TSC i test 3-50PO.

Variationen för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 38.



Figur 38 Variationen för brandgasernas hastigheter i test 3-50PO. Efter 800 sekunder är mätningen opålitlig.

8.3 Diskussion Fas 3 - brännbara material och brandstopp

Från test 3-50PH erhöles många intressanta noteringar och diskussioner. Från det att flamman placerades under fasadsystemet observerades att PIR-skummet och brandstoppet började brinna nästan omedelbart. Det noterades flammor längs med hela fasaden i vertikal-led vilket innebar att flammhöjden närmade sig huvens höjd. Likt testerna i konkalorimetern noterades att HPL-panelen knastrade direkt efter testet påbörjades. På grund av den brännbara materialuppsättningen blev det en större värmepåverkan i luftspalten då dessa material bidrog med en egen effektutveckling. Detta

orsakade att svällningstiden för brandstoppet minskade och från erhållna data går det att notera att temperaturen och TSC-mätaren anger en expansion efter cirka 110 sekunder och brandgasernas hastighet efter endast 50 sekunder.

Efter 310 sekunder in i testet gick det att se att brandstoppet visuellt täppt igen luftspalten. HPL-panelen gick sönder 30 sekunder efter detta och öppnade upp sig så att bakomliggande material kunde visuellt ses. Detta antas bero på en massförlust orsakat av att panelen brann samt att panelen gick sönder på grund av möjliga spänningar i infästningen. På grund av att testuppställningen konstruerades med begränsade kunskaper finns det en risk att HPL-panelen monterats med inbyggda spänningar vilket kan ha bidragit till att den snabbare gick sönder. Detta innebar att PIR-skummet och det expanderade brandstoppet gick att se visuellt vilket gjorde att flammor då kunde gå förbi brandstoppet via utsidan av fasaden. Detta anses som en felkälla i experimenten. Däremot är inte testet längre direkt tillämpligt på att undersöka brandstoppets egenskaper vid händelse av brand utan istället mer åt brandegenskaperna hos fasadsystemet som helhet. Likt det som nämndes i litteraturstudien är det viktigt att beakta fasader med ett helhetsperspektiv vilket resultatet från test 3-50PH illustrerar. Det visar att det är viktigt med detaljkunskap angående materialens beteende vid brand för att ha en möjlighet att förstå hela fasadsystemets beteende. I detta fall användes en HPL-panel som bidrog lite till brandspridning men samtidigt gick sönder och orsakade en syretillförsel till branden i luftspalten.

Efter att HPL-panelen fallerade fortsattes testet i syfte för att studera brandspridningen. I samband med att HPL-panelen gick sönder skapades en synergi som gjorde att branden fick lufttillförsel. Branden uppskattas ha brunnit med en relativt hög effekt och lågorna täckte en stor area i luftspalten, dock inte möjligt att kvantifiera effekten. Gasolflödet stängdes av då det fortfarande syntes lågor inne i luftspalten. Detta gjordes för att undersöka om branden kunde fortsätta brinna, se Figur 39.



Figur 39 Bilden är tagen framifrån vid tidpunkten då gasolen stängs av och PIR-skummet brinner. Lågor syns i mitten av fasaden där HPL-panelen lämnat ett hål samt i toppen av luftspalten. Gasolbrännaren syns längst ner och står på trucken.

HPL-panelen slocknade i samband med att gasolen till *sandboxburnern* stängdes av. Från det att gasolen stängdes av fortsatte det att brinna i PIR-skummet. En intressant notering är att det påbörjades ett enklare släckningsförsök med hjälp av en vattenfylld tryckspruta och i samband med detta gick det inte att se några lågor. Trots detta kunde branden ta sig igen och fortsätta att brinna. I Figur 33 går det att se att temperaturen sjönk för termoelementet nere till vänster till ca 400 °C vid detta släckningsförsök. Efter detta steg temperaturen kraftigt och på mindre än 3 minuter nåddes temperaturer på 1350 °C, precis innan att termoelementet gick sönder. Detta tyder på att det finns tillräckligt med värme för att fortsätta tillgodose en pyrolysering och nedbrytning av PIR-skummet och det finns en stor risk för en fortsatt brandspridning. Detta är även problematisk för räddningstjänsten vid en eventuell släckinsats.

I test 3-50PO slog flammor upp igenom luftspalten och låg nära huven nästan direkt efter det att brännaren placerades under fasaden. Både brandstoppet och PIR-skummet började brinna och det pågick under tiden brandstoppet svällde. Det började först bara brinna i mitten, men efter 60 sekunder började det även brinna till vänster i PIR-skummet. Utifrån erhållna data från termoelementen går det att se att brandstoppet började svälla efter cirka 150 sekunder och TSC-mätaren efter 150 sekunder. Flödesmätaren visar en minskning efter 130 sekunder. Därefter uppstod det turbulens likt tester i Fas 2 och flödesmätaren blir då inte tillförlitlig.

Efter det att luftspalten täppts igen, isolerade och tätade brandstoppet till den grad att PIR-skummet inte kunde antändas något mer. Temperaturen i termoelementen ovanför brandstoppet hölls konstant

mellan 100–200 °C. Detta tyder på att fasadsystemet i test 3-50PO var mer gynnsamt för brandstoppet än vad fasadsystemet i test 3-50PH. Test 3-50PO pågick i 30 minuter och motiverades med att testa om brandstopet kunde begränsa rök och värme i luftspalten under en längre tid. Det kan tilläggas att brandstoppet inte täppte igen på två minuter, vilket är den tid som anges i produktbladet, varken enligt visuella observationer eller mätdata från testet.

Mätdata visar att svällningstiden i test 2-50TA och test 2-50TB i Fas 2 är lik den i test 3-50PO, vilket hade samma effekt på brännaren. Att det fanns PIR-skummet ovanför brandstoppet tycks alltså inte ha stor påverkan på tiden till svällning av brandstopp. Möjligen kan tiden till expansion minska på grund av en infallande strålning från det brinnande PIR-skummet.

En intressant observation är att i både test 3-50PH och test 3-50PO noterades gashastigheten nästan öka linjärt efter 800–900 sekunder från det att datainsamlingen påbörjades. I båda fall växte gashastigheten och fick ett likvärdigt eller större värde än vad som noterades innan brandstoppet expanderade. Orsaken kan antas bero på att det fastnar stoft från brandstopp som täpper igen flödesmätaren och i kombination med att den värms upp. Den instängda luften värms upp och det registreras som ett förhöjt tryck. Brandstoppets funktion skiljer sig åt mellan test 3-50PH och 3-50PO och skyddar ovanliggande materialet olika se Figur 40.



Figur 40 En jämförelse mellan skadan som uppstod på PIR-skummet efter TEST 3-50PH (vänster) och test 3-50PO (höger). En blå rektangel placeras över figuren för att dölja tillverkaren av PIR-isoleringen.

Det går att se en tydlig skillnad i brandpåverkan och massförlusten hos PIR-skummet mellan test 3-50PH och 3-50PO. Efter test 3-50PO går det att se aluminiumfuktspärren medan i test 3-50PH är den kraftigt brandpåverkad och nästintill borta. För test 3-50PO går det att se en kraftigare värmepåverkan i mitten än resterande delar av luftspalten som ett svartbrunt vertikalt streck. På övriga delar noteras det bubblor och en lättare deformation i fuktspärren.

Under testet lossnade stora bitar av panelen i storleksordningen 10 x 10 centimeter (bredd x höjd) och för en hel konstruktion kan det förväntas att fler och större bitar lossnar. Detta innebär en risk för fallande delar enligt funktionskrav 4, se 3.2.1. Om bitar lossnar från en hög höjd kan de färdas ett längre avstånd från byggnaden vilket kan orsaka skada och utgör en risk för räddningstjänst och utrymmande personer. Samtidigt går resultaten inte att skala upp vilket gör att resonemanget grundar sig i ett kvalitativt resonemang om HPL-panelens beteende.

En större höjd på de mellanskaliga testerna i Fas 3 hade kunnat ge en inblick i vilken höjd branden hade kunnat spridas till. I båda experimenten i Fas 3 noterades PIR-skummet brinna längst upp i fasadsystemet tills dess att brandstoppet expanderat. Brandspridningen i PIR-skummet startade nästan omedelbart efter försöket startades. Det är svårt att dra någon slutsats om till vilken höjd en brandspridning hade kunnat nå med mer ovanliggande PIR-skum. De observationer vi noterade skulle tyda på en större brandspridning, dels på grund av att spridningsförloppet var snabbt samtidigt som det brann under en längre tid. Om PIR-skum hade placerats under brandstoppet skulle det innebära en större effektutveckling och högre uppmätt temperatur. Resultatet från konkalorimetertesterna tyder på att brandstoppet sväller tidigare vid en högre strålning vilket skulle innebära en kortare svällningstid om PIR-skum hade placerats under brandstoppet. Det skulle även efterlikna ett verklighetstroget fasadsystem. Den mellanskaliga testuppställningen som användes har en begränsning i höjdlid. Detta gör det svårt att skala upp resultatet till storskaliga fasadsystem som Glockling et al. (2020) skriver.

9 ÖVERGRIPANDE DISKUSSION

För att veta om ett brandstopp kan begränsa en brandspridning är det viktigt att veta vilken temperatur som kan uppnå samt hur länge det uppmäts höga temperaturer. Därför sammanfattas data från termoelement placerade över brandstoppen under hela testens längd i Fas 2 och 3, se Tabell 16. Temperaturer är från rådata och inte från medelvärdesbildade figurer. Vi valde att studera värmexponering med antalet sekunder över temperaturen 400 °C. Denna temperatur valdes då det gick att jämföra alla tester i Fas 2 och 3.

Tabell 16 Maximalt uppmätta temperaturer för tester i Fas 2 och 3. Temperaturerna är uppmätta över brandstoppet och anger maximal temperatur och en exponering som grundar sig i en tid över 400 °C.

Test	Maximal temperatur [°C]	Tid som bibehålls över 400 °C [sekunder]
2-50TA	747	35
2-50TB	1023	70
2-50FA	766	21
2-50FB	577	10
2-25TA	626	35
2-25TB	1276	75 (termoelement gick sönder)
2-25F	725	55
3-50PH	1282	280
3-50PO	933	80

I Tabell 16 går det att se att det genereras höga temperaturer ovanför den undersökta brandstoppstypen i samtliga tester. I vissa av testerna pågår det i flera minuter. Detta är en indikation som tyder på att brandstoppet inte kan begränsa höga temperaturer och ovanliggande material kan antända, vilket noterades under experiment i Fas 3.

En intressant aspekt är att brandstoppet noterades brinna i 4 av 7 experiment under Fas 2 i anslutning till områden där expansionen var relativt liten. Flamman noterades brinna med en grön färg som tros vara orsakad av den blå skyddande PE-plasten. Efter antändningen noterades brandstoppet svälla mycket snabbare och täppa igen luftspalten. Detta innebär att brandstoppet kompenserar för en liten expansion med hjälp av den egna effektutvecklingen. Sett ur brandstoppets perspektiv är detta positivt då det tillåts att expandera snabbare. Men sett ur ett helhetsperspektiv är det negativt då brandstoppet bidrar med en effektutveckling som kan antända närliggande brännbart material. I test 2-25TB noterades brandstoppet brinna i 2 minuter med temperaturer upp mot 800 °C i närliggande termoelement.

Testerna utfördes inomhus i brandlabbet med tilluft i form av en ytterdörr, vilket inte är ett verkligt scenario då dessa bränder sker utomhus i verkligheten. För experiment i utomhusmiljö hade det funnits en överhängande risker för olika väderförhållanden med avseende på exempelvis temperatur, relativ fuktighet, vind och regn mellan de olika testerna. Även fast testen utfördes inomhus har det funnits naturliga variationer i form av vind och temperatur då testerna utfördes under en tidsperiod på 3 veckor. Samtidigt skulle det krävas många utomhus tester för att skapa representativ data vilket innebär att tester inomhus är i slutändan det bästa alternativet. Även fast detta är det bästa alternativet noterades flamman vara känslig för vädret. Vid blåsiga dagar kunde plymen påverkas och vackla från sida till sida.

Svällningstiden observerades på flera olika sätt och det finns stora osäkerheter kring om erhållna tider stämmer eller inte då denna del är svår att kvantifiera. Detta då brandstoppet börjar svälla på olika

delar vid olika tidpunkter. Samtidigt går det endast att se indikationer när brandstoppet börjar att svälla och det saknas kriterier på när det har svällt färdigt. Eftersom flödesmätaren och TSC-mätaren centrerades i luftspalten gav de indikationer på vad som hände där. I kombination med placeringen av mätinstrumenten noterades de första tecknen på svällning där vilket innebär att indikationerna från data begränsades till de lokala expansionerna i mitten. Resultatet av detta innebär en begränsning i datainsamlingen då expansionen till höger och vänster blev svår att kvantifiera och istället blir bedömningar visuella och kvalitativa.

Svällningstiden varierade med ett stort beroende på brandstoppets tillstånd, torrt eller fuktmättat, vilket resultaten från Fas 2 och konkalorimetern visar. Således anses det vara viktigt att säkerställa att risken för fuktmätning minimeras. Om ett grafitbaserat brandstopp installeras i ett fasadsystem med risk för höga fukthalter kommer funktionen av brandstoppet att försämrans vid händelse av brand. Om det saknas kunskap angående förhållandet mellan brandstoppets funktion och en hög fukthalt kan skyddet som brandstoppet ger orsaka en falsk trygghet. Om ett fasadsystem likt test 3-50PH utsätts för höga fukthalter finns en risk att brandspridningen i luftspalten kan orsaka stora konsekvenser. Ju mer material som brinner utvecklas desto mer brandgaser utvecklas och dessa kan skada ovanliggande material och försvåra en utrymning från byggnaden. Likt branden i Grenfell Tower år 2017 kan många människor omkomma vilket pekar på att en fasadbrand som sker i ett icke testat fasadsystem ger upphov till en hög samhällsrisik. Risken ska inte missuppfattas öka i direkt relation till en ökad fukthalt, istället måste problemet angripas med ett helhetsperspektiv där hela fasadsystemets egenskaper studeras. Fuktkänsliga brandstopp bör inte inkluderas i fasadsystem där det finns en risk för höga fukthalter och kan inte heller användas för fasader där fasadpanelen riskerar att gå sönder. Sannolikheten för ett fallerande är delvis beroende av omgivande väderförhållanden. Det är inte heller ett fallerande brandstopp som orsakar konsekvenser för brand, det är också helheten av fasadsystemet som påverkar.

I de mellanskaliga testerna monterades brandstoppet 12,5 centimeter ovanför underkant av fasadskivan. En varierande monteringshöjd skulle kunna innebära olika resultat. Placerat längre ner, därmed närmare branden, skulle det orsaka en kortare svällningstid men större chans att temperaturen ovanför brandstoppet blir högre innan brandstoppet expanderar. Om det skulle placeras längre upp blir svällningstiden längre på grund av den lägre temperaturen förutsatt att det är obrännbart. Om materialet är brännbart måste det undersökas hur det kan påverka brandstoppets svällningstid.

10 SLUTSATSER

Det går att dra slutsatser från detta examensarbete och dessa grundar sig i frågeställningarna som presenterades i kapitel 1.3.

- Vad är beteendet hos ett brandstopp vid händelse av brand med avseende på varierande brandexponering och fuktmättnad?
- Till vilken grad utgör fasadsystemet innehållande ett grafitbaserad brandstopp en riskreducerande åtgärd för brandspridning i en fasad och hur kan det utvärderas?

Från den första frågeställningen går det bidra med ny kunskap och dra slutsatsen att ett fuktmättat brandstopp i ett fasadsystem kan fördröja svällningstiden med upp till 15 minuter vid ett fuktmättat tillstånd jämfört med ett torrt, vid en brandeffekt på 25 kW. Beteendet hos ett fuktmättat brandstopp identifierades med att en större del av det absorberade vattnet måste förångas bort innan brandstopet expanderar. Vid högre effekter uppmättes högre temperaturer vilket innebar en snabbare förångning av fukten och därmed en kortare svällningstid. Detta betyder att svällningstiden varierar med fukthalten och med brandeffekten. Fukthalten anses vara den mest avgörande faktorn för tiden till svällning och kan ge upphov till stora konsekvenser om brandstoppet fuktexponeras. Bedömningen är att inget brandstopp av denna typ ska riskeras bli fuktmättat. Riskbedömningen går hand i hand med de byggnadstekniska installationerna och bedömningen blir individuell för varje enskilt fasadsystem.

Sett till riskreduceringen av brandspridning kan det konstateras att ett brandstopp som bibehålls torrt och monteras i ett fasadsystem där luftspalten är intakt, innebär det en riskreducering. Tidsaspekten av höga temperaturer är en viktig parameter att ta hänsyn till för brandspridningen och det går att dra slutsatsen att oavsett fuktillstånd skyddar inte ett ensamt brandstopp mot en initial brandspridning. Detta observerades att PIR-skummet och brandstoppet började att brinna direkt och kunde fortsätta brinna fram tills att brandstoppet expanderade. Även i Fas 2 observerades brandstoppet brinna. I respektive test i Fas 3 uppmättes följande temperaturer ovanför brandstoppet som illustrerar risken för brandspridning, se Tabell 17.

Tabell 17 Maximalt uppmätta temperaturer ovanför brandstoppet för tester i Fas 3.

Test	Maximal temperatur [°C]	Tid som bibehålls över 400 °C [sekunder]
3-50PH	1282	280
3-50PO	933	80

Efter expansion noterades brandstoppet förhindra brandspridning och höga temperaturer så länge som fasadsystemet bibehålls intakt. Ett brandstopp ökar nödvändigtvis inte brandskyddet i ett dåligt konstruerat fasadsystem. Logiken med att om mer skydd (brandstopp) installeras blir säkerheten bättre får inte användas. Komplexiteten är för hög inom fasadsystem för att tillämpa denna logik och ett helhetsperspektiv måste tillämpas.

Från de mellanskaliga provningar gick det att se indikationer hos ett generellt beteende hos fasadsystemet. Detta skulle kunna användas som en enkel och billig gallringsmetod för framtida fasaduppsättningar för bedömning som innehåller brandstopp och en luftspalt.

11 FÖRSLAG TILL YTTERLIGARE FORSKNING

Eftersom metoden och testuppställningen finjusterades efter varje test resulterade detta i att förutsättningarna förändrades inför varje test. Testuppställningen såg därför olika ut vid det första och sista försöket. Därför finns ett behov av att utföra fler tester för att validera resultaten som vi har kommit fram till. Utöver detta skulle vi se det väldigt intressant om fler experiment skulle utföras med följande varierande parametrar i samma testuppställning:

- Utföra tester med varierande fukthalter i brandstoppen.
- Fler typer av brandstopp från den nordiska marknaden bör testas
- Använda en större testuppställning som tillåter större effekter, varierande spaltbredder, mer mätinstrument, fler brandstopp i en vertikal led och olika materialuppsättningar. Öka längden av brännaren för att sänka effekt per löpande meter
- Undersöka om denna testuppställning kan efterlikna resultat från SP Fire 105

En aspekt som tar avstånd från experimentella bitar vore en nulägesanalys som behandlar utsträckningen av hur brandstopp används i Sverige samt vilken kunskap räddningstjänster och brandkonsultbranschen har inom ämnet.

12 LITTERATURFÖRTECKNING

- Adl-Zarrabi, B. (2007). *Influence of temperature, moisture, salt, cleaner compounds and rainwater on the expansion of intumescent fire seals*. Borås: SP Technical Research Institute of Sweden.
- Al-Homoud, M. S. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Elsevier*, 353-366.
- An, W., Sun, J., Liew, K. M., & Zhu, G. (2016, Juni). Flammability and safety design of thermal insulation materials comprising PS foams and fire barrier materials. *Materials & Design*, 99, 500-508. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.03.080>
- Anderson, J., Boström, L., & Jansson McNamee, R. (2017). *Fire Safety of Facades*. Brandforsk. doi:ISSN 0284-5172
- Anderson, J., Boström, L., Chiva, R., Guillaume, E., Colwell, S., Hofmann, A., & Toth, P. (2019, Juni 22). European approach to assess the fire performance of façades. In *Interflam 2019. 15th International Conference and Exhibition on Fire Science and Engineering*. 15, p. 213. Interscience Communications. doi:10.1002/fam.2878
- Anderson, J., Boström, L., McNamee, R. J., & Milanovic, B. (2016). Uncertainties in façade fire tests – measurements and modeling. *MATEC Web of Conferences Vol 46* (s. 03002). EDP Sciences.
- Arif Kamal, M. (2020). Recent Advances in Material Science for Facade Systems in Contemporary Architecture: An Overview. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 8(3), 97-104. doi:10.12691/ajcea-8-3-3
- Asdrubali, F., D'Allesandro, F., & Schiavoni, S. (2015, juli 4). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1-17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>
- Babrauskas, V. (1990, Januari). Cone calorimeter. 18(1), pp. 32-35. Retrieved December 2, 2020, from https://www.researchgate.net/publication/293187727_Cone_calorimeter/link/5c769b00a6fdcc4715a096a1/download
- Bart, S. J. (2005, Maj 23). Critical considerations on the use of a bi-directional probe in heat release measurements. *Fire and Material*, 335-349. doi:<https://doi.org/10.1002/fam.886>
- BBR. (2011, April 19). Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BBR. Karlskrona, Sverige: Boverket. Retrieved November 23, 2020, from <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/>
- Bomberg, M., & Kisiewicz, T. (2015). *Methods of building physics 5.4 WATER RESISTIVE BARRIERS (WRB)*. Retrieved Oktober 5, 2020, from https://www.researchgate.net/publication/319321659_54_WATER_RESISTIVE_BARRIERS_WRB
- Bonner, M., & Rein, G. (2018, december 1). Flammability and Multi-objective Performance of Building Façades: Towards Optimum Design. *International Journal of High-Rise Buildings*, 7(4), 363-374. doi:<https://doi.org/10.21022/IJHRB.2018.7.4.363>
- Bonner, M., Wegrzynski, W., Papis, B. K., & Rein, G. (2020, Februari). KRESNIK: A top-down, statistical approach to understand the fire performance of building facades using standard test data. (B.

- Blocken, K. Woo Kim, & C.-H. Lin, Eds.) *Building and Environment*, 169. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106540>
- Boverket. (den 12 Augusti 2020). *Fasad och yttervägg*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/fasader/#:~:text=Som%20likv%C3%A4rdigt%20kriterium%20vid%20p rovning,%C3%B6verstiger%2080%20kW%2Fm2>. den 3 September 2020
- BRE. (2003). *BRE 135, Fire performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings, second edition*. BRE report. Retrieved september 8, 2020
- BRE Global. (2019). *Fire Performance of Cladding Materials Research – Appendix A Literature review*. Watford: Ministry of Housing. Retrieved september 21, 2020, from https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/877514/MHCLG_CCZZ17A36_Final_Research_Report_Appendix_A_P111324-1019__D12V1_.pdf
- BRE Global. (2020). *Fire Performance of Cladding Materials Research - Appendix F Analysis of experimental results*. Watford: Ministry of Housing. Retrieved september 18, 2020, from https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/877519/MHCLG_CCZZ17A36_Final_Research_Report_Appendix_F_P111324-1019__D12V2_.pdf
- Brodin, L. (2019, Februari 25). "Minst fyra svenska byggnader har liknande fasad som Grenfell Tower". Retrieved september 23, 2020, from Fastighets tidningen: <https://fastighetstidningen.se/minst-fyra-svenska-byggnader-har-liknande-fasad-som-grenfell-tower/>
- Chen, R., Lu, S. L., Ding, Y., Zhang, B., & Lo, S. (2016). Correlation analysis of heat flux and cone calorimeter test data of commercial flame-retardant ethylene-propylene-diene monomer (EPDM) rubber. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 123, 545-556. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4900-x>
- CHUBB. (2018). *Risk Bulletin Aluminium Composite Panels*. Sydney: CHUBB. Retrieved september 23, 2020, from https://www.chubb.com/au-en/_assets/documents/chubb-risk-bulletin--aluminium-composite-panels.pdf
- Colic, A., & Banjad Pecur, I. (2020). Influence of Horizontal and Vertical Barriers on Fire Development for Ventilated Façades. *Fire Technology*(56), 1725-1754. doi:<https://doi.org/10.1007/s10694-020-00950-w>
- Davidsson, G., Lindgren, M., & Mett, L. (1997). *Värdering av risk*. Karlstad: Räddningsverket .
- Deffenbaugh, P. (2016, Juni 30). *metalconstructionnews*. Retrieved september 23, 2020, from MCM Panel Fire Safety: <https://www.metalconstructionnews.com/articles/mcm-panel-fire-safety>
- Delichatsios, M., & White, N. (2014). *Fire hazards of exterior wall assemblies containing combustible components*. Quincy: Fire Protection Research Foundation.
- EAE. (2011). *EUROPEAN GUIDELINE for the application of ETICS*. Baden - Baden: European Association for External thermal insulation composite system.

- Elaiyaraja, P., Sivasankaran, H., Wilson, L., Bensely, A., & Dhasan, M. (2010, Juli). Experimental Investigation on Pressure Drop and Heat Transfer Characteristics of Copper Metal Foam Heat Sink. *Experimental Heat Transfer*, 23, 185-195. doi:10.1080/08916150903399722
- Engineering ToolBox*. (2018). Retrieved November 19, 2020, from Propane - Density and Specific Weight: https://www.engineeringtoolbox.com/propane-C3H8-density-specific-weight-temperature-pressure-d_2033.html?vA=20°ree=C#
- Erhorn, H., Kienzlen, V., Krapmeier, H., Lützkendorf, T., Wagner, A., & Werner, J. (2015). *The significance of thermal insulation*. Karlsruhe: KEA. Retrieved from https://www.buildup.eu/sites/default/files/content/the_significance_of_thermal_insulation.pdf
- Escolano, D. (2019, februari 14). *Pulycort*. Retrieved september 15, 2020, from What is a ventilated façade: <https://www.pulycort.com/en/marbles/what-is-a-ventilated-facade.html>
- Falk, J. (2010). *Ventilerad luftspalt i yttervägg : luftomsättningar och konvektiv fukttransport*. Lund: Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola. Retrieved september 15, 2020, from https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/InfoSheets/PublishedInfoSheet/28810a81-5145-46af-b266-ca497cde4ec9/SBUF_1109_p.pdf
- Falk, J. (2014). *Rendered rainscreen walls*. Lund University, Division of Building Materials. Lund: Media - Tryck. doi:ISSN 0348-7911
- Fernando Batista da Silva, L., Thomaz, E., & Alves de Oliveira, L. (2018, Juli 2). Ventilated cladding systems: structural and drainability performance criteria. *Ambiente Construído*, 18(3). doi:<https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000300285>
- FSD, f. s. (Director). (2020). *Brandskydd i fasadsystem (FSD webinar 2020-10-06)* [Motion Picture]. Sverige. Retrieved Oktober 9, 2020, from https://www.youtube.com/watch?v=mX_CaR4zPc4
- Försth, M., & Larsson, A. (2008). *On the use of ion current measurements to detect ignition in the cone calorimeter*. Borås: SP Technical Research Institute of Sweden. Retrieved september 17, 2020, from https://www.brandskyddsforeningen.se/globalassets/brandforsk/rapporter-2000-2015/detektion-av-antandning-och-karakterisering-av-pyrollys-brandgaser-och-glodbrand/bf08_311_081_rapport.pdf
- Glockling, J. L., Harbottle, J., Jones, N., Mckenna, S. T., Peck, G., & Stec, A. A. (2020, september 9). Burning behaviour of rainscreen façades. (G. Lyberatos, Ed.) *Journal of Hazardous Materials*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123894>
- Govett, R., Mace, T., & Bowe, S. (2010). *A PRACTICAL GUIDE FOR THE DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT OF WOODY BIOMASS*. Guide. Retrieved November 12, 2020, from <http://www.tropicaltimber.info/wp-content/uploads/2015/06/A-Practical-Guide-for-Determination-of-Moisture-Content-of-Woody-Biomass-2010GovettR.University-of-WisconsinStevens-Point20-pp.pdf>
- Guillamue, E., Fateh, T., Schillinger, R., Chiva, R., & Ukleja, S. (2018). Study of fire behaviour of facade mock-ups equipped with aluminium composite material-based claddings, using intermediate scale test method. *Fire and Materials*, 42(5), 561-577.
- Hahlin, G. (2019). *Utvärdering av PIR-isolering med Konk calorimeter*. Lund: Division of Fire Safety Engineering, Lunds Univeristet.

- Hidalgo, J. P., Maluk, C., Cowlard, A., & Abecassis-Empis, C. (2017, Februari). A Thin Skin Calorimeter (TSC) for quantifying irradiation during large-scale fire testing. (C. Balaji, Y. Bayazitoglu, U. Gobin, & U. Gross, Eds.) *International Journal of Thermal Sciences*, *112*, 383-394. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2016.10.013>
- Hidalgo, J., Torero, J., & Welch, S. (2017). Experimental Characterisation of the Fire Behaviour of Thermal Insulation Materials for a Performance-Based Design Methodology. *Fire Technology* *53*, 1201-1232. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10694-016-0625-z>
- Hogan, B., Bocanegra, H., Donaldson, A. B., Gill, W., & Yilmaz, N. (2009). *EXAMINATION OF THE BIDIRECTIONAL VELOCITY PROBE USED IN FLAMES*. doi:10.1115/FEDSM2009-78560
- Höst, M., Regnell, B., & Runesson, P. (2006). *Att genomföra examensarbete* (1:6 ed.). Lund, Skåne, Sverige: Studentlitteratur AB. Retrieved September 13, 2020
- ICDLI. (2015). *An Introduction to Manufacturing and Material Types*. International Committee of the Decorative Laminates Industry. Retrieved Oktober 9, 2020, from <https://dekodurinternational.com/documents/TL-150729-Manufacturing-of-HPL.pdf>
- IFSA. (2016). *The Role of Intumescent Materials in the Design and Manufacture of Timber Doors*. Intumescent Fire Seals Association. Retrieved November 20, 2020, from <https://ifsa.org.uk/pdfs/InformationSheet1.pdf>
- Jansson, R., & Strömgren, M. (2014). Så bestäms brandmotståndet. *Husbyggaren*(1), pp. 18-20. Retrieved september 7, 2020, from Så bestäms brandmotståndet: https://issuu.com/husbyggaren/docs/2014_1/25
- Jensfelt, A. (2020, september 4). *arkitekten*. Retrieved Oktober 1, 2020, from Hyllat bostadshus hade brandfarlig fasad: <https://arkitekten.se/nyheter/hyllat-bostadshus-hade-brandfarlig-fasad/>
- Johansson, N., Van Hees, P., Jansson, R., & Sjöström, J. (2013). Behavior of an Intumescent System Subjected to Different Heating Conditions. (S. Grayson, Ed.) *Fire and Materials - 13th International Conference and Exhibition*, pp. 187-196. Retrieved september 21, 2020
- Kaplan, S., & Garrick, J. B. (1981). On The Quantitative Definition of Risk. *Risk Analysis*, 11-27.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press Inc. Retrieved from 13
- Kaufman, J. G. (2016). *Fire Resistance of Aluminum and Aluminum Alloys and Measuring the Effects of Fire Exposure on the Properties of Aluminum Alloys*. Materials Park: ASM International. Retrieved september 22, 2020, from https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/05917G_Sample.pdf/7e7ed58b-3fd6-46bf-aa91-14c6e1360084
- Kingspan. (2016). *FIREsafe Building Facade System Insulated Roof & Wall Panels Issue 1*. Dunheved Circuit: Kingspan. Retrieved september 23, 2020
- Koester, J. H. (2010). *Wall Structure with Moisture Diverter and Method of Making Same*. U.S. Patent Application 12/545. Retrieved from <https://patentimages.storage.googleapis.com/90/a4/eb/0d1081696d9225/US5230350.pdf>
- Live, J. (2020). *SERNEKE*. Retrieved september 10, 2020, from Städerna växer på höjden: <https://www.serneke.se/media/insikter/staderna-vaxer-pa-hojden/>

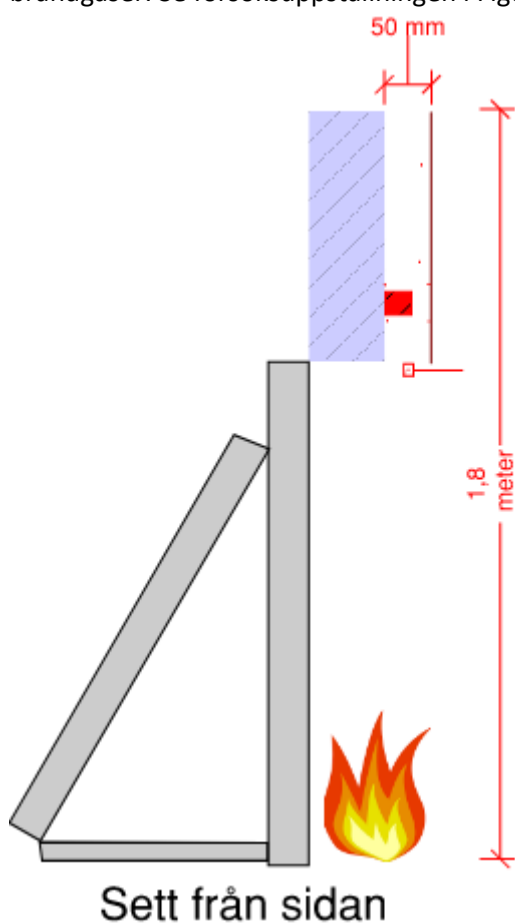
- Livkiss, K., Svensson, S., Husted, B., & Van Hees, P. (2018). Flame Heights and Heat Transfer in Façade System Ventilation Cavities. *Fire Technology*, 54, 689-713. doi:<https://doi.org/10.1007/s10694-018-0706-2>
- Lstiburek, J. (2011). *Understanding Vapor Barriers*. Building Science Press. Retrieved Oktober 5, 2020, from <https://www.buildingscience.com/documents/digests/bsd-106-understanding-vapor-barriers>
- Mattila, H. P. (2017). *Moisture Behavior of Building Insulation Materials and Good Building Practices*. EPS.
- McCaffrey, B. J., & Heskestad, G. (1976). A robust bidirectional low-velocity probe for flame and fire application. *Combustion and Flame*, 26, 125-127. doi:[https://doi.org/10.1016/0010-2180\(76\)90062-6](https://doi.org/10.1016/0010-2180(76)90062-6)
- McKenna, S. T., Jones, N., Peck, G., Dickens, K., Pawelec, W., Oradei, S., . . . Hull, R. T. (2019). Fire behaviour of modern façade materials—Understanding the Grenfell Tower fire. *Journal of hazardous materials*, 368, 115-123.
- Mikkola, E., & Meuwisse, E. (2014, Mars). Skin Deep. *Fire & Risk Management*, 4. Retrieved Augusti 31, 2020, from https://eumeps.construction/content/8-downloads/4-documents/1-fire-safety/article-on-fire-safety-of-facades-skin_deep.pdf
- MSB. (2011). *Vägledning för Risk- och Sårbarhetsanalyser*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- MSB. (2013). *Har du koll? Brandteori*. MSB. doi:Publ.nr MSB459
- NFPA. (2018). *EFFECT: External Façade Fire Evaluation and Comparison Tool*. NFPA. Retrieved september 16, 2020, from <https://www.nfpa.org/~media/97A06ADCB4D34B2DB40B6EDD8CF2C63A.pdf>
- NIST. (2018, Augusti 31). *Cone Calorimeter*. Retrieved September 10, 2020, from National Institution of Standards and Technology: <https://www.nist.gov/laboratories/tools-instruments/cone-calorimeter>
- Papadopoulos, A. M. (2004). State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Elsevier*, 77-86. Retrieved from <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0378778804001641?token=7D181CA9086EC75E6F2D9FCAEE805B53C0C1AEDF7F805E4BADBC6F2D19993718FB72EA449B047707892289827F848452>
- Papadopoulos, A. M., Avgelis, A., & Karamanos, A. (2002). Environmental impact of insulating materials at the end of their useful lifetime. *Proceedings of the Conference Protection and Restoration of the Environment VI* (pp. 1625-1631). Thessaloniki: Department of Mechanical Engineering, School of Technology, Aristotle University Thessaloniki.
- Parry, G. W. (1973). *Thermosetting Plastics Chapter 3*. (J. D. Beadle, Ed.) London: Macmillan Publishers Limited. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-349-01194-0_3
- Poirazis, H. (2005). *Single Skin Glazed Office Buildings*. Department of Architecture and Built Environment, Division of Energy and Building Design. Lund: Lund Institute of Technology . Retrieved september 17, 2020, from

- http://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/images/Publikationer/Report_EBD_T_05-4_Harris.pdf
- SIS. (2016). *SVENSK STANDARD SS-EN 13501-2:2016*. Swedish Standard Institutue. Retrieved December 4, 2020, from <https://www-sis-se.ludwig.lub.lu.se/api/document/get/80011705>
- SIS. (2019). *SVENSK STANDARD SS-EN 13501-1:2019*. SWEDISH STANDARD INSTITUTE. Retrieved November 23, 2020, from <https://www-sis-se.ludwig.lub.lu.se/api/document/get/80011843>
- SIS. (2019). *SVENSK STANDARD SS-ISO 5660-1:2019*. Swedish Standards Institute. Retrieved september 21, 2020, from <https://www.sis.se/api/document/get/80015309>
- SIS. (2020). *SVENSK STANDARD SS-EN 1363-1:2020*. Svenska Institutet för standarder. Retrieved December 4, 2020, from <https://www-sis-se.ludwig.lub.lu.se/api/document/get/80020337>
- Smolka, M., Anselmi, E., Crimi, T., Madec, B., Moder, I., Park, K., . . . Yoshioka, H. (2016). Semi-natural test methods to evaluate fire safety of wall claddings: Update. *MATEC Web of Conferences*, 46, p. 11. EDP Sciences. doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/20164601003>
- Stauffer, E. (2003, januari 22). Concept of pyrolysis for fire debris analysts. *science&justice*, 43(1), 29-40. doi:[doi:10.1016/S1355-0306\(03\)71738-9](https://doi.org/10.1016/S1355-0306(03)71738-9)
- Strömgren, M. (2018, maj 16). KAN GRENFELL HÄNDA I SVERIGE? 37. Sundsvall: BRIAB. Retrieved september 10, 2020
- Suresh Kumar, K. (2000, Febrauri 2). Pressure equalization of rainscreen walls: a critical review. *Building and Enviornment*, 35(2), 161-179. doi:[https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(99\)00015-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(99)00015-3)
- Tanaka, H., & Lee, Y. (1988). STACK EFFECT AND BUILDING INTERNAL PRESSURE . *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 29(1-3), 293-302. Retrieved september 15, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167610588901675>
- The Intumescent fire seals association. (2016, April). The role of intumescent materials in design and manufacture of timber based fire resisting doorsets. *Information sheet 1*.
- van Hees, P., Strömgren, M., & Meacham, B. (2020). *A holistic approach for fire safety*. Lund: Brandforsk. doi:[1402-3504](https://doi.org/10.1402-3504)
- Wang, F., Anaheim, S., Lu, Y., Rossi, R., Shi, W., & Song, G. (2015, april 20). Effects of moisture content and clothing fit on clothing apparent 'wet' thermal insulation: A thermal manikin study. *Textile Research Journal*, 86(1), 57-63. Retrieved september 17, 2020, from <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0040517515580527?ssource=mfr&rss=1>
- White, N., Delichatsios, M., Ahrens, M., & Kimball, A. (2013). Fire hazards of exterior wall assemblies containing combustible components. *MATEC Web of Conferences* (p. 12). Quincy, Massachusetts: USA: The Fire Protection Research Foundation. doi:[10.1051/mateconf/20130902005](https://doi.org/10.1051/mateconf/20130902005)
- Yang, X., & Zhang, W. (2019). Flame Retardancy of Wood-Polymeric Composites In Polymer-Based Multifunctional Nanocomposites and Their Applications. *Elsevier*, pp. 285-317.
- Zevehoven, R. (2013). *Processteknikens Grunder* (214 ed.). Åbo: Åbo Akademi University. Retrieved Oktober 26, 2020, from <http://users.abo.fi/rzevenho/PTG%20Aug2013.pdf>

13 BILAGA

Bilaga A – Riskanalys för laboration i brandlabbet

Denna experimentplan följer brandlabbets säkerhetsinstruktioner. Detta är signerat av författarna. Under detta experiment ska vi undersöka ett brandstopps funktion i ett fasadsystem. Fasaden ska fästas på en metallställning där fasaden fästes med hjälp av en längre skruv och muttrar. Material som ska ingå i fasaden är icke-brännbar skiva (för att skydda ställningen), stenull, brandstopp och en högpressad laminatskiva. Bränslet till flammen är propan och med hjälp av en sandboxburner går det att justera brännarens area. Syftet med sandboxburnern är att få ett jämnare bränsleflöde och bättre kontrollera flammen. Försöket kommer ske under en huv för att ventileras bort brandgaser. Se försöksupställningen i Figur 41.



Figur 41 Beskrivning av testrigg med mått sett från sidan.

Innan experimenten med brandstoppen tar plats behövs en testmatris, dvs vilka parametrar som kommer att varieras. Dessa tester görs först och kommer att variera flammans höjd och flammans effekt. Med hjälp av visuella observationer av flamhöjden i luftspalten kommer en testmatris att tas fram utifrån dessa värden. Genom att observera flamhöjden i luftspalten går det att skapa experiment som anses vara säkra tillräckligt säkra och utgör inte någon risk att förstöra huven.

Testmatrisen tas fram genom att börja på en låg effekt och succesivt öka effekten tills vi når 100 kW eller det noteras icke acceptabla flamhöjder.

Försöksprocedur:

1. Montera fasaden och förbered brännaren
2. Ta på overall och skyddsglasögon
3. Stäng av brandlarmet

4. Placera fasadsystem och kärl under huven
5. Starta huven och öppna en ytterdörr
6. Starta datataker
7. Starta brännaren
8. Startar tidtagarur
9. Notera resultatet

Nedan presenteras potentiella risker samt åtgärder för att reducera dessa. Då fasaden kommer bestå av brännbart material är det tillsammans med propan det som kommer påverka effektutvecklingen. Denna får inte överstiga 100 kW då detta är brandlabets maximala kapacitet.

När testmatrisen har tagits fram kommer ett brandstopp att placeras in i fasaden för ett enklare *screening test* då fasaden är brännbar. Det förväntas att brandstoppet kommer att bidra till en liten effektutveckling under en kortare tidsperiod för att sedan potentiellt stänga luftspalten. Under dessa tester kommer flamhöjden att noga observeras och data insamlas från termoelement, flödesmätare och huvens insamlingsdata. När försöken är utförda ska materiel hanteras och slängas på rätt sätt. Nedan presenteras identifierade risker och dess åtgärder.

Identifierade risker	Åtgärder
Rökspridning eller illaluktande rök.	Se till att fläktens utsugningsnivå är tillräckligt hög samt att det finns tilluft i form av en öppen ytterdörr.
Flammor slår upp i huven	Om flammorna syns ovanför fasaden ska försöket avbrytas direkt. För att förhindra att detta händer från första början ska försökstest göras innan de riktiga experimenten utförs.
Försökställning trillar	För att försökställningen inte ska tippa framåt ska tyngder placeras på försökupställningens baksida.
Fasad går i sönder och flammor slår bakom fasaden	Inget brännbart ska finnas i direkt anknötning till försökupställningen. Stäng av gasolbrännaren direkt. Den söndriga fasaden används inte mer och flyttas med hjälp av en tång.
Brandspridning i brandlabbet	Inget brännbart ska finnas i direkt anknötning till försökupställningen.
Snubbelrisk	Placera eventuella kablar smart så att antalet passeringar minimeras.
Brännskador från försökupställningen	För att inte bränna sig när försökupställningen ska plockas bort ska handskar användas. En fläkt ska användas efter experiment för att snabbare kyla ställningen.
Otät gasolutrustning	Se till att alla anslutningar är fastspända och täta. Under alla experiment kommer en gasoldetektor att placeras på marken för att detektera eventuella läckage.

Bilaga B – Resultat Fas 1

Nedan presenteras resultatet från Fas 1.

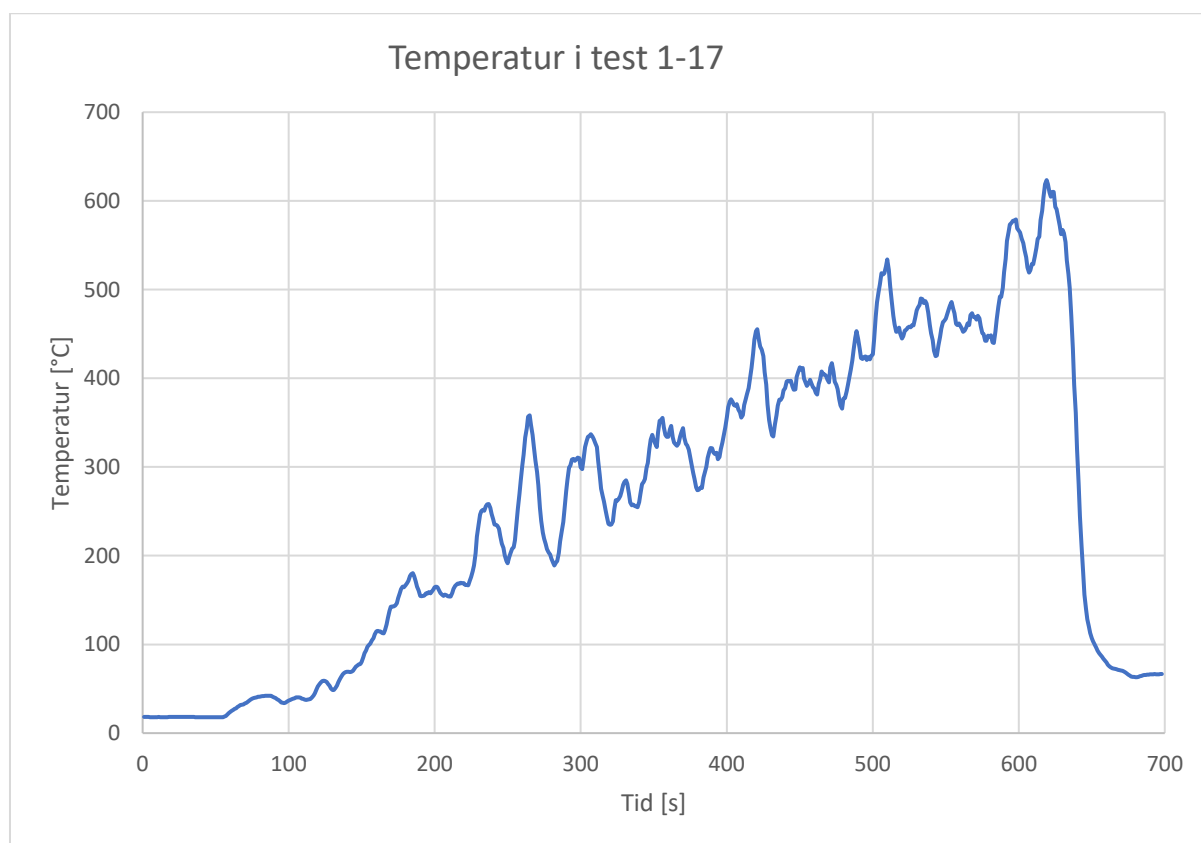
Test 1–17: Bränslets höjd 17 centimeter

Effekten från brännaren varierades med tiden och denna variation erhålls i Tabell 18.

Tabell 18 Hur effekten varierades med tiden i test 1–17 i Fas 1.

Tid [s]	Effekt [kW]
0	5
156	20
247	30
346	40
426	50
506	60
606	70
686	0

I Figur 42 presenteras medelvärde för temperaturen över tid.



Figur 42 Temperaturens variation med tiden i test 1–17 i Fas 1.

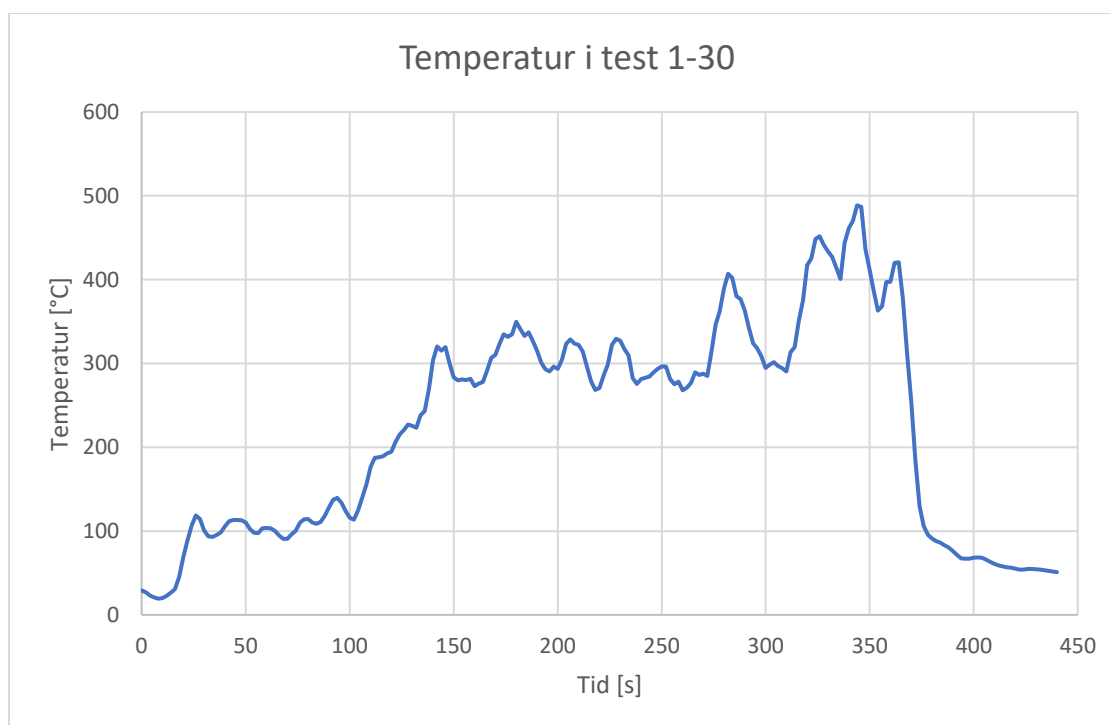
Test 1–30: Bränslet höjd 30 centimeter

Effekten från brännaren varierades med tiden och denna variation erhålls i Tabell 19.

Tabell 19 Hur effekten varierades med tiden i test 1–30 i Fas 1.

Tid [s]	Effekt [kW]
0	0
30	20
90	30
120	40
295	50
345	0

I Figur 43 presenteras medelvärdet för temperaturen och hur den varierade med tiden för termoelementet.



Figur 43 Temperaturens variation med tiden i test 1–30 i Fas 1.

Bilaga C – Framställning av TSC - mätare

En TSC mätare tillverkades enligt följande process. Processen är kombinerad från handledarnas instruktioner och beskrivningen från Hidalgo et al. (2017).

Från en kopparplåt klipptes en cirkulär yta ut med diametern 12 millimeter. Utifrån materialegenskaperna av kopparen kontrollerades att Biots tal var mindre än 0,1 enligt Ekvation 8.

$$Biots\ tal = \frac{h}{k} \cdot L \quad 8$$

h materialets termiska konvektiva värmekoefficient 20 [W/(m²K)], vid en inkommande strålning på 30 kW/m² (Elayiaraja et al., 2010).

k materialets termiska konduktiva värmekoefficient 400 [W/(mK)] (Zevenhoven, 2013)

L tjockleken av metaldisken 0,2 [mm]

Biots tal kan beräknas till 0,001 vilket innebär att dimensionen av koppardisken är mindre än 0,1 och är tillräckligt liten.

Sedan hårdlöddes två termoelement med tjockleken 0,5 millimeter på den icke brandutsatta sidan på metaldisken med där trådarna passerar varandra, se Figur 44.



Figur 44 Koppardisken med ett termoelement som är lodat.

Sedan beskärdes en stenullsbit som var cylinder och kvadratisk formad och utgjorde det bakomliggande isoleringsmaterialet. Orsaken till denna form är för att den cylinderformade delen stoppades igenom den bakomliggande fasadskivan och den kvadratiske större sidan gav mothåll på baksidan och innebar att TSC-mätaren inte behövde fästas lika hårt. Cylinderns dimension skars med

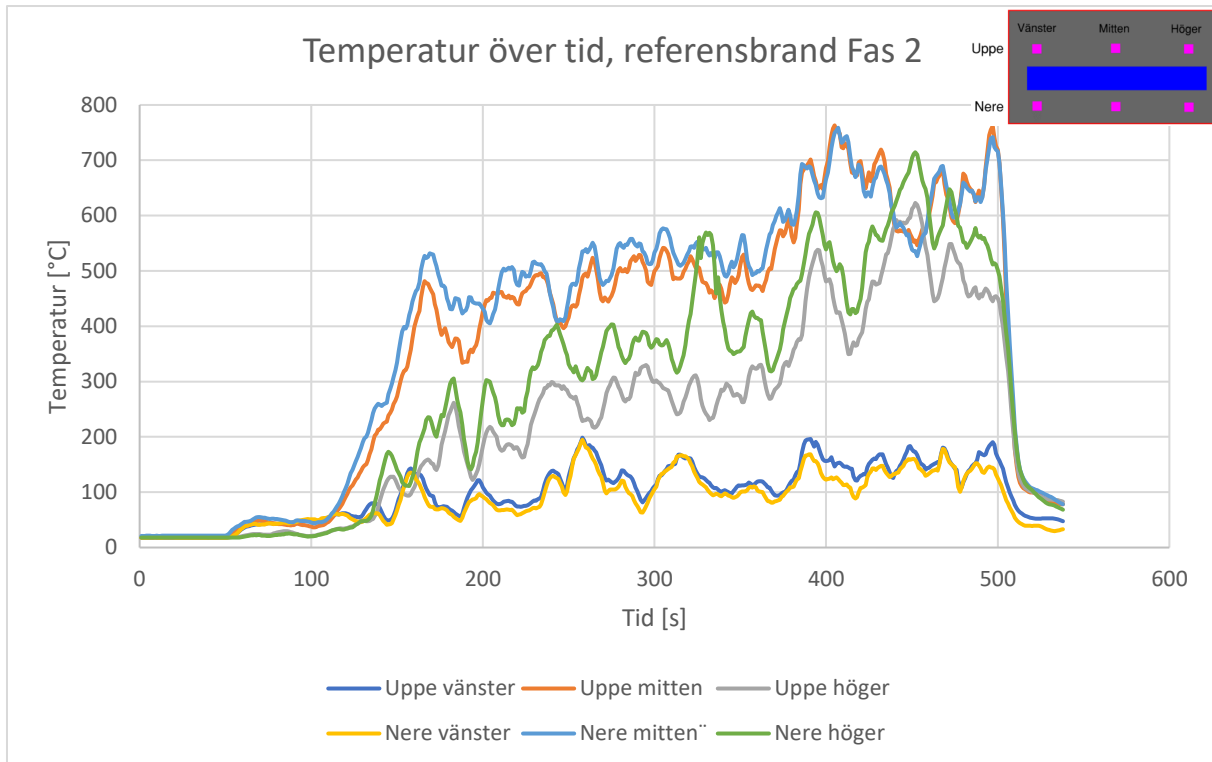
en diameter på 5 centimeter och en längd på 4 centimeter. Den bakomliggande kvadratiska formen hade en sida på 7 centimeter.

Efter detta borrades två hål genom isoleringsmaterialet där termoelementen trädde igenom. Detta är för att skydda kablarna mot potentiella flammor. Eftersom stenull innehåller bindningsmedel värmebehandlades den färdigställda TSC-mätaren i en ugn för att få bort dessa ämnen, vilket bör innebära att de isolerande egenskaperna inte varierar mellan testen. TSC-mätaren bakades under 1 timma vid en temperatur på 300 °C.

Ytan av metaldisken och isoleringsmaterialet målades med en värmebeständig svart färg. Detta för att mer värme ska absorberas.

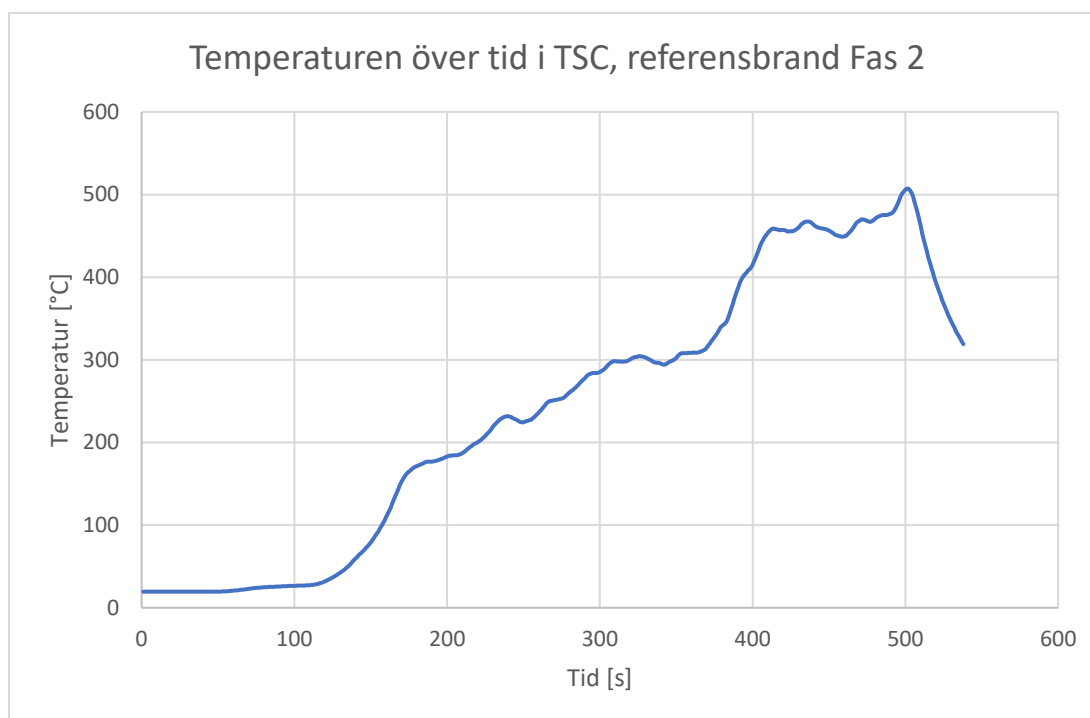
Bilaga D – Data referensbrand Fas 2

Nedan presenteras resultat från mätinstrumenten för referensbranden från Fas 2. Testet startas efter 50 s då *sanboxburnern* sattes in under fasaden och avslutades efter 500 s genom att gasolen stängdes av. Efter 124 sekunder in i testet är effekten 25 kW och efter 370 sekunder in i testet ökas effekten till 50 kW. Temperaturen variation med tiden för de sex termoelementen erhålls i Figur 45.



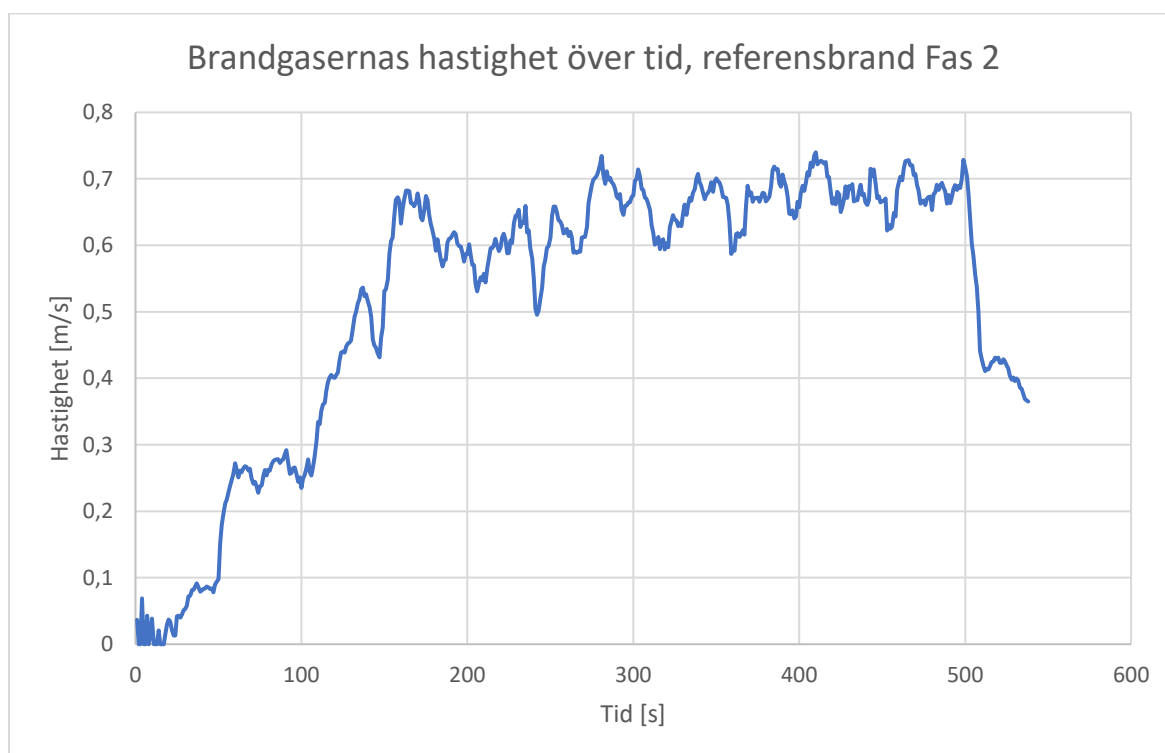
Figur 45 Temperaturs variation med tiden för de sex termoelementen i referensbranden Fas 2.

Temperaturs variation med tiden för TSC erhålls i Figur 46.



Figur 46 Temperaturens variation med tiden för TSC i referensbranden Fas 2.

Variationen för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 47.



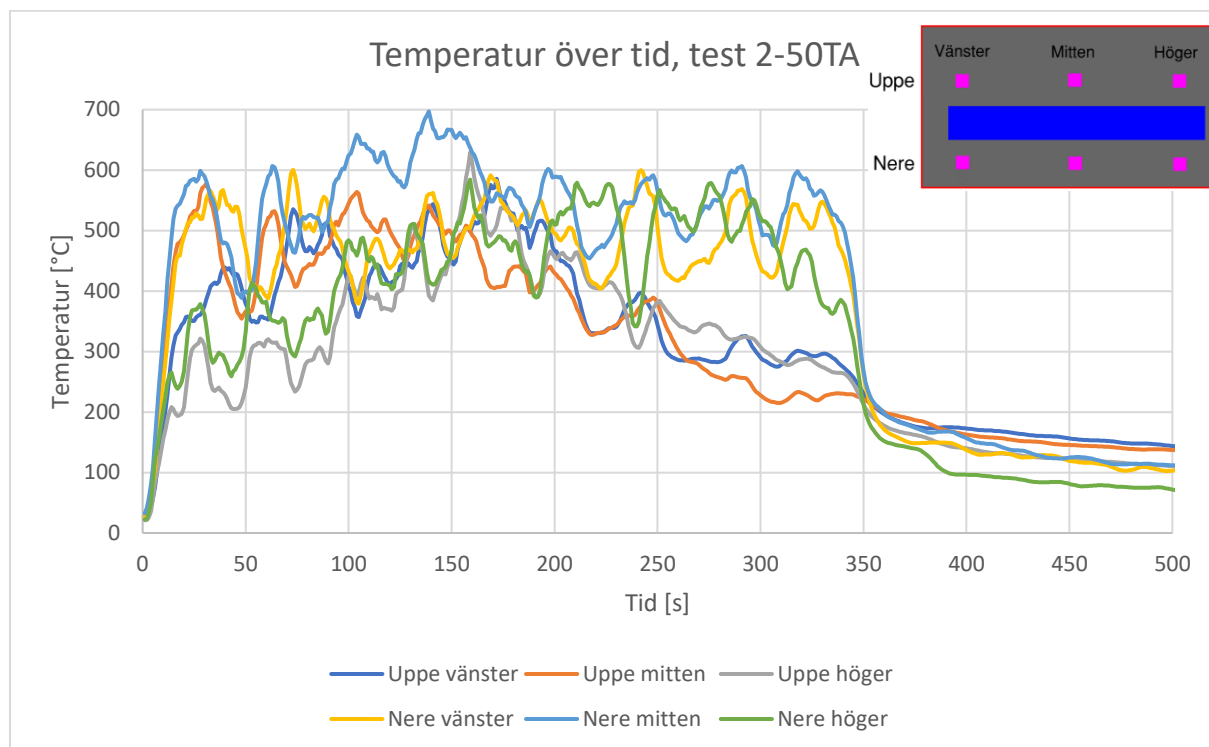
Figur 47 Variationen för brandgasernas hastigheter i referensbranden Fas 2.

Bilaga E – Resultat Fas 2

I detta avsnitt presenteras resultat för testerna i Fas 2.

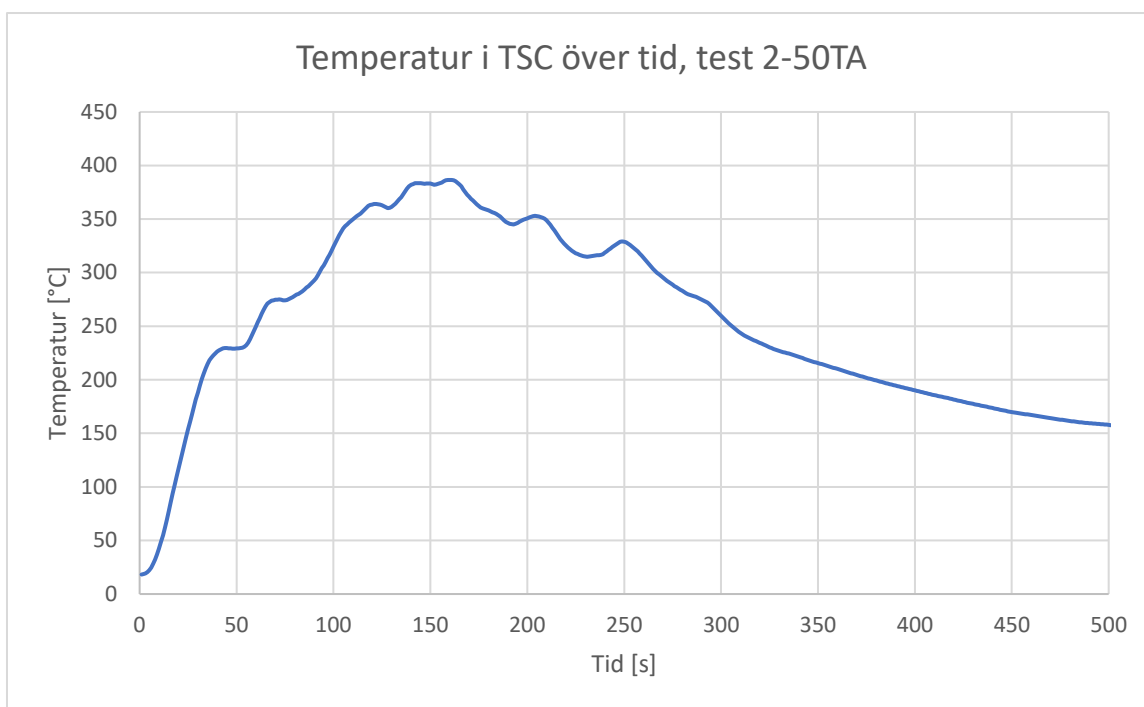
50 kW torrt brandstopp

Nedan presenteras resultat från mätinstrumenten för test 2-50TA. Gasolbrännaren stängdes av efter 348 sekunder. Temperaturen variation med tiden för de sex termoelementen erhålls i Figur 48.



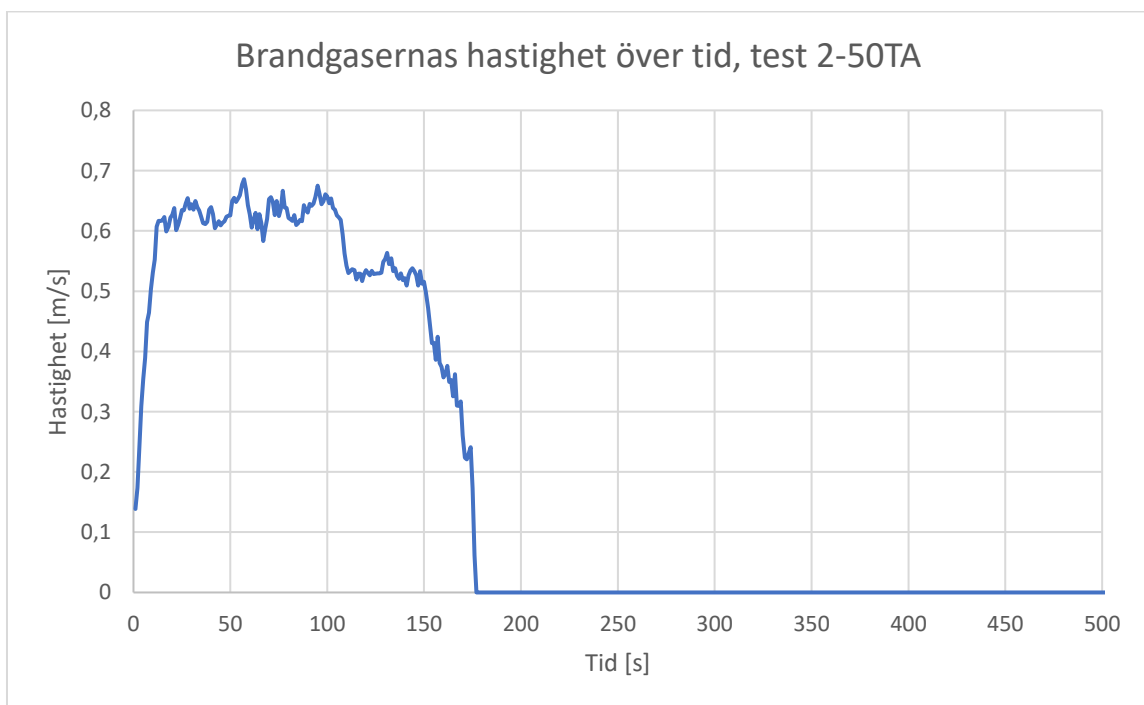
Figur 48 Temperaturens variation med tiden för de sex termoelementen i test 2-50TA

Temperaturens variation med tiden för TSC erhålls i Figur 49.



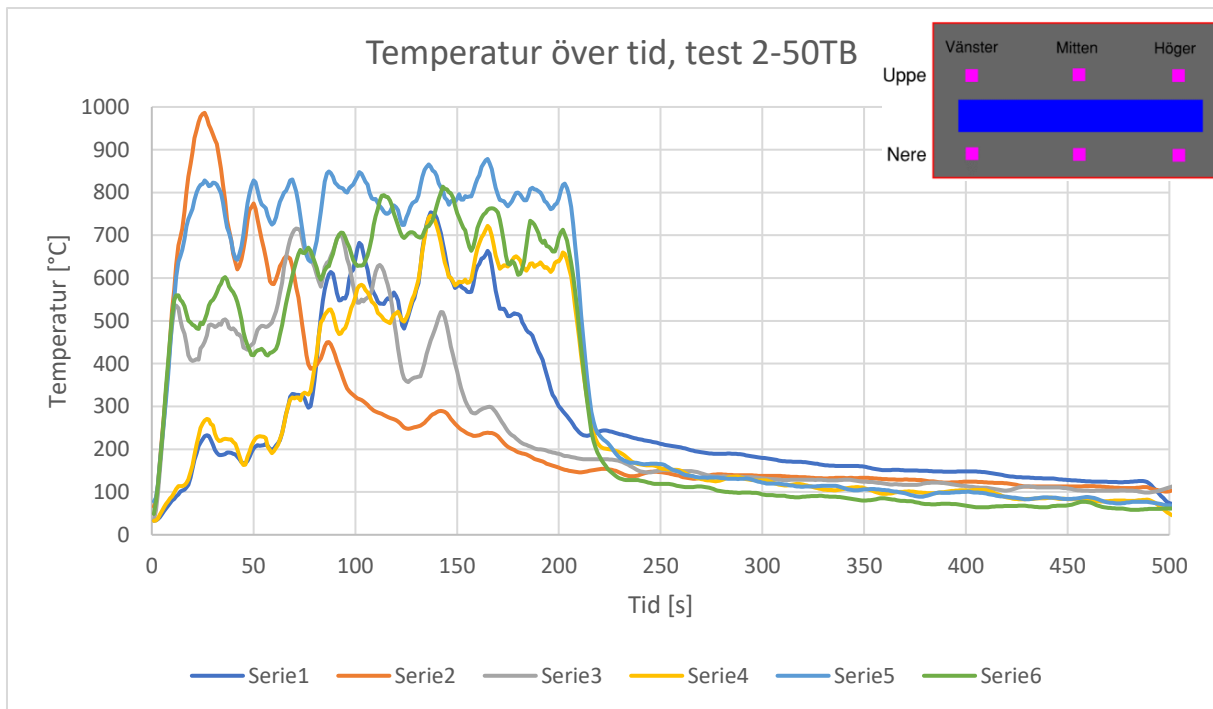
Figur 49 Temperaturens variation med tiden för TSC i test 2-50TA.

Variationen för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 50.



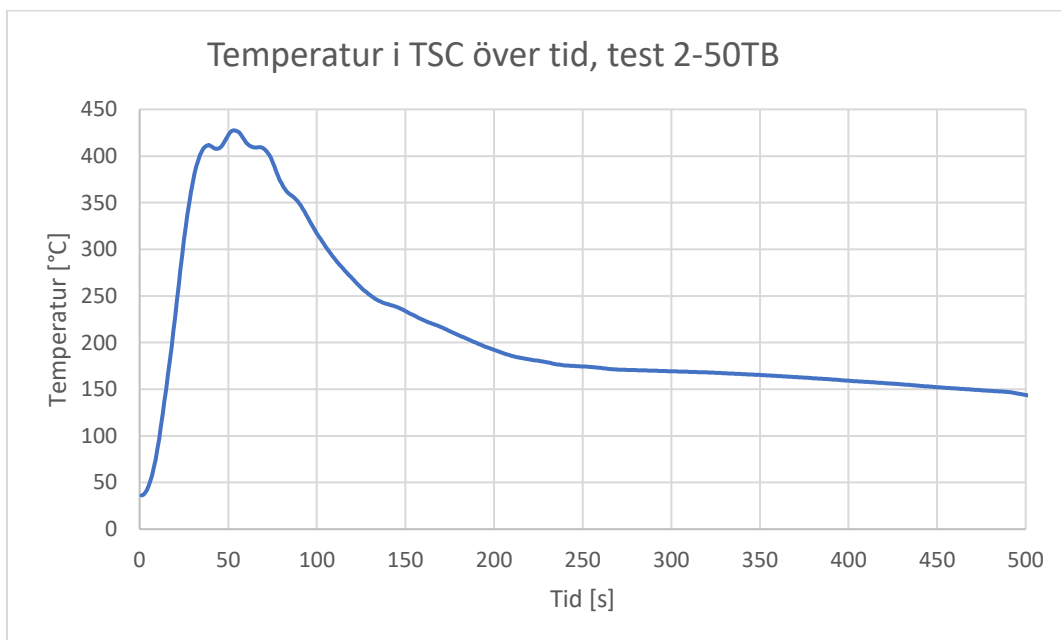
Figur 50 Variationen för brandgasernas hastigheter i test 2-50TA.

Nedan presenteras resultatet från mätinstrumenten för test 2-50TB. Testet avslutades efter 205 sekunder. Temperaturens variation med tiden för de sex termoelementen erhålls i Figur 51.



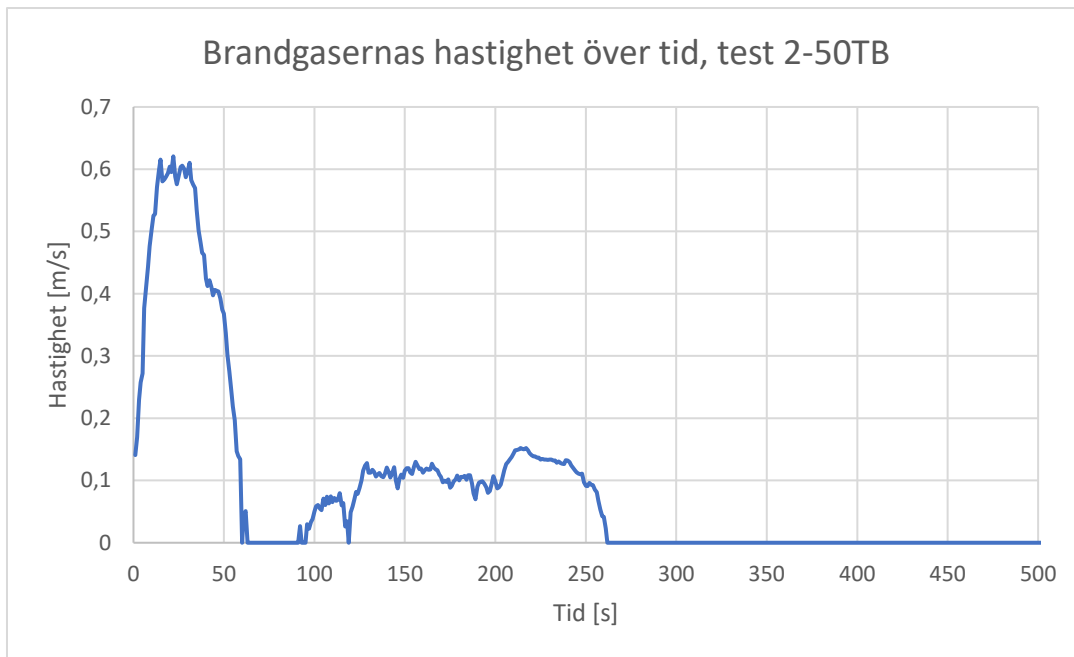
Figur 51 Temperaturs variation med tiden för de sex termoelementen i test 2-50TB.

Temperaturs variation med tiden för TSC erhålls i Figur 52.



Figur 52 Temperaturs variation med tiden för TSC i test 2-50TB.

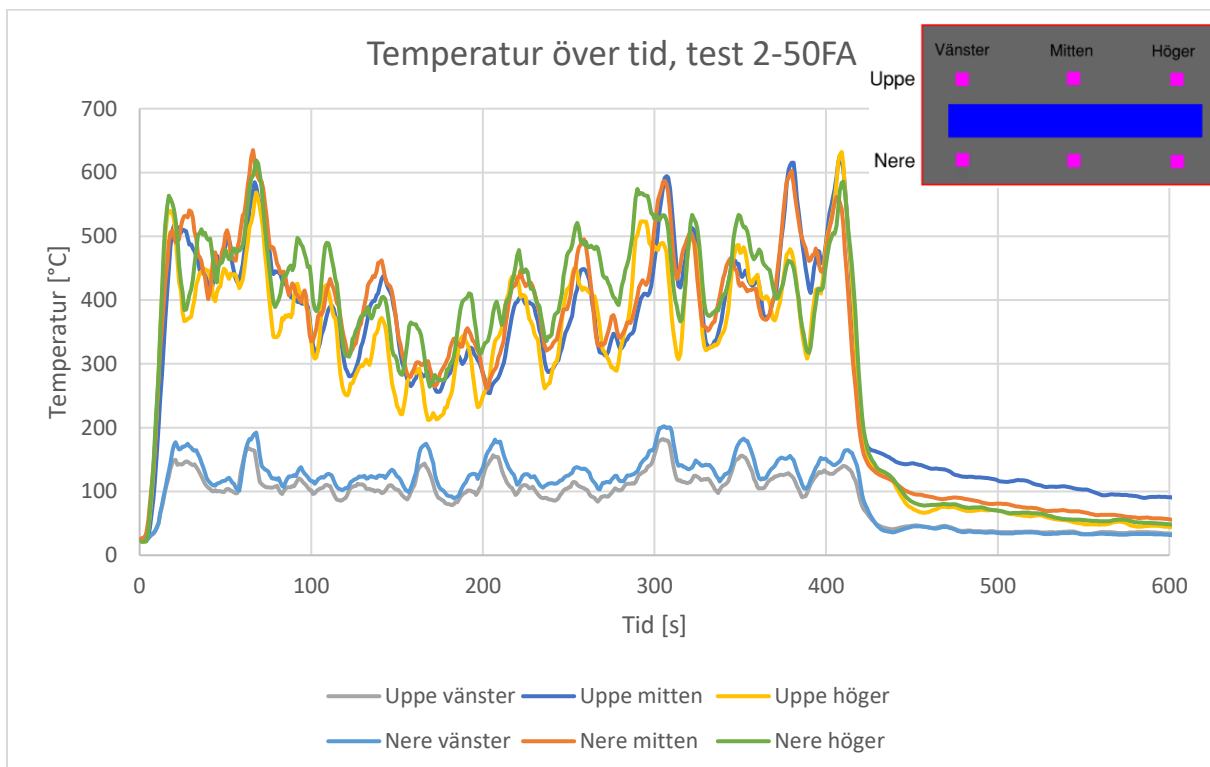
Variationen för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 53.



Figur 53 Variationen för brandgasernas hastigheter i test 2-50TB.

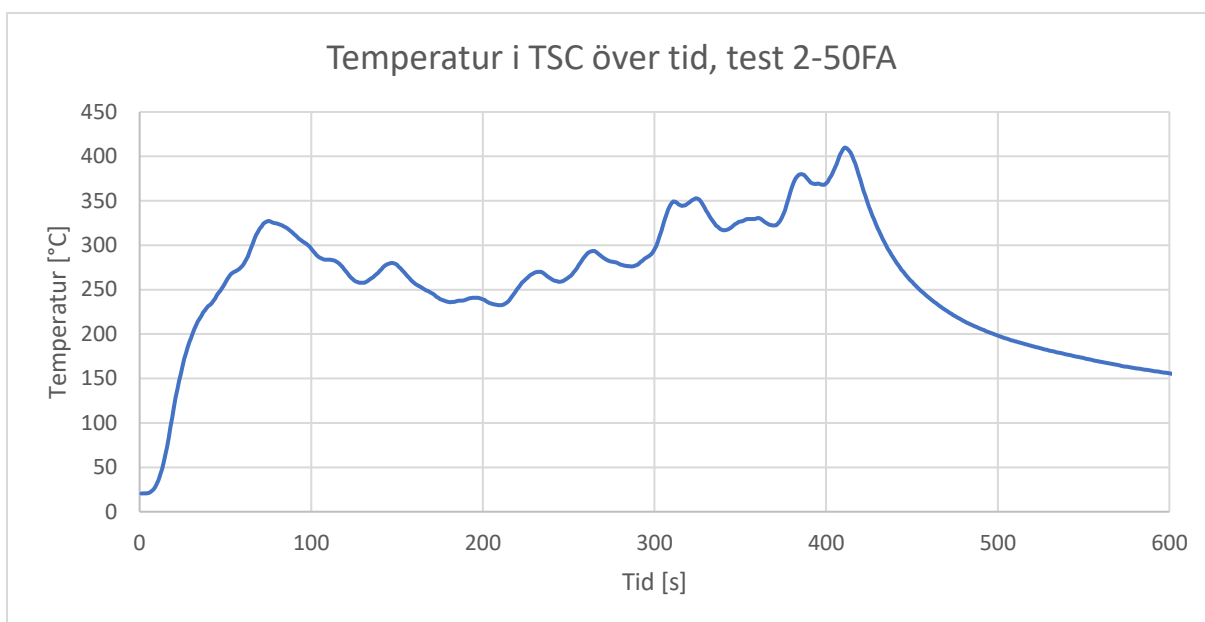
50 kW fuktmättat brandstopp

Nedan presenteras resultatet från mätinstrumenten för test 2-50FA. Testet avslutades efter 410 sekunder. Fukthalten i brandstoppet var 45 % innan testet påbörjades. Temperaturen variation med tiden för de sex termoelementen erhålls i Figur 54.



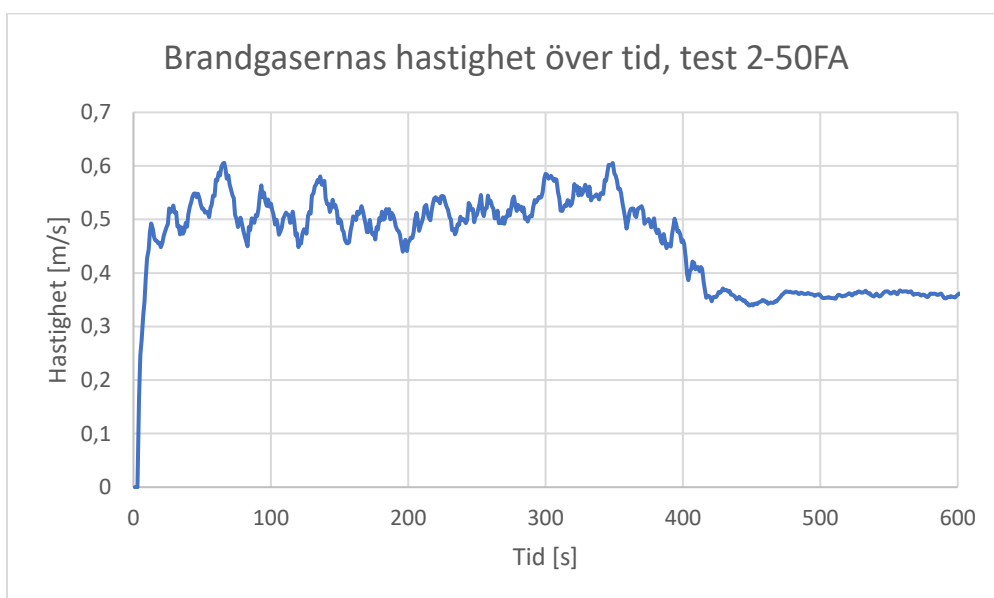
Figur 54 Temperaturens variation med tiden för de sex termoelementen i test 2-50FA.

Variationen i tid för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 55.



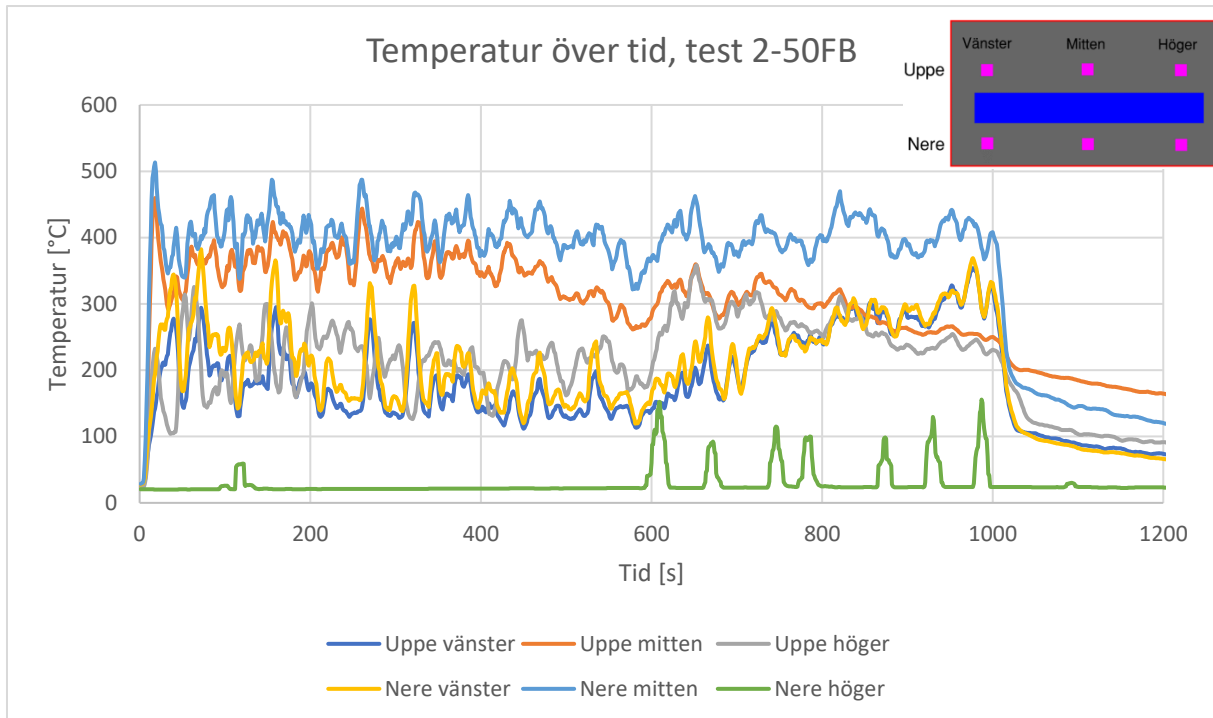
Figur 55 Temperaturs variation med tiden för TSC i test 2-50FA.

Variationen för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 56.



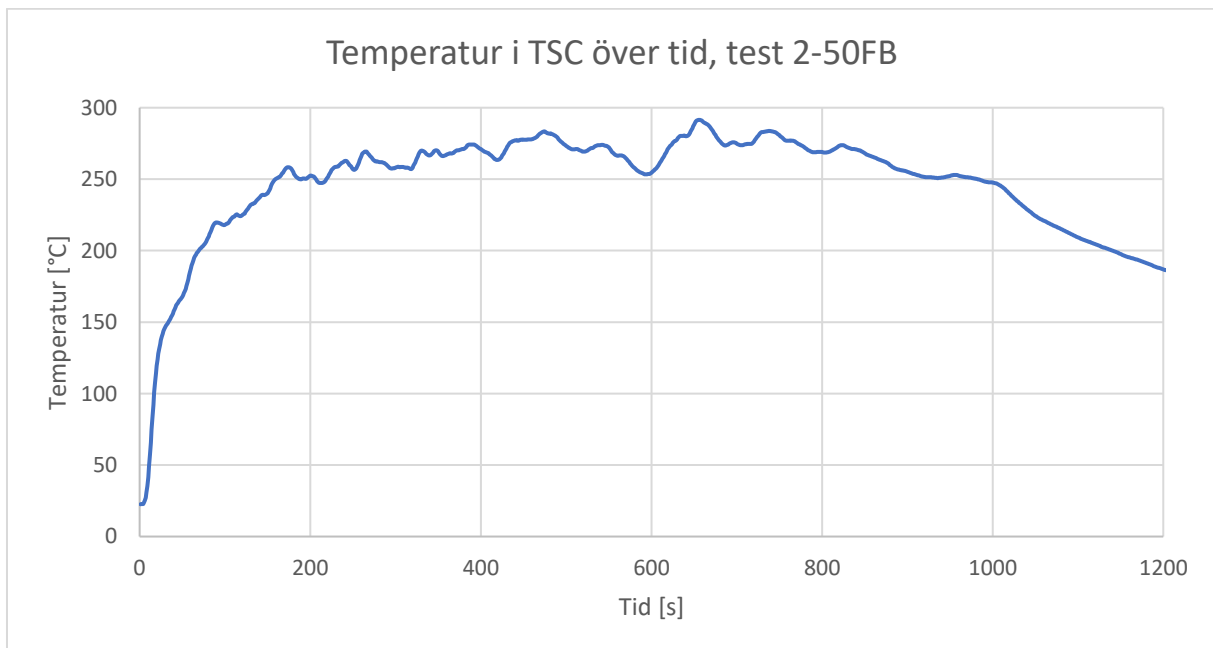
Figur 56 Variationen för brandgasernas hastigheter i test 2-50FA.

Nedan presenteras resultatet från mätinstrumenten för test 2-50FB. Testet avslutades efter 1023s. Fukthalten i brandstoppet var 43 % innan testet påbörjades. Temperaturs variation med tiden för de sex termoelementen erhålls i Figur 57.



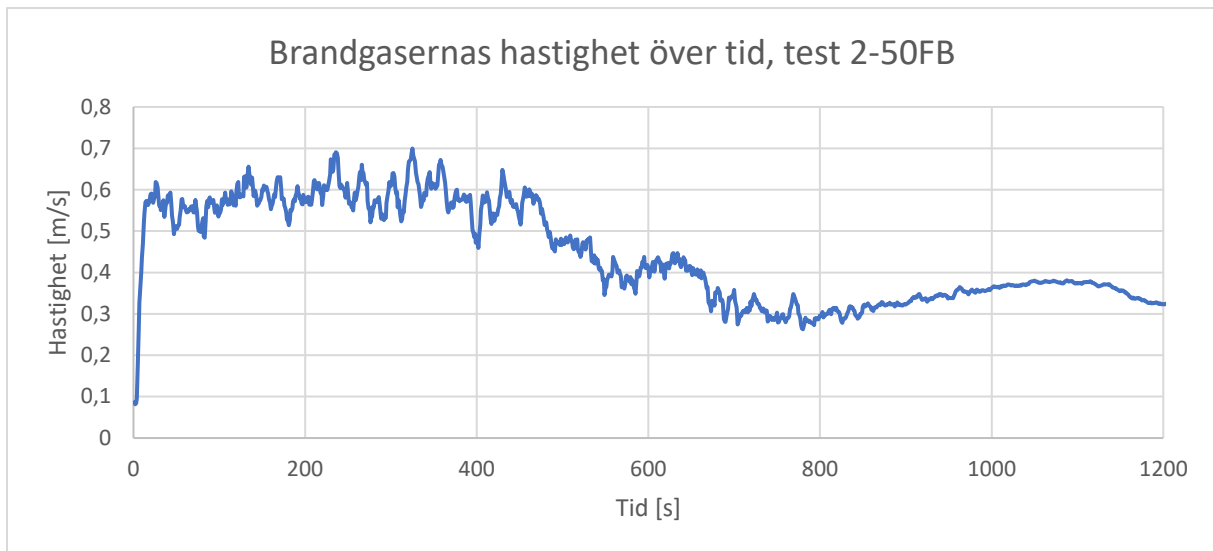
Figur 57 Temperaturs variation med tiden för de sex termoelementen i test 2-50FB. Termoelement nere höger var sönder under testet.

Variationen i tid för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 58.



Figur 58 Temperaturs variation med tiden för TSC i test 2-50FB.

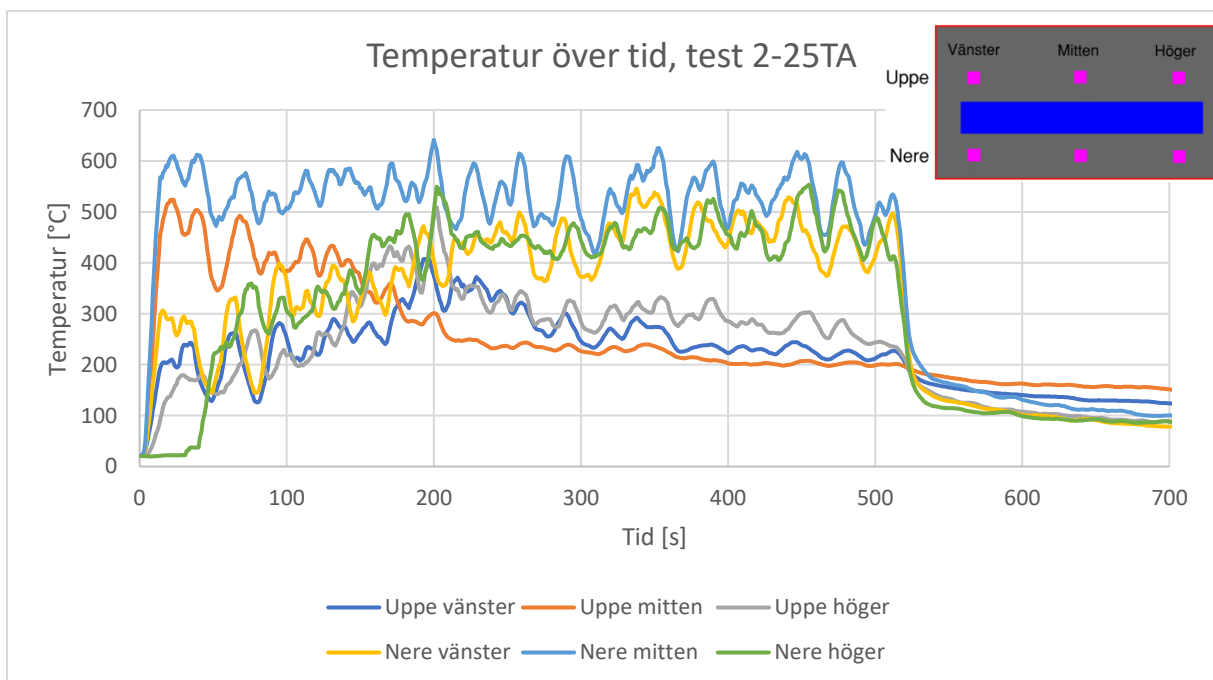
Variationen för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 59.



Figur 59 Variationen för brandgasernas hastigheter i test 2-50FB.

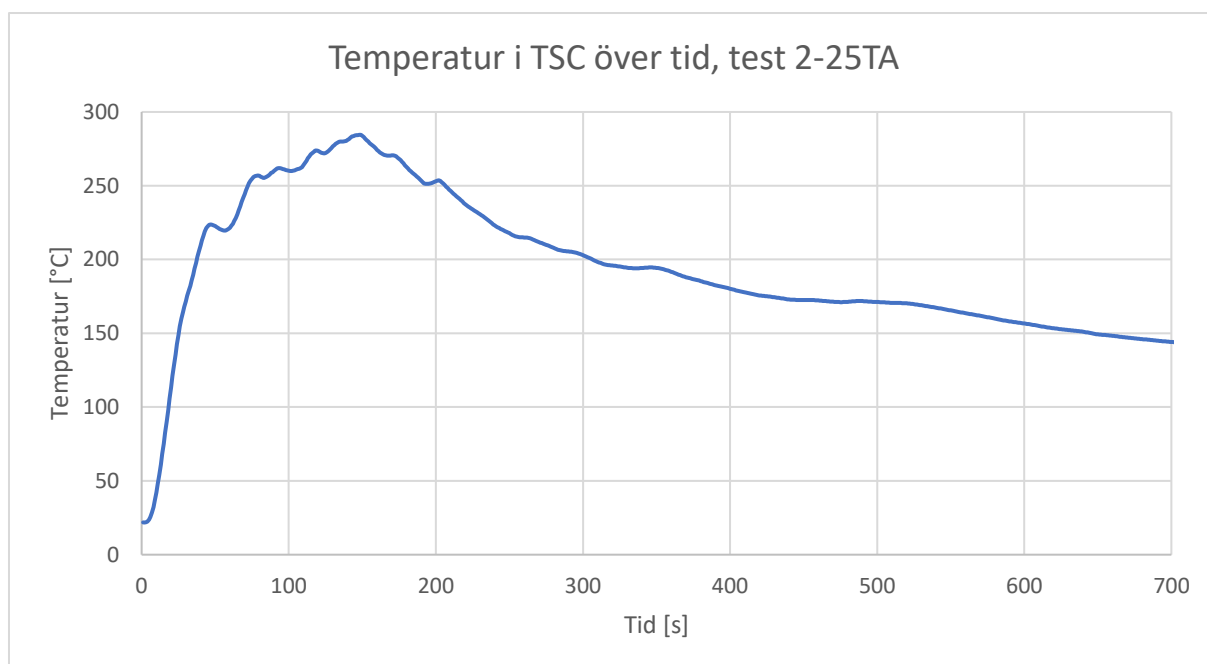
25 kW torrt brandstopp

Nedan presenteras resultatet från mätinstrumenten för test 2-25TA. Testet avslutades efter 514 sekunder. Temperaturen variation med tiden för de sex termoelementen erhålls i Figur 60.



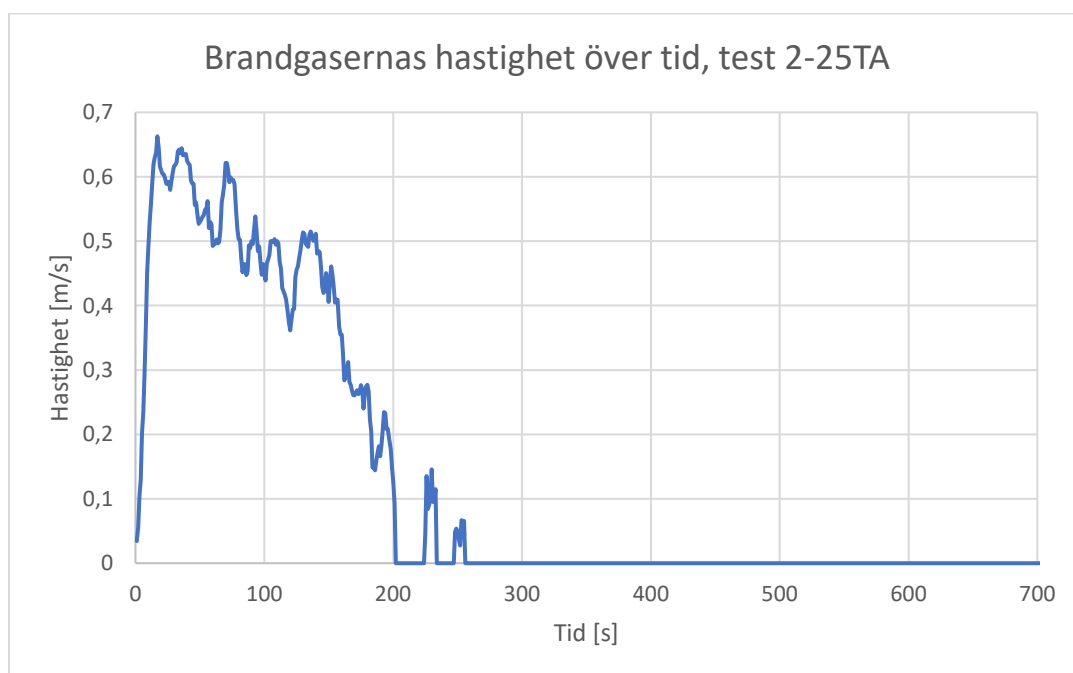
Figur 60 Temperaturen variation med tiden för de sex termoelementen i test 2-25TA.

Variationen i tid för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 61.



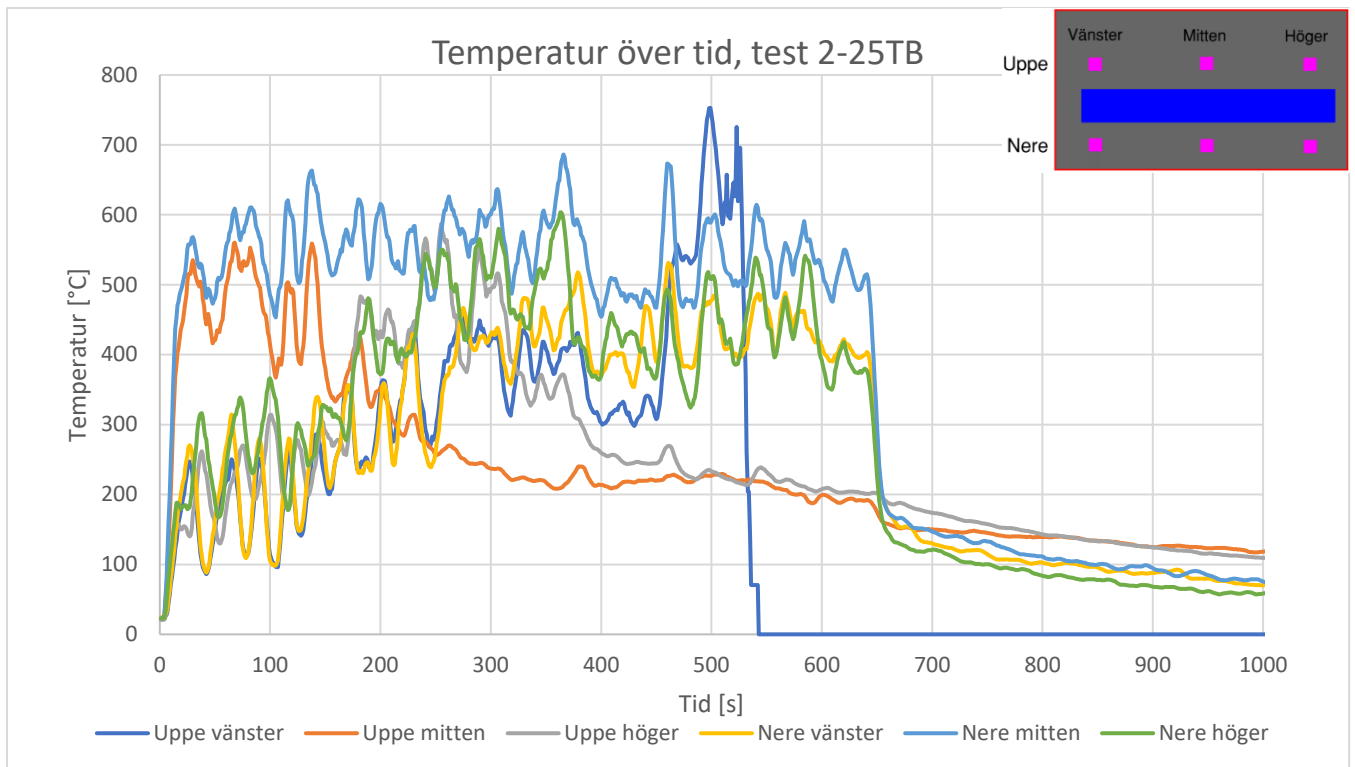
Figur 61 Temperaturens variation med tiden för TSC i test 2-25TA.

Variationen för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 62.



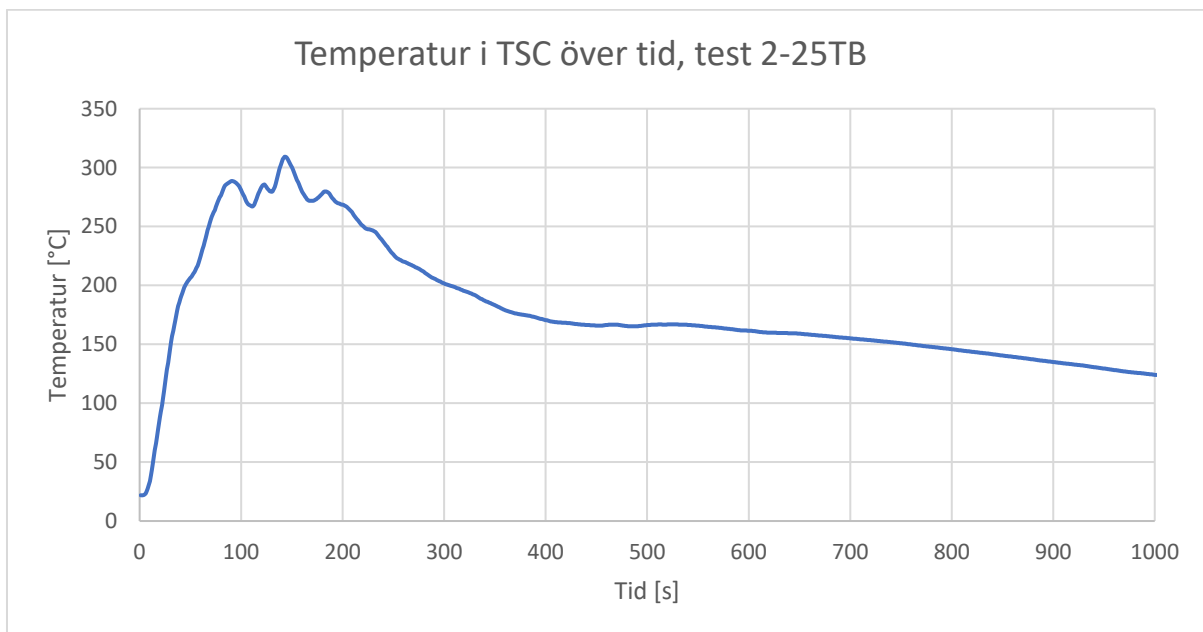
Figur 62 Variationen för brandgasernas hastigheter i test 2-25TA.

Nedan presenteras resultatet från mätinstrumenten för test 2-25TB. Testet avslutades efter 642 sekunder. Temperaturens variation med tiden för de sex termoelementen erhålls i Figur 63.



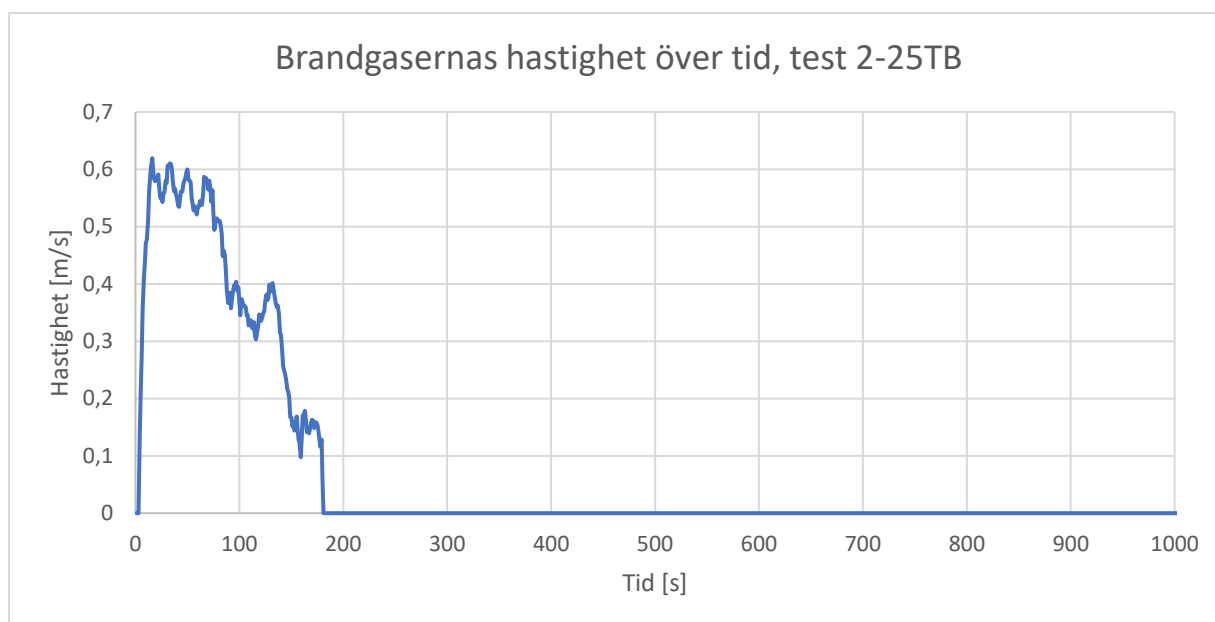
Figur 63 Temperaturens variation med tiden för de sex termoelementen i test 2-25TB. Termoelement uppe vänster gick sönder efter 520 sekunder till följd av en lokal brand i närhet till termoelementet.

Variationen i tid för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 64.



Figur 64 Temperaturens variation med tiden för TSC i test 2-25TB.

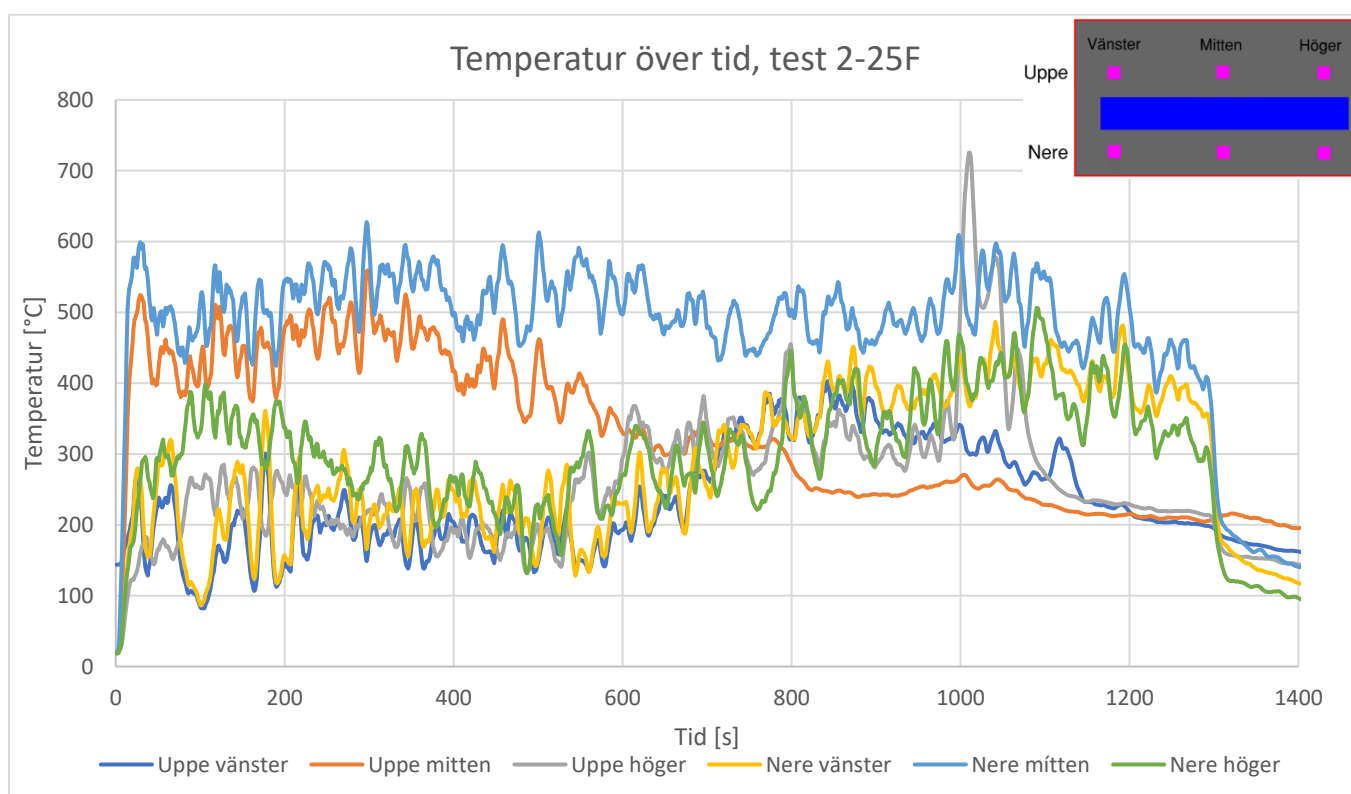
Variationen för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 65.



Figur 65 Variationen för brandgasernas hastigheter i test 2-25TB.

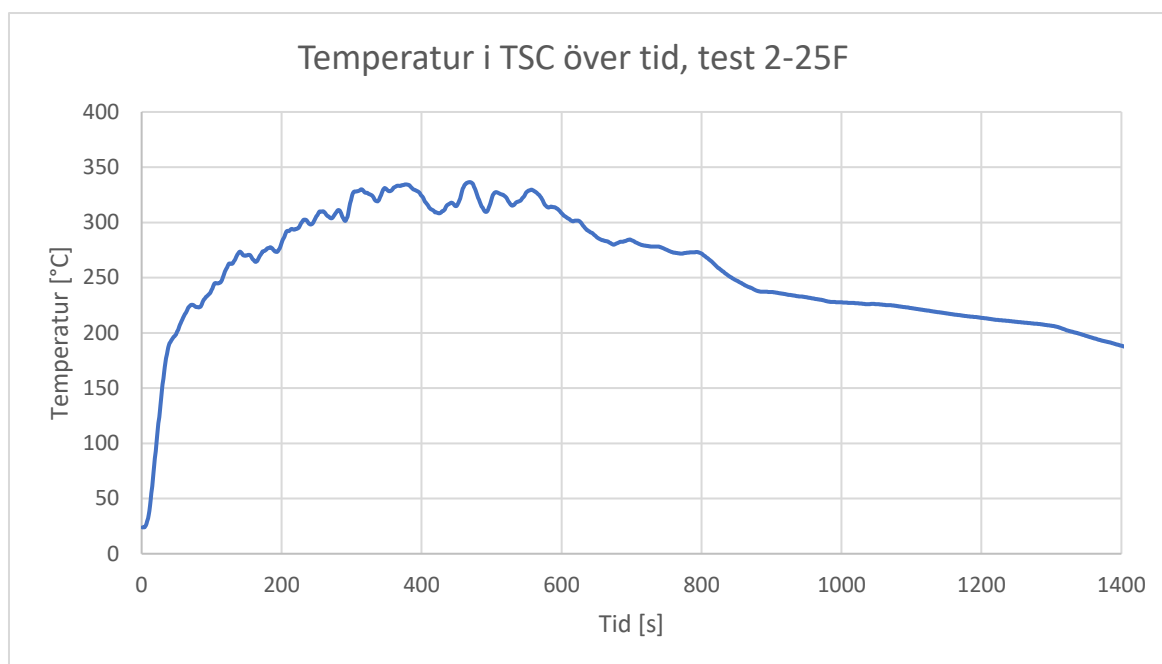
25 kW fuktmättat brandstopp

Nedan presenteras resultatet från mätinstrumenten för test 2-25F. Testet avslutas efter 1293 sekunder. Fukthalten i brandstoppet var 44 % innan testet påbörjades. Temperaturen variation med tiden för de sex termoelementen erhålls i Figur 66.



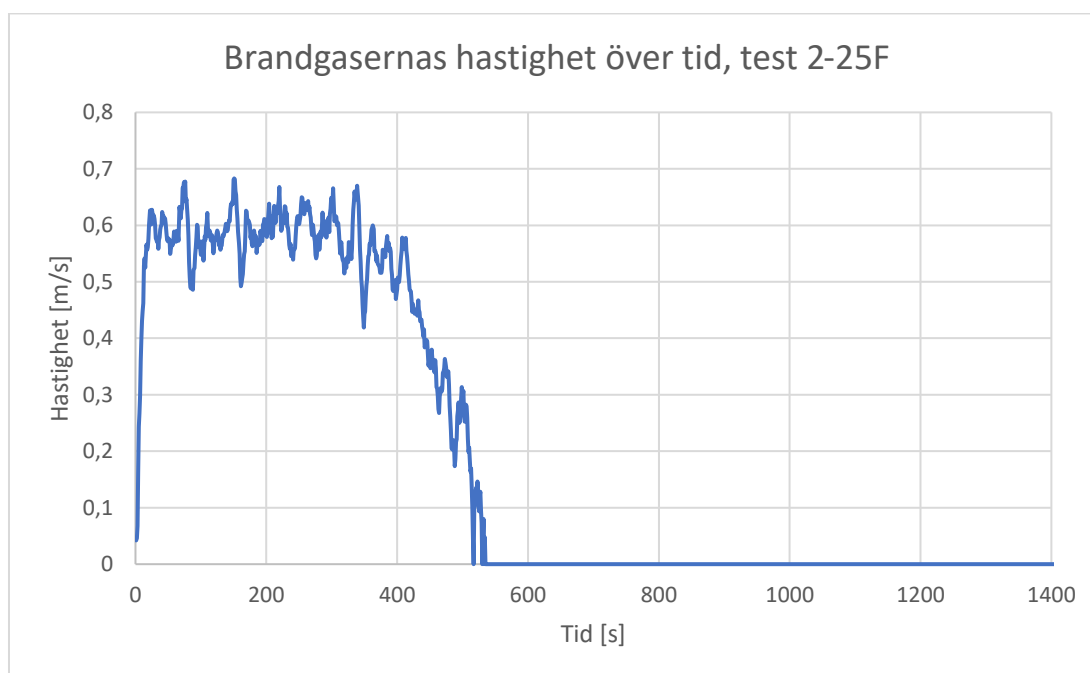
Figur 66 Temperaturen variation med tiden för de sex termoelementen i test 2-25F. Nere höger påvisar en starttemperatur på 140 grader. När flämman startar anses termoelementet bli pålitligt då kurvan följer de andra kurvorna på ett liknande sätt.

Variationen i tid för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 67.



Figur 67 Temperaturens variation med tiden för de sex termoelementen i test 2-25F.

Variationen för brandgasernas hastighet ovanför brandstoppet erhålls i Figur 68.



Figur 68 Variationen för brandgasernas hastigheter i test 2-25F.