



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Brann i PUR-skum på Leca Fasadeblokk



Hovedoppgave utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Sikkerhet, Brannteknikk

Av: Marlene Bårdsen
Thomas Hoftun

Kand.nr. 60
Kand.nr. 12

Haugesund

Våren 2007

BACHELOROPPGAVE

Studentenes navn Marlene Bårdsen
 Thomas Hoftun

Linje & studieretning Sikkerhet, Brannteknikk

Oppgavens tittel: Brann i PUR-skum på Leca Fasadeblokk

Oppgavetekst:

Vurdere sannsynlighet for brannspredning via luftspalten bak Leca Fasadeblokk.
Oppgaven vil betrakte denne faren opp mot gjeldene regelverk.

Det skal utføres småskalaforsøk for å sjekke om brennbarheten varierer ved bruk av forskjellige materialer som kan brukes i tilknytning til Leca Fasadeblokk.

Videre skal fullskalaforsøk utføres for å undersøke faren for brannspredning via luftspalten i fasaden.

Data fra forsøkene vil være temperaturmålinger og massetap.

Endelig oppgave gitt: 8.3.2007

Innleveringsfrist: Fredag 18.mai 2007 kl. 12.00

Intern veileder Jon Arve Brekken

Ekstern veileder Ole Fredrik Fodnes, maxit
 Bjørn Vik, BMB

Godkjent av
studieansvarlig:

Dato:



FORORD

Ved avslutningen av den treårige ingeniørutdannelsen ved brannteknisk linje på Høgskolen Stord/Haugesund, skal studentene skrive en hovedoppgave. Hensikten med oppgaven er at studentene skal bruke det de har lært, tilegne seg faglig innsikt, samt få erfaring i skriftlig og muntlig presentasjon. Hovedoppgaven ble utført våren 2007.

Ideen til oppgaven fikk vi fra Bjørn Vik og Ole Fredrik Fodnes høsten 2006. Vi valgte en oppgave fra maxit. Der fikk vi gjort praktiske forsøk, som viste oss hvordan bygningsdeler fungerer i en brann, i vårt tilfelle PUR-skummet som fungerer som isolasjon på Leca Fasadeblokk.

Hovedoppgaven har vært interessant, lærerik og utfordrende. Vi opplevde å få en økt nysgjerrighet på faget branndynamikk, og hvordan ulike faktorer i en brann påvirker bygningsdeler. Det var spennende å se de ulike typene av fullskalaforsøk, og observere hvordan de forskjellige konfigurasjonene ga utslag på beregninger og målinger som ble utført.

Forsøkene som ble utført kan betegnes som banebrytende, dette på grunn av at det tidligere ikke er gjennomført fullskalaforsøk på Leca Fasadeblokk.

Vi erfarte at å utføre praktiske forsøk fører med seg mange uforutsette problemer, overraskelser og resultater. Dataproblemer har vært den største utfordringen. Ved ett forsøk hang pc-en seg opp, ved et annet tilfelle ble data overskrevet. Dette gjorde at vi fikk satt i gang all vår kreativitet for å løse problemer med manglende data. Å takle stress og uforutsette hendelser har vært veldig lærerikt. Vi lærte også å tilpasse utstyr og arbeidsoppgaver spesielt for forsøkene.

Samarbeidet har vært veldig bra. Begge har følt et enormt ansvar overfor oppgaven, hverandre og for oppdragsgiverne. Føler at vi har klart å utfylle hverandre på en utmerket måte. Vi opplevde at entusiasme smitter og at det å lære er givende.

Et spørsmål som har meldt seg flere ganger er hvordan maxit skal skrives. Egennavn skal normalt skrives med stor forbokstav, maxit velger derimot å skrive navnet sitt med liten forbokstav, selv i begynnelsen av en setning. Vi har valgt å benytte maxits skrivemåte med liten forbokstav.

Marlene Bårdsen

Thomas Hoftun

Haugesund 18.05.2007



I forbindelse med gjennomføringen av prosjektet ønsker vi å takke:

- Ole Fredrik Fodnes, maxit, for fantastisk entusiasme, gode råd underveis og under besøket på ResQ, samt korrekturlesning, innspill og støtte som ekstern veileder.
- Bjørn Vik, BMB, for oppgave og engasjement som gjorde at vi valgte prosjektet, samt råd og korrekturlesning.
- Jon Arve Brekken, HSH, for utmerket veiledning og flotte tilbakemeldinger som vår interne veileder.
- Kristian Grimstvedt, HSH, for gode råd, og for veiledning i Autocad.
- Alf Reidar Nilsen, HSH, for god veiledning i forbindelse med våre spørsmål innenfor brannodynamikken i prosjektet.
- Arjen Kraaijenveld for tips i forbindelse med våre forsøk på brannlab og på ResQ.
- Oddvar Granheim og Jan Øyvind Christensen, maxit som ikke lot seg skremme av vestlandsværet og laget riggen med fasadevegg, samt prøvestykkene. Vi vil også takke for at de tok seg tid til å hjelpe oss når vi trengte det som mest.
- Martin Olav Risvold, HSH, for IT hjelp.
- Øystein Sundve, ResQ, for fantastisk engasjement og god hjelp til forsøkene.
- Rune Grønås, student, HSH, som gikk fra forelesningen for å kjøpe, og komme med utstyr til ResQ.
- Cecilie og Inger Johanne Salt for god hjelp med korrekturlesing.
- Alle andre vi har hatt kontakt med på ResQ som har vært hyggelige og hjulpet oss.
- Vi ønsker også å takke maxit for sponsing av materialer og heptan.



INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	I
INNHOLDSFORTEGNELSE	III
TABELLISTE	IV
NOMENKLATURLISTE	IV
FIGURLISTE	V
SAMMENDRAG	1
1 INNLEDNING	3
2 TEORI	4
2.1 REGELVERK	4
2.2 PUR-SKUM	5
2.3 RØYK	6
2.4 VARMETRANSPORT	7
3 SMÅSKALAFORSØK	8
3.1 INNLEDNING	8
3.2 UTSTYR OG MATERIALER	8
3.3 RIGG OG FREMGANGSMÅTE	10
3.4 RESULTATER	11
3.5 BEREGNINGER	17
4 FULLSKALAFORSØK	18
4.1 INNLEDNING	18
4.2 UTSTYR OG MATERIALER	19
4.3 RIGG OG FREMGANGSMÅTE	20
4.4 RESULTATER	21
4.5 BEREGNINGER	27
5 DISKUSJON	29
5.1 SMÅSKALAFORSØKENE	29
5.2 FULLSKALAFORSØKENE	30
5.3 REGELVERK	30



6 KONKLUSJON	31
---------------------	-----------

7 REFERANSELISTE	33
-------------------------	-----------

8 VEDLEGG	34
------------------	-----------

TABELLISTE

Tabell 1 Småskalaforsøk - Oversikt.....	14
Tabell 2 Småskalaforsøk - Oversikt.....	15
Tabell 3 Fullskalaforsøk - Oversikt	21

NOMENKLATURLISTE

A	Areal	[m ²]
B	Bredde	[m]
C _p	Varmekapasitet	[J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]
D	Dybde	[m]
h	Konvektiv varmetransport koeffisient	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
ΔH _c	Forbrenningsvarme	[KJ · g ⁻¹]
λ	Varmeledningsevne	[W · m ⁻¹ · K]
L	Lengde	[m]
\dot{q}_x	Transportert varmeenergi per flateenhet	[Wm ⁻²]
t	Tid	[s]
T	Temperatur	[°C]
T ₀	Omgivelses temperatur	[°C]
ΔT	Temperatur endring	[°C]
V	Volum	[m ³]
Δx	Tykkelse	[m]
ρ	Tetthet	[kg · m ⁻³]



FIGURLISTE

Figur 1 Leca Fasadeblokk	5
Figur 2 Leca Fasadeblokk	8
Figur 3 Bunsenbrenner	9
Figur 4 Rigg småskalaforsøk	10
Figur 5 Rigg småskalaforsøk med prøvestykke.....	10
Figur 6 Småskala - Massetap PUR-skum Leca Fasadeblokk.....	12
Figur 7 Småskala - Gjennomsnittlig temperatur for forsøkene	13
Figur 8 Rigg fullskalaforsøk	20
Figur 9 Rigg fullskalaforsøk	20
Figur 10 Spalte med Rockwool, puss og trelist	21
Figur 11 Fullskalaforsøk – Temperaturer forsøk 1.....	22
Figur 12 Spalte med Rockwool.....	23
Figur 13 Fullskalaforsøk – Temperaturer forsøk 2.....	23
Figur 14 Åpen spalte	24
Figur 15 Trefasade	24
Figur 16 Fullskalaforsøk – Temperaturer forsøk 4.....	25
Figur 17 Fullskalaforsøk – Sammenligning av temperaturer	26
Figur 18 Fullskalaforsøk – Spaltetemperatur forsøk 2.....	28

SAMMENDRAG

Leca Fasadeblokk er isolert med brennbart polyuretanskum, heretter kalt PUR-skum. Blokken er derfor ikke preakseptert løsning i forhold til veiledningen til TEK. Formålet med oppgaven er å vurdere sannsynligheten for brannspredning, samt å gi maxit en vurdering om fasadeblokken kan få en NBI teknisk godkjenning.

Vurderingene bygger på småskalaforsøk gjennomført på høyskolens laboratorium og fullskalaforsøk på ResQ, på Bleivik i Haugesund.

Småskalaforsøkene tar utgangspunkt i testmetoden NT Fire 002. En bunsenbrenner var plassert direkte mot PUR-skummet på fasadeblokken. Forskjellige konfigurasjoner ble gjennomført ved at materialet ovenfor blokken varierte. Hvert forsøk varte i 15 minutter.

Temperaturene ble målt ved hjelp av 3 termoelementer som ble plassert i forskjellig høyde mellom fasadeblokken og de forskjellige materialene. Resultatene fra småskalaforsøkene viste at det er stor forskjell på hvilket material som ligger bakenfor PUR-skummet. Ved mur og gips som bakgrunnsmateriale får brannen lite tilførsel av brennbart materiale. Asfaltplate og trepanel derimot, tilfører mer brensel og gir større innbrenning i PUR-skummet.

Fullskalaforsøkene ble utført med en fasadevegg bygget i tilknytning til et ISO-rom etter standarden "ISO 9705 Full scale ISO – room test". (1) Forsøkene ble gjennomført ved at det ble plassert et kar med heptan 40 cm under øvre vinduskarm. Karet hadde målene 18 cm x 120 cm.

Det ble utført 4 forsøk. Leca Fasadeblokk med 3 forskjellige konfigurasjoner. For å få sammenligningsgrunnlag ble det utført et forsøk med en standard treveggfasade med brannklassifisering D-s3,d0 [Ut 2]. Denne fasadetypen kan benyttes i brannklasse 3, forutsatt at:

- Ytterveggen hindrer brannspredning i fasaden
- Bygningen har mindre enn 5 etasjer
- Det er liten fare for brannspredning til/fra nabobygning. (2)

Hvis blokken motstår brann bedre enn treveggen vil følgelig også fasadeblokken kunne aksepteres. For å få godkjent blokken som skillende branncellebegrensende bygningsdel i brannklasse 3, er kravet EI60/A2-s1,d0 [A60]. Det er derfor ønskelig å teste blokken i en time.



Temperaturene ble målt ved hjelp av 6 termoelement som ble plassert både i spalten og i flammene. Temperaturene ble registrert ved bruk av datalogger koblet til en datamaskin.

Resultatene fra fullskalaforsøkene viste at innbrenningen på PUR-skummet var mellom 7 og 10 cm oppover i luftspalten. Dette gjaldt ved begge forsøkene der spalten var isolert. Ved åpning i spalten i bunn og topp brant $\frac{3}{4}$ av PUR-skummet til prøvestykket vekk.

I forsøkene med tett spalte var innbrenningen liten. Det var også mindre røykutvikling enn ved treveggen. Det må derfor kunne konstateres at materialet i denne oppstillingen, ikke gir uakseptable bidrag til brannutviklingen. Isolasjonen bringer heller ikke med seg en forhøyet personrisiko, som er kravene stilt i TEK.

1 INNLEDNING

maxit vil ha testet risiko for brannspredning i en fasade forblendet med Leca Fasadeblokk. Målet er å utrede faren for spredning i Leca Fasadeblokk, luftspalten og materialet ovenfor blokken. Vindusåpninger regnes som det mest kritiske punktet. Når blokken mures dannes en luftspalte på 20 til 30 mm mellom PUR-skum og bakenforliggende vegg. Faren er da at brannen sprer seg opp i spalten uten muligheter for slukkeinnsats. På grunn av luftspalten er ikke Leca Fasadeblokk en preakseptert løsning.

Blokken er ønsket testet for sertifisering, testen er dyr og omfattende. Oppgaven er skrevet for å gi en indikasjon på om blokken vil klare testen som ligger til grunn for godkjenningen. For å få Leca Fasadeblokk godkjent som skillende fasadekledning i alle brannklasser må produktet hindre brannspredning til bakenforliggende materiale. (3)

Det er gjennomført 15 mindre forsøk i laboratoriet til høyskolen og 4 fullskalaforsøk på ResQ, Bleivik. Småskalaforsøkene ble gjennomført med 5 forskjellige bakgrunns materialer og ble gjennomført 3 ganger hver. Fullskalaforsøkene ble utført med 4 forskjellige konfigurasjoner.

Fasaden av Leca Fasadeblokk blir sammenlignet med trepanel. Grunnen er at trepanel er en preakseptert løsning i veiledningen til TEK. Det vil si at den tilfredsstillende brannklassifisering D-s3,d0 [Ut 2]. Hvis blokken motstår brann bedre enn treveggen vil følgelig også fasadeblokken kunne aksepteres. For å få godkjent blokken som skillende branncellebegrensende bygningsdel i brannklasse 3, er kravet EI60/A2-s1,d0 [A60]. Det er derfor ønskelig å teste blokken i en time. (2)

Det gis først en innledning til småskalaforsøkene, deretter blir utstyr og materialer, rigg og fremgangsmåte, resultater og beregninger gjennomgått. Deretter vil de samme temaene bli gjennomgått for fullskalaforsøkene. En diskusjon rundt forsøkene følger før rapporten avsluttes med en konklusjon. Det er lagt ned arbeid i å fremstille resultatene ryddig og systematisk.

Oppgaven er forsøkt løst både gjennom teoretiske beregninger og gjennom praktiske forsøk. Teoretiske beregninger er gjort for å vise at temperaturen i spalten ikke er tilstrekkelig til at PUR-skummet selvantenner.

I småskalaforsøkene ble det sett nærmere på forkulling og om forskjellige materialer ovenfor PUR-skummet hadde noen betydning i forhold til brann. Fullskalaforsøkene viste hvordan fasadeblokken oppførte seg, under forhold tilsvarende en rombrann. Det er sett på hvordan brannen utviklet seg i spalten og hvordan materialet oppførte seg.

2 TEORI

2.1 Regelverk

Mars 2007 kom ny veiledningen til teknisk forskrift tilhørende plan- og bygningsloven 1997. Det ble i den forbindelse gjort endringer i reglene vedrørende bruk av brennbar isolasjon.

TEK krever at: ”Det skal velges materialer og overflater som ikke gir uakseptable bidrag til brannutviklingen. Brennbar isolasjon skal ikke bringe med seg en forhøyet personrisiko ved brann i bygninger. Det legges vekt på tid til overtenning, varmeavgivelse, røykproduksjon og utvikling av giftige gasser.”

Videre er det krav til at: ”Byggverk skal bygges og utstyres slik at sannsynligheten for at brann skal oppstå, reduseres til et akseptabelt nivå, og at faren for brann- og røykspredning reduseres tilsvarende. Det skal tas hensyn til byggverkets bruk og nødvendig tid for rømning og redning.” (2)

Hvis blokken skal brukes som skillende ubrennbar bygningsdel i brannklasse 3, vil den måtte tilfredsstillere kravet EI60/A2-s1,d0 [A60]. (2) For å få et inntrykk av hvordan blokken reagerer, er det derfor ønskelig at fullskalaforsøkene varer i en time.

Den nye veiledningen til TEK sier at: ”Isolasjon generelt må tilfredsstillere A2-s1,d0 [ubrennbar/begrenset brennbar]. Isolasjon som ikke tilfredsstiller dette kravet kan likevel brukes. Forutsetningen er at bygningsdelen oppfyller den branntekniske funksjonen og at den brukes slik at den ikke bidrar til brannspredning.” (2)

Overflater på ytterkledning i brannklasse 1 skal i utgangspunktet tilfredsstillere D-s3,d0. I brannklasse 2 og 3 er ytelsesnivået gitt til B-s3,d0. Dette kan allikevel fravikes, hvis risikoen for brannspredning i ytterkledning er liten. Risikoen anses som liten hvis yttervegg hindrer brannen i å spre seg til fasaden. (2) Materialer med dårligere branntekniske egenskaper enn angitt kan da benyttes. Utvendig overflate kan da være D-s3,d0. Overflater og kledninger i hulrom i yttervegg betraktes på samme måte som utvendig overflate og kledning. De må følgelig også ha samme branntekniske egenskaper. (2)

Massivt trepanel, med densitet minst $400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, og tykkelse på minimum 12 mm, er klassifisert som D-s2,d0. (4) Det vil si at panelet kan brukes som ytterkledning. Det vil derfor være naturlig å vurdere fasadeblokken opp mot en slik trekonstruksjon.

I mange tilfeller vil Leca Fasadeblokk kun benyttes utenpå en allerede eksisterende fasade. Fortrinnsvis av mur, men også andre produkter.

Veiledningen til TEK angir da at isolasjon som ikke tilfredsstiller A2-s1,d0 [ubrennbar/begrenset brennbar], forutsetter at underlaget har denne klassifiseringen. Det må benyttes isolasjonssystemer som er dokumentert ved prøving. Fasademateriell og isolasjon må prøves som en enhet. (2)

2.2 PUR-skum

2.2.1 Generelt

Ved bestemmelse av de branntekniske egenskapene til et plastmateriale vil det være flere elementer som spiller inn:

- Den kjemiske sammensetningen
- De termiske og fysikalske egenskapene til plasten. For eksempel densitet, tykkelse, varmeledningsevne og spesifikke varmeledning.
- Plastens form
- Graden av eksponering av varmestråling og tennkilde
- Anvendelsesområde
- Ventilasjonstilgang
- Oksygentilgang



Figur 1 Leca Fasadeblokk

Densiteten, ρ , på PUR-skummet er på 35 kg/m^3 .

Varmeledningsevnen og den spesifikke varmekapasiteten for PUR-skum er på henholdsvis $\lambda=0,034 \text{ W/mK}$ og $C_p=1400 \text{ J/kgK}$.

Forbrenningsvarmen, $\Delta H_c = 24,4 \text{ MJ/kg}$ tilsvarende 854 MJ/m^3 . (5)

2.2.2 Brennbar isolasjon

Brennbar isolasjon oppfattes i veiledninger og regelverk, som et materiale som ved en påvirkning fra en brann, forsterker brannutviklingen eller produserer gasser og partikler som virker på siktbarheten. Brennbar isolasjon skal ikke øke personrisiko ved brann.

Mulige resultat av brannpåvirkning

- Oppvarming av materialet gir avgassing
- Produksjon av røyk
- Materialet forkuller
- Materialet tar fyr
- Forkullet isolasjon åpner kanaler som gir skorsteinseffekt

Mulige farer ved brannpåvirkning

- Forkortet rømningstid
- Varmestråling på mennesker
- Utilstrekkelig sikt ved rømning og redningsoperasjon
- Store finansielle ødeleggelser på utstyr og bygg



Mulige alternativ til akseptkriterier

- Isolasjonen skal ikke ha en aktiv del i brannen eller gi energi til brannen. Isolasjonens brennbare kvaliteter må ikke øke brannspredning.
- Isolasjonen må ikke, ved brann, svekke den forventede integriteten til konstruksjonen den inngår i. Standarder vil vanligvis ta vare på dette.
- Brennbart materiale skal ikke bli mer brannutsatt ved at brennbar isolasjon smelter eller smuldrer. Brannmotstanden skal heller ikke svekkes grunnet økt tilgang på oksygen (skorsteinseffekter).
- Avgasser fra brannutsatt isolasjonsmateriale skal, i den bestemte rømningstiden, ikke produsere brennbare eller giftige gasser eller føre til forhøyet røykproduksjon som kan hemme sikten.
- Brannsikkerheten i vegger med brennbar isolasjon må ikke svekkes som følge av gjennomganger eller vanlige installasjoner i en bygning.

2.2.3 Brennbarhet i PUR-skum

Generelt for harde skumplaster vil temperaturer under 300-350 °C bare avspalte flyktige komponenter. Ved temperaturer over 350-400 °C vil resterende komponenter nedbrytes. Disse komponentene består hovedsakelig av karbonrike rester og spaltes videre til CO og CO₂. Ved rundt 400 °C er ca 50% av PUR-skummet borte. (6)

2.3 Røyk

Røyk er definert som ”Synlig suspensjon av faste eller flytende partikler i gass, forårsaket av forbrenning eller pyrolyse” (7) Ved brann i plastmaterialer blir det dannet forskjellige gasser. Faren ved de giftige gassene som utvikles spesielt ved brann i plast, er ofte betydelig overdrevet. Fargen vil være gul- eller hvitaktig. PUR-skummet vil forkulle og dråpedannelsen vil være svak. (8)



2.4 Varmetransport

Varmetransport er den energien som blir transportert mellom legemer som har ulik temperatur. Varmetransporten i et rom i brann blir forklart ved å bruke tre mekanismer: Varmestråling, konveksjon og varmeledning. Kun varmeledning er aktuell varmetransport i fullskalaforsøkene.

Varmeledning er en form for varmetransport som forekommer i faste stoffer og væsker. Varmen blir ledet fra et område med høy temperatur til et område med lavere temperatur. Varmeledningsevnen kommer an på type stoff og temperaturen i stoffet. Som en generell regel kan det sies at et stoff som er gode elektriske ledere også er gode termiske ledere. Varmeledningen kan uttrykkes som

$$\dot{q}_x'' = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.1)$$

Varmeledningen, k , er karakteristisk for hvert materiale og kan variere med temperaturen i isolasjonsmaterialene.

3 SMÅSKALAFORSØK

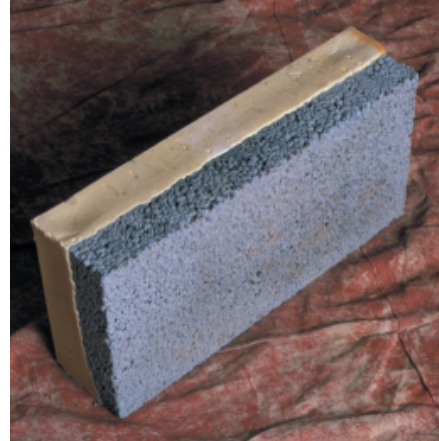
3.1 Innledning

Småskalaforsøkene ble utført innendørs på høgskolen Stord/Haugesunds brannlaboratorium.

Testmetoden som er lagt til grunn for å utføre småskalaforsøkene er basert på rapporten NT FIRE 002. Testmetoden spesifiserer en prosedyre for å bestemme antenneligheten på den ubeskyttede overflaten på et byggemateriale, og denne er hovedsakelig beregnet for flate produkter.

Prøveeksemplarene hadde stått i romtemperatur på $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Det ble gjort 3 tester av hver konfigurasjon som det var 5 av. Til sammen 15 tester ble utført.



Figur 2 Leca Fasadeblokk

3.2 Utstyr og materialer

PROGRAMVARE

Programmet Fluke Hydra datalogger 4.2 ble benyttet for å registrere verdiene fra vekten og termoelementene. Hydralog viser resultatene grafisk. Registrert data blir lagret i en tekstfil. Verdiene som blir registrert i tekstfilen blir så behandlet i Microsoft Excel for videre bruk.

DATALOGER

For å registrere dataene for temperatur og massetap ble det brukt en datalogger av typen Fluke Hydra Series II. Denne var koblet til en datamaskin med programmet Hydralog.

TERMOELEMENT

Temperaturene i småskalaforsøkene ble målt med termoelementer av type K, 1,5 mm. Termoelementene ble plassert i prøveeksemplar, A, ca 30 cm oppe i PUR-skummet på den store fasadeblokken som var satt på høykant. På den halve fasadeblokken som var plassert oppå den store, var termoelementet plassert midt i PUR-skummet, 43 cm opp. Montering av elementene ble gjort ved å hekte prøvestykket, B, fast i en murstein, for så å sette prøvestykket tett inntil PUR-skummet. Tuppen på termoelementene vente inn mot PUR-skummet. Se figur 19.

VEKT

For å måle massetapet ble en vekt av type Mettler PJ12 brukt. Denne ble plassert helt inntil prøveeksemplar, A. Se figur 19. Denne ble brukt til å veie hver av fasadeblokkene. Under selve forsøkene ble den brukt for å registrere massetapet fra bunsenbrenneren. Vekten var koblet til en datamaskin som registrerte massetapet.

BUNSENBRENNER

Bunsenbrenneren er Biltemas type, skrått halsrør, artikkelnummer 17-600. (9) Brenneren ble plassert mot PUR-skummet og oppå vekten. Halsrøret var 3 cm fra PUR-skummet.



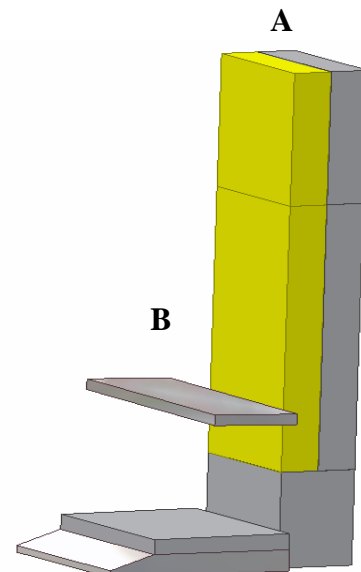
Figur 3 Bunsenbrenner

3.2.1 Testmaterialer

- Leca standardblokkene var 150 · 250 · 500 mm
- Asfaltplate 13 · 250 · 500 mm
- Gipsplate 12 · 250 · 500 mm
- Tjærepapp 1 · 250 · 500 mm
- Trepanel 90 mm · 11 mm, satt sammen vertikalt til en plate på 11 · 270 · 500 mm.

3.3 Rigg og fremgangsmåte

- Murstein til å heve prøveeksemplar A, Leca Fasadeblokk, 18 cm over bakkenivå
- Metallplate til å plassere prøveeksemplar B på.
- Datalogger
- Vekt som veier massetapet
- Bunsenbrenner
- Termoelement



Figur 4 Rigg småskalaforsøk

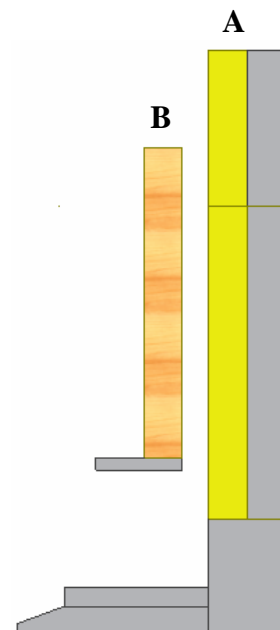
2 prøveeksemplare er montert vertikalt og parallelt til hverandre med overflatene som skal bli utsatt for brann, mot hverandre. Nede på prøveeksemplaret er det plassert en bunsenbrenner som utsetter PUR-skummet for brann.

A: Fasadeblokk med PUR-skum. 1,5 fasadeblokk, plassert oppå hverandre.

B: Forskjellige prøvematerialer.

Spalten mellom A og B var på 25 mm. Munnstykket til halsrøret på bunsenbrenneren ble plassert 3 cm fra PUR-skummet på fasadeblokken.

Figur 5 viser hvordan prøvestykket B ble plassert i forhold til PUR-skummet. I dette tilfellet trepanel.



Figur 5 Rigg småskalaforsøk med prøvestykke



3.4 Resultater

3.4.1 Generelt

Bunsenbrenneren var plassert direkte mot PUR-skummet gjennom hele forsøket, og det var valgt at disse skulle vare i 15 minutter.

Det ble observert at det ved forbrenning på PUR-skummet dannet seg en hinne. Den ekspanderte og beskyttet PUR-skummet innenfor. Denne hinnen ble dannet over hele overflaten etter ca 1,5 minutt. Flammene hadde en tendens til å klenge mot den uventilerte siden. De forskjellige materialene er sammenlignet opp mot hverandre i tabell 1 og 2.

3.4.2 Murstein

Ved murstein ble det observert en tendens til at det brant litt videre i skøyten, mellom fasadeblokkene. Ved noen av forsøkene brant det lenger inn i PUR-skummet. Dette var et resultat av, at det ved noen tilfeller, ble dannet sprekker i den ekspanderte hinnen. Brannen fikk da anledning til å brenne seg videre innover i materialet. Røyken var beskjeden.

3.4.3 Gips

Ved gips som bakgrunnsmateriale, ble det observert noenlunde likt massetap som ved murstein. Se figur 6. Det ble dannet hinne i alle tre forsøkene med gips, men det dannet seg etter hvert sprekker og den beskyttet lite. Flammene klenget mot den tette siden, og PUR-skummet var mest innbrent der. Det var lite røyk ved forsøkene.

3.4.4 Asfaltplate

Asfaltplatene brant veldig godt. Det ble observert mange og høye flammer. Røyken var moderat. Strålevarmen var betydelig høyere enn ved gips- og murstein. Asfaltplaten mistet fort sin integritet. Innbrenningen var fullstendig både på PUR-skummet og asfaltplaten. Det var kun bunsenbrenneren som brant ved forsøkens slutt.

3.4.5 Tjærepapp

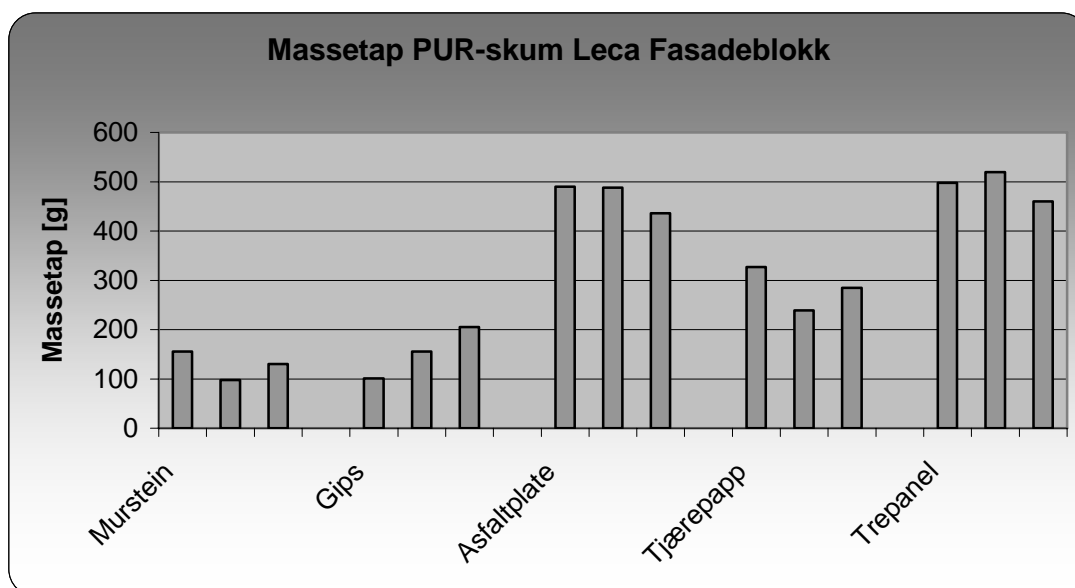
Det var mange store flammer og mye røyk ved forsøkens begynnelse. Tjærepappen var forsvunnet etter 3 minutter. Det var kraftige innbrenninger i PUR-skummet. Røyk og flammer roet seg etter omtrent 8 minutter. Ved forsøkets slutt var det kun flammer fra bunsenbrenneren.

3.4.6 Trepanel

Resultatene fra forsøkene var veldig like resultatene med asfaltplater. Se figur 6. Det var svart røyk og mange høye flammer. Trepanelet tok fort fyr. Når alt PUR-skummet var innbrent, roet brannen seg. Etter 15 minutter var ytterste sjikt på trepanelet forkullet. Trepanelet brant fortsatt når forsøkene skulle avsluttes og måtte derfor slukkes med vann.

3.4.7 Massetap

For å se forskjellen mellom de ulike materialene, ble blokkene veid før og etter hvert forsøk. Massetapet vil da vise om forskjellige bakgrunnsmaterialer har noe å si på brannforløpet. Massetapet er spesielt interessant med tanke på røykutvikling.

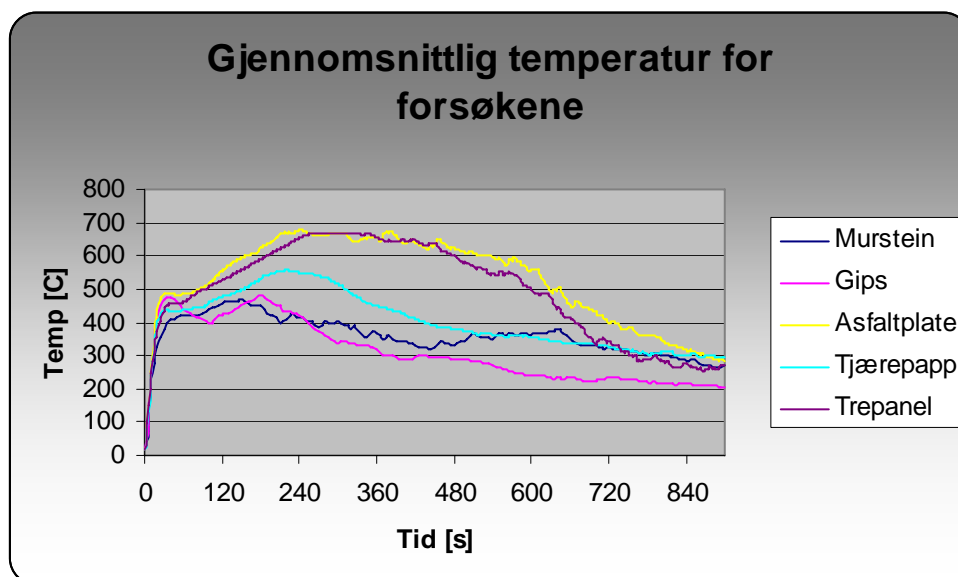


Figur 6 Småskala - Massetap PUR-skum Leca Fasadeblokk

Tabellen viser at PUR-skum massetapet, ved like forsøk, stort sett er stabilt. Variasjonen viser at bakgrunns materialet i aller høyeste grad har betydning for brannutviklingen. Både asfaltplaten og trepanelet gir høyere massetap på PUR-skummet, enn de resterende produktene. PUR-skummets massetap ved murstein og gips, ligger betydelig lavere enn de andre produktene. Grunnen til den store forskjellen er at asfaltplaten og trepanelet tar fyr. Dette gjør at hele overflaten til PUR-skummet blir utsatt for flammer. Tjæreapp har samme effekt, men tjæreappen brenner fort opp, og bare mursteinen som tjæreappen var festet til er igjen. Siden murstein og gips er ubrennbart gir dette ikke noe tilskudd til brannen. Papiret som holdt gipsen sammen ga ikke noe særlig tilskudd til brannen.

3.4.8 Gjennomsnittlige temperaturer

Temperaturene som ble logget under forsøkene kan ses i vedleggene, figur 20 til figur 34. For å få en oversiktlig tabell uten for mange linjer, viser hver linje i figur 7 et gjennomsnitt av de 3 temperaturene som er logget over 3 forsøk, 9 temperaturer til sammen. En faktor som hadde mye å si for temperaturen var sprekken som blir dannet i overgangen mellom blokkene. Hvis flammen fikk tak her, brant det inn under sjiktet som ble dannet.



Figur 7 Småskala - Gjennomsnittlig temperatur for forsøkene

Temperaturen de første 60-90 sekundene er stort sett lik for alle forsøkene. Det viser at det bare er PUR-skummet som brenner. Etter dette synker temperaturen litt. Grunnen til dette er at det er dannet en hinne på PUR-skummet som gjør at det ikke lenger brenner så godt. Hinnen slipper ikke de brennbare bestanddelene gjennom, slik at de kommer i kontakt med luft og kan brenne.

For forsøkene med murstein og gips går det ikke hull på denne hinnen og temperaturene blir ikke noe høyere. På grunn av at trepanelet og asfaltplaten brenner, blir det dannet hull i sjiktet og flammene får tak i sprekker og åpninger. Tjærepapp oppfører seg på samme måte, men her tar det lenger tid. Temperaturen begynner også å synke når tjærepappen er brent opp etter ca 3 minutter.

Temperaturen synker også i forsøkene med trepanelet og asfaltplatene når PUR-skummet etter hvert brenner opp.



3.4.9 Oversikt over småskalaforsøk

MURSTEIN								
Forsøk	Hinne	Sprekk i hinnen	Brann i skøyten	Klenget til venstre	Slukket av seg selv	Skadet testmateriale	Høye flammer	Røyk
1	Ja	Nei	ja, hele tiden	nei	ja	Nei	Nei	litt
2	Ja	Nei	ja, en liten stund	nei	ja	Nei	Nei	litt
3	Ja	Ja	Ja	nei	nei	Nei	Nei	litt
GIPS								
Forsøk	Hinne	Sprekk i hinnen	Brann i skøyten	Klenget til venstre	Slukket av seg selv	Skadet testmateriale	Høye flammer	Røyk
4	Ja	Ja	Nei	nei	ja	Kun papir svidd bort	Nei	litt
5	Ja	Ja	Nei	Ja	ja	Kun papir svidd bort	Nei	litt
6	Ja	Ja	Ja	Ja	ja	Kun papir svidd bort	Nei	litt
ASFALTPLATE								
Forsøk	Hinne	Sprekk i hinnen	Brann i skøyten	Klenget til venstre	Slukket av seg selv	Skadet testmateriale	Høye flammer	Røyk
7	Nei	alt brant	ja, ovealt	Ja	ja	ja, fullstendig borte	Ja, kraftige	ja
8	Nei	alt brant	ja, ovealt	Ja	ja	ja, fullstendig borte	Ja, kraftige	ja
9	Nei	alt brant	ja, ovealt	Ja	ja	ja, fullstendig borte	Ja, kraftige	ja
TJÆREPAPP								
Forsøk	Hinne	Sprekk i hinnen	Brann i skøyten	Klenget til venstre	Slukket av seg selv	Skadet testmateriale	Høye flammer	Røyk
10	Nei	alt brant	ja, overalt	Ja	nei	ja, fullstendig borte	ja, i begynnelsen	ja
11	Nei	alt brant	ja, overalt	nei	ja	ja, fullstendig borte	ja, i begynnelsen	ja
12	Nei	alt brant	ja, overalt	nei	ja	ja, fullstendig borte		ja
TREPANEL								
Forsøk	Hinne	Sprekk i hinnen	Brann i skøyten	Klenget til venstre	Slukket av seg selv	Skadet testmateriale	Høye flammer	Røyk
13	Nei	alt brant	ja, overalt	Ja	nei	ja, det øverste laget	Masse høye flammer	svartere røyk
14	Nei	alt brant	ja, overalt	Ja	nei	ja, det øverste laget	Masse høye flammer	svartere røyk
15	Nei	alt brant	ja, overalt	Ja	nei	ja, det øverste laget	Masse høye flammer	svartere røyk

Tabell 1 Småskalaforsøk - Oversikt



MURSTEIN					
Forsøk	Volum innbrent [cm3]	Effektpåkjønning [W]	Brannbelastning [kJ]	Massetap i bunsenbrenner [g]	massetap PUR-skum [g]
1	4375	1445	1301	28	156
2	732	965	869	19	98
3	2500	877	790	17	130
GIPS					
Forsøk	Volum innbrent	Effektpåkjønning	Brannbelastning [kJ]	Massetap i bunsenbrenner	massetap PUR-skum
4	1404	795	715	15	101
5	ikke målt	857	771	17	156
6	1500	754	678	15	205
ASFALTPLATE					
Forsøk	Volum innbrent	Effektpåkjønning	Brannbelastning [kJ]	Massetap i bunsenbrenner	massetap PUR-skum
7	fullstendig innbrenning	950	855	18	490
8	fullstendig innbrenning	784	706	15	488
9	fullstendig innbrenning	728	655	14	436
TJÆREPAPP					
Forsøk	Volum innbrent	Effektpåkjønning	Brannbelastning [kJ]	Massetap i bunsenbrenner	massetap PUR-skum
10	fullstendig innbrenning	1652	1486	32	327
11	fullstendig innbrenning	743	669	14	239
12	fullstendig innbrenning	686	618	13	285
TREPANEL					
Forsøk	Volum innbrent	Effektpåkjønning	Brannbelastning [kJ]	Massetap i bunsenbrenner	massetap PUR-skum
13	fullstendig innbrenning	970	873	19	498
14	fullstendig innbrenning	609	548	12	519
15	fullstendig innbrenning	614	553	12	460

Tabell 2 Småskalaforsøk - Oversikt

Utviklingen av massetapet til bunsenbrenneren kan sees i vedleggene figur 35 til figur 39.



3.5 Beregninger

Beregningene som ble gjort var for å finne effekten og brannbelastningen PUR-skummet ble utsatt for.

Brannbelastningen blir uttrykt som massetapet til bunsenbrenneren $\cdot \Delta H_{c, \text{propan}}$

Effekten blir uttrykt $\frac{\text{massetapet til bunsenbrenneren} \cdot \Delta H_{c, \text{propan}}}{t}$



4 FULLSKALAFORSØK

4.1 Innledning

Fullskalaforsøkene er de mest relevante forsøkene, de skal gi maxit en indikasjon på hvordan fasadeblokken oppfører seg i brann. For å danne et realistisk bilde av hvordan konstruksjoner og konstruksjonsdeler oppfører seg under brann, foretrekkes fullskalaforsøk fremfor småskaletesting. Det dannes da et mer helhetlig bilde. Det er ikke opparbeidet standardiserte metoder for testing av spalte i fasader.

Det ble gjennomført tre fullskalaforsøk med Leca Fasadeblokk, med forskjellig konfigurasjon. For å få et sammenligningsgrunnlag ble det gjennomført et forsøk med en standard fasade av trepanel. Treverk er klassifisert til å være i brennbarhetsklasse D, som er vurdert til å være overtenning mellom 2 og 10 minutter med middels bidrag til brann. I forsøkene tar veggen fyr etter 8 minutter og bidrar til betraktelig røykutvikling.

Forsøkene ble utført på ResQ, Bleivik, i moderat vind og sol, med ca 10-15°C.

For å få en stabil brann ble det brukt heptan. Heptan er et homogent stoff. I motsetning til for eksempel bensin, vil ikke de letteste bestanddelene brenne opp først og de tunge brenne på slutten. Heptan gir også muligheter for simulering i ettertid.

Karet med heptan ble plassert midt i vinduet og 40 cm under vinduskarmen.

4.2 Utstyr og materialer

Materialene er klassifisert som:

• Gassbetong: ^[1]	Tetthet	$\rho = 560$	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
	Varmeledningsevne	$\lambda = 0,19$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
	Varmekapasitet	$C_p = 1100$	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{K}^{-1}]$
	Klassifisering	REI 240	
• Lecastein, 7,5 cm: ^[3]	Tetthet	$\rho = 770$	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
	Varmeledningsevne	$\lambda \approx 0,69$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
	Varmekapasitet	$C_p \approx 840$	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{K}^{-1}]$
• Fasade blokk: ^[3]	Tetthet	$\rho = 550$	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
	Varmeledningsevne	$\lambda \approx 1120$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
	Varmekapasitet:	$C_p \approx 0,362$	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{K}^{-1}]$
• Rockwool: ^[4]	Varmeledningsevne	$\lambda = 0,027$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
	Klassifisering	A1	
• Glava: ^[5]	Tetthet	$\rho = 13-140$	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
	Klassifisering	A1	
• Trelist: ^[2]	Tetthet	$\rho \approx 640$	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
	Varmeledningsevne	$\lambda \approx 0,14$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
	Varmekapasitet	$C_p \approx 2850$	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{K}^{-1}]$
• Furupanel: ^[2]	Tetthet	$\rho \approx 640$	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
	Varmeledningsevne	$\lambda \approx 0,14$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
	Varmekapasitet	$C_p \approx 2850$	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{K}^{-1}]$
	Forbrenningsvarme	$\Delta H_c = 16,1$	$[\text{MJ/kg}]$
• Kar:	Areal	$112 \text{ cm} \cdot 18 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}^2$	
	Volum	$112 \text{ cm} \cdot 18 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}^3$	

^[1]:(10)

^[2]:(5)

^[3]:(11)

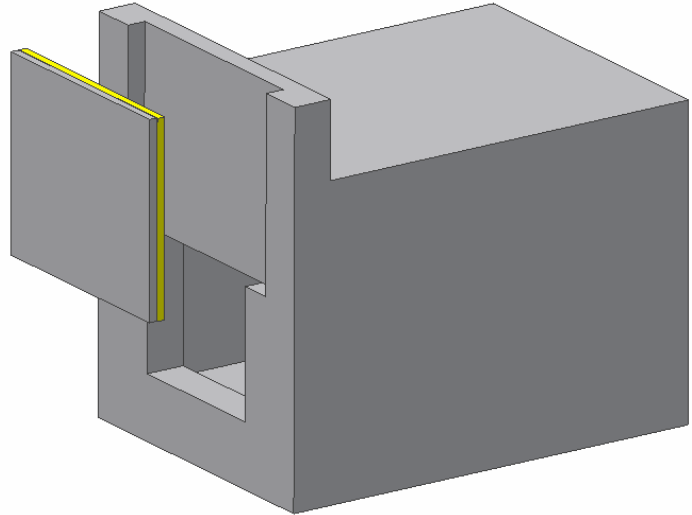
^[4]:(12)

^[5]:(13)

4.3 Rigg og fremgangsmåte

4.3.1 Rigg og ISO-rom

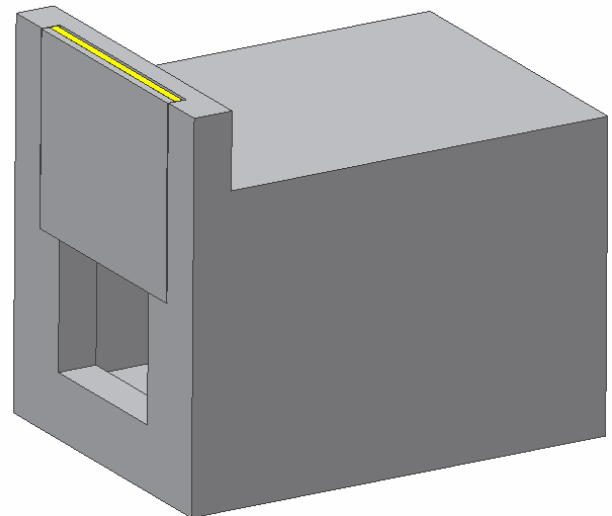
Forsøkene ble utført utendørs i et standard ISO-rom gitt i standarden Full-Scale Room Test for Surface Products. (1) Selve ISO-rommet var fremstilt av de mål som er spesifisert i standarden. Det hadde et areal på 2,4 m x 3,6 m med en høyde på 2,4 m. Veggene var 0,25 m tykke og var av gassbetong. Rommet hadde et innvendig volum på ca. 20,74 m³. Fasadeveggen og ISO-rommet ble oppført som et eget bygg utendørs. Se figur 8.



Figur 8 Rigg fullskalaforsøk

I forbindelse med ISO-rommet ble det bygget en fasadevegg av Leca Fasadeblokk. Fasadeveggen var 3 m. Se figur 9. Den ble bygget i to deler. Den nederste delen var fastmontert i ISO-rommet og var på 2,4 m x 1,5 m med et vindu på 1 m x 1,2 m. Se figur 9. Den øverste delen var på 1,7 m x 1,5 m og stakk 0,75 m over taket på ISO-rommet. Denne delen ble det bygget 4 eksemplarer av. Disse ble brukt til å sjekke forskjellige scenarier:

- 10 cm Rockwool, puss og trelist ved spalten
- Luftspalten var fylt med 10 cm Rockwool
- PUR-skummet var ubeskyttet
- Standard trefasade



Figur 9 Rigg fullskalaforsøk

ISO-rommet var ventilert ved hjelp av vinduet på fasadeveggen og vinduet bak i ISO-rommet.

Vindu på fasade
Høyde 1,00 m
Bredde 1,20 m
Areal 1,20 m²

Vindu bak i rommet
Høyde 1,20 m
Bredde 1,20 m
Areal 1,44 m²

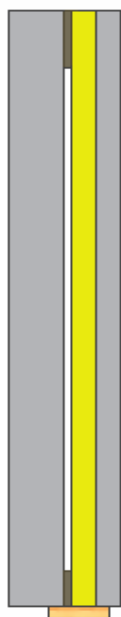
4.4 Resultater

Oversikt over fullskalaforsøk

Fullskala forsøk						
Forsøk		Hinne	Brann i skøyten	Høye flammer	Røyk	Volum innbrent [cm ³]
1	List, puss, Rockwool	Ja	Nei	Nei	Ja, lite. Hvit	1260
2	Rockwool	Ja	Nei	Nei	Ja. Både hvit og sort	1001
3	Åpen spalte	Nei	Ja	Ja	Ja, mye. Både hvit og sort	119113
4	Trevegg			Ja	Ja, mye. Hovedsakelig sort	Alt borte

Tabell 3 Fullskalaforsøk - Oversikt

4.4.1 Spalte tett med Rockwool, puss og trelist



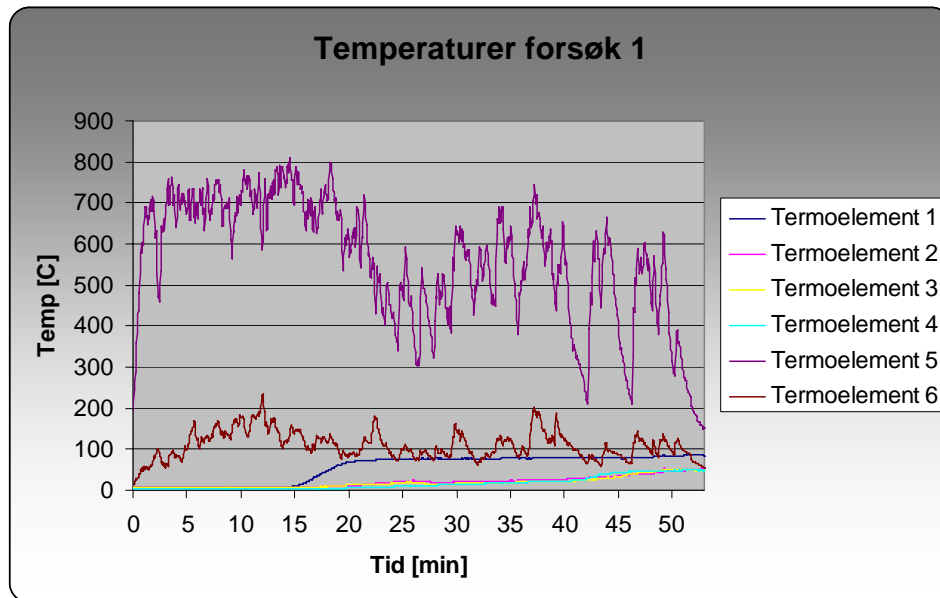
Forsøk 1 ble gjennomført 28.03.07. Spalten var omtrent 2 cm dyp og tett med 10 cm Rockwool, i tillegg var den dekket med puss og en trelist. Se figur 10. Listen var 90mm · 12mm og var ment å simulere en vinduskarm. Listen mistet integriteten etter 8 minutter og falt ned etter et kvarter.

I starten var brannen stor, men etter 20 minutter begynte karet å tømmes. Grunnet lite effektivt påfyllingssystem synker flammemetemperaturen. Flammehøyden varierte stort. I starten lå flammene ca 0,5 meter over vinduskarmen. Etter 20 minutter ble flammene lavere, men økte opp til 2 meter stikkflammer ved påfylling av brensel. Flammene var stort sett i kontakt med toppen av vinduet. 40 minutter etter start var flammene lave og var i lite kontakt med vinduskarmen.

I starten kom bare moderate mengder røyk, mest fra heptanet. Etter en stund ble det utviklet mer røyk. Røyken som ble utviklet var hvit- eller gul farget, som viser at det var PUR-skummet som brant.

På grunn av lite effektiv påfylling ble forsøket avsluttet etter 50 minutter.

Figur 10 Spalte med Rockwool, puss og trelist

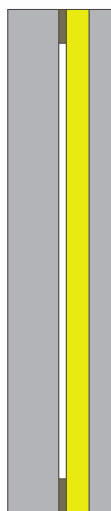


Figur 11 Fullskalaforsøk – Temperaturer forsøk 1

Termoelement 5 viser flammemetemperaturen, mens termoelement 6 viser temperaturen 70 cm opp på veggen. Temperaturen synker raskt med høyden, dette grunnet de lave flammene. Temperaturen i spalten kommer aldri over 100° C .

Innbrenningene i PUR-skummet var små. Skummet var smeltet ca 10 cm oppover. Se figur 44. Det ble dannet en hinne som beskyttet PUR-skummet mot videre innbrenning. Hinnen slipper ikke brennbare bestanddeler gjennom, slik at disse kommer i kontakt med luft. Den er da med å beskytte mot videre brann i skummet.

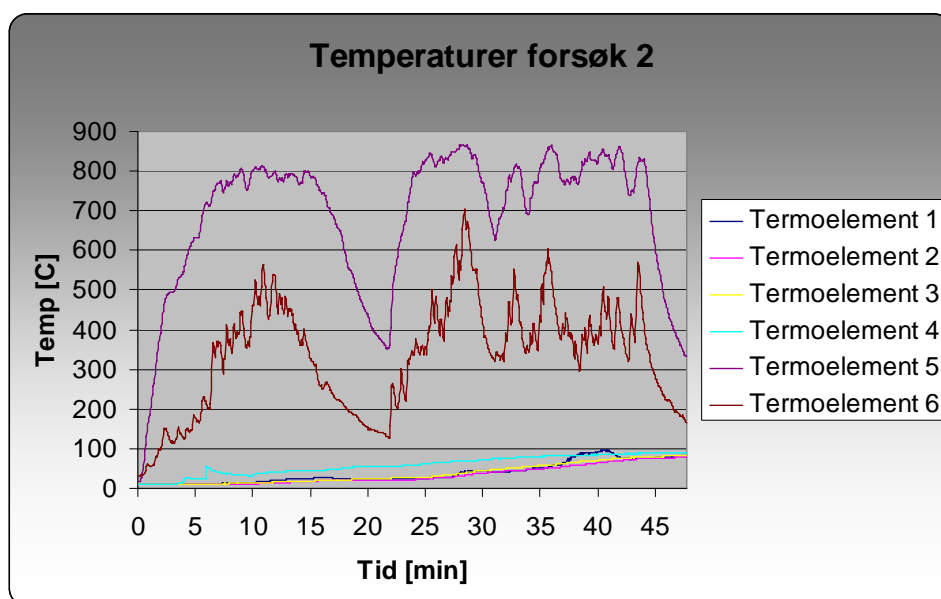
4.4.2 Spalte tett med Rockwool



Forsøk 2 ble gjennomført 29.03.07. Spalten på 2 cm var tett med 10 cm Rockwool. Se figur 12. Forsøket ble utført i moderat vind og sol og 15°C. I tillegg til dette forsøket ble det gjennomført et forsøk med lik konfigurasjon der pc-en hang seg opp etter 20 minutter. Data for dette forsøket foreligger ikke, men resultatene av innbrenningene kan sammenlignes med forsøk 2.

Brannen blir fort stor og har høy temperatur. Vinden gjør at flammene tidvis blåser helt inn i ISO-rommet og tidvis trekker flammene oppover forsøksveggen. Det blir observert store og kraftige stikkflammer på 2,5 m. Ved en feil blir det helt på såpeskum i stedet for heptan, og trakten blir tett. Temperaturen synker da betraktelig fra 16 minutter til 21 minutter. Temperaturen stiger raskt når påfyllingsmekanismen fikses og flammene stikker 2,5 m opp fra karet. Røyk produksjonen er moderat, men det er svartere røyk enn ved første forsøk. Forsøket ble avsluttet etter 45 minutter grunnet mangel på heptan.

Figur 12 Spalte med Rockwool

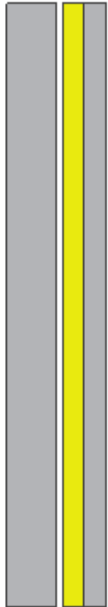


Figur 13 Fullskalaforsøk – Temperaturer forsøk 2

Termoelement 5 viser flammemetemperaturen, mens termoelement 6 viser temperaturen 70 cm opp på veggen. Temperaturen lenger oppe på veggen er høy på grunn av høye flammer. Temperaturen i spalten ligger rett under 100°C ved forsøkets slutt.

Det blir observert at forsøk 2, og forsøket som ble forkastet, har lik innbrenning. Innbrenning er på ca 10 cm. Se vedleggene, figur 45. Det forkastede forsøket ble stoppet etter 20 min. Dette viser at innbrenningen skjedde i løpet av de første 20 minuttene. Det blir dannet en hinne som beskytter PUR-skummet, og som hindrer videre innbrenning.

4.4.3 Åpen luftspalte



Forsøk 3 ble gjennomført 29.03.07. Spalten var åpen både nede og i toppen. Se figur 14. I en brann vil dette skape en skorsteinseffekt. Forsøket ble utført som et "worst case" scenarie. Et slikt tilfelle vil ikke være realistisk i praksis.

Temperaturer fra forsøk 3 er dessverre ikke tilgjengelig. Skinnene som blokkene festes i, var imidlertid smeltet 15-20 cm opp. Se vedleggene, figur 46. BI systemer som distribuerer skinnene oppgir at smelte temperaturen for denne legeringen til å ligge mellom 580°C og 650°C.

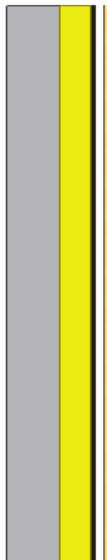
Brannen i karet utviklet seg omtrent som i forsøk 2 og 4. Vinden gjør at flammene raskt skifter retning. De 2 første minuttene var røyken lik foregående forsøk. Etter 2 minutter begynte det å komme røyk fra toppen av spalten. Det utvikler seg til å bli kraftig røykutvikling. Røyken var hvit- og gulaktig som er typisk for brann i PUR-skum. Etter 2,5 min sto flammene gjennom ut fra toppspalten.

Røykutviklingen ble enda kraftigere utover forsøket.

Flammene var til tider langt over toppen av prøvestykket. Etter 15 min stakk flammene i sprekken 10-20 cm over toppen. Forsøket ble stoppet etter 35 minutter. Innbrenningen var kraftig 1,25 m opp i spalten. Innbrenningene var større på sidene, enn midt på prøvestykket.

Figur 14 Åpen spalte

4.4.4 Trefasade

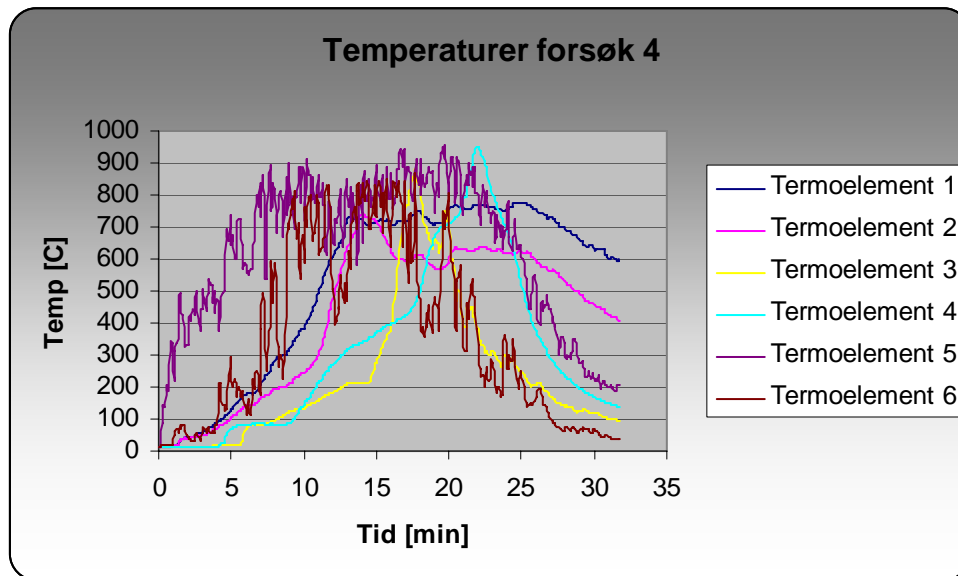


Forsøk 4 med fasade av trepanel ble utført 23.04.07. Fasaden var bygget på standard måte med luftet trepanel, asfaltplate og isolasjon i form av Rockwool. Se figur 15. Standard trepanelvegg er preakseptert løsning. Forsøket ble utført for å kunne sammenligne med fasaden som var av Leca Fasadeblokk.

I starten var brannen liten på grunn av vind. Underkant av veggen tar fyr etter 1,5 minutt, men får ikke skikkelig tak før etter 8 minutter. Røykutviklingen er moderat, men øker utover forsøket. Stikkflammer på 2 meter observeres. Etter 9 minutter faller første treplanken av veggen på grunn av brannpåkjenningene. 15 minutter ut i forsøket stikker det flammer ut fra spalten mellom trepanelet og asfaltplata. Etter 20 minutter er alt panelet brent opp og bare stenderne er igjen.

Ettersom mesteparten av veggen var brent opp etter 25 minutter, ble det ikke foretatt påfylling av brensel.

Figur 15 Trefasade



Figur 16 Fullskalaforsøk – Temperaturer forsøk 4

Termoelementene 1-4 påviser brann i spalten etter 10-15 minutter. Når forsøket ble avsluttet var bare reisverket igjen.

4.4.5 Validitet

For å få bygningsdeler godkjent, må de testes etter standardiserte metoder. Testingen gjennomføres ved at prøvestykket monteres i en ovn. Ovnene gir temperaturer etter en standard temperatur tid kurve. Den mest brukte kurven er ISO 834. (14)

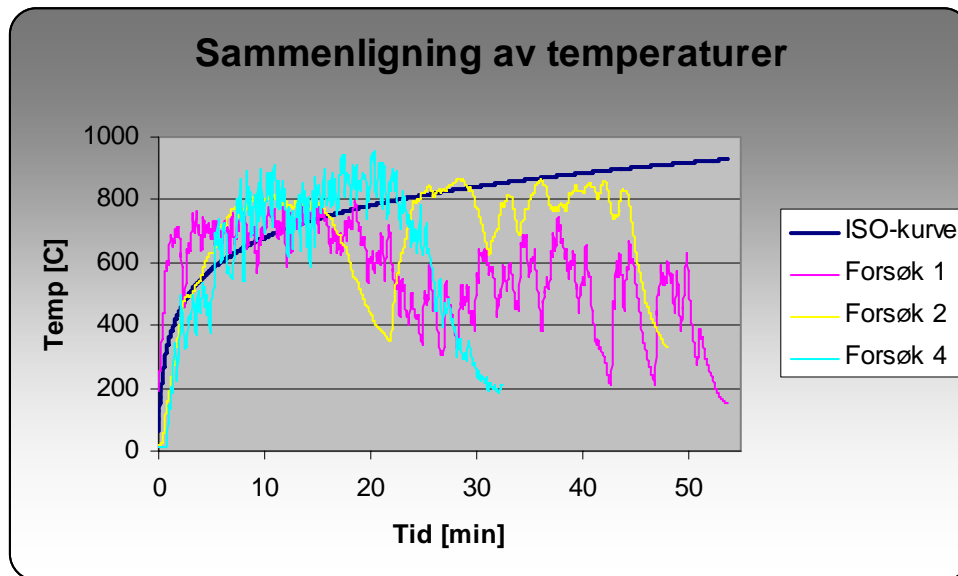
Kurven er gitt ved ligningen

$$T = 345 \cdot \log(8 \cdot t_m + 1) + T_0 \quad (4.1)$$

Der t_m er tiden i minutter og T_0 er temperaturen til omgivelsene.

Selv om testen i utgangspunktet skal være lik for alle vil detaljer som type termoelementer, størrelse på ovnen, type brensel og materialet i ovnen gi variasjoner.

Sammenlignes temperaturene i forsøkene med temperaturen til ISO 834 vil dette gi en indikasjon på validiteten til testene.



Figur 17 Fullskalaforsøk – Sammenligning av temperaturer

FORSØK 1:

De første 20 minuttene ligger temperaturen stort sett over ISO-kurven. Etter dette var det problematisk å opprettholde tilsvarende temperatur, på grunn av lite effektivt påfyllings system.

FORSØK 2:

De første 5 minuttene følger temperaturen ISO kurven godt. Fra 5 til 15 minutter ligger den et godt stykke over. Etter 15 minutter tettet påfyllingstrakten seg, noe som gir et stort fall i temperatur. Problemet blir løst etter en stund og fra 25 minutter og utover følger temperaturen ISO kurven godt.

FORSØK 3:

På grunn av manglende data på forsøk 3 er kurven ikke lagt inn. Videobilder viser at brannen er litt større enn i forsøk 2. Det var ikke problemer med påfyllingen her.

FORSØK 4:

Temperaturen følger ISO-kurven fint de første 5 minuttene. Herfra og til 25 minutter ligger flammemetemperaturen et stykke over kurven. Etter 25 minutter var veggen stort sett oppbrent, det ble derfor ikke foretatt påfylling av heptan.

4.5 Beregninger

4.5.1 Generelt

Det er utført beregninger for å estimere temperaturer. Beregningen tar utgangspunkt i forsøkene. Ved å finne en konstant for temperaturøkningen, er det mulig å beregne temperaturen i spalten, som funksjon av tid.

Andre beregninger/simuleringer er ikke tatt med, grunnet høy kompleksitet, mange variabler og høy materialusikkerhet.

Beregningene ville vært avhengig av

- Vindus bredde
- Spaltebredde
- Materialer bakenfor PUR-skummet
- Arealet til veggen
- PUR-skummet forkuller
- Beskyttelsen rundt vinduet

4.5.2 Lineær temperatur inne i spalten

Temperaturene som ble målt i spalten, i forsøk 1 og 2, er relativt lineære. Ved hjelp av ligningene 4.2 og 4.3 er det mulig å finne en formel for temperaturøkningen inni spalten.

Ligningen for en rett linje er gitt av

$$y = a \cdot x + b \quad (4.2)$$

Stigningstallet for en rett linje er gitt av

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (4.3)$$

I første forsøket er det en ”tidsforsinkelse” på temperaturøkningen, for å få best resultater hentes tids- og temperaturverdier, fra termoelement 1, etter 15 min og etter 50 min. I andre forsøket begynner temperaturstigningen ganske umiddelbart. Her velges verdier etter 10 min og 45 min av termoelement 1. Verdier velges fra termoelementet med høyest temperatur.

$$a_1 = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{82 - 5}{3000 - 900} = 36,66 \cdot 10^{-3}$$

$$a_2 = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{80 - 15}{2700 - 600} = 30,95 \cdot 10^{-3}$$

Gjennomsnittlig stigningstall blir da

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{36,66 \cdot 10^{-3} + 30,95 \cdot 10^{-3}}{2} = \underline{33,01 \cdot 10^{-3}}$$

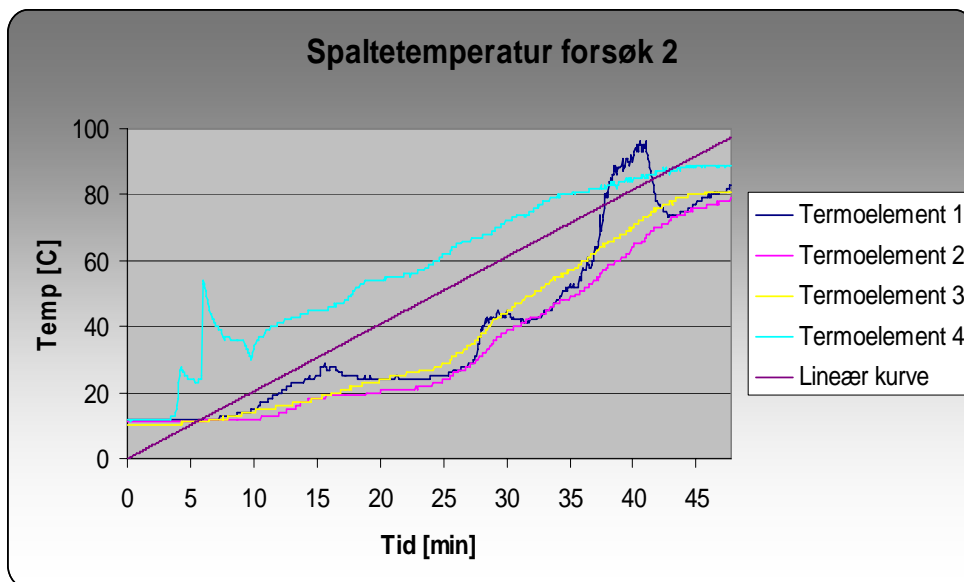
Økningen i temperatur vil da bli

$$\Delta T = a \cdot x + b = 33,01 \cdot 10^{-3} \cdot t \quad \text{Der } t \text{ er tiden i sekunder.} \quad (4.4)$$

For å være konservativ, er det ikke tatt hensyn til tidsforsinkelsen i utregningen. Temperaturen etter en times brann blir da:

$$\Delta T = 33,01 \cdot 10^{-3} \cdot 3600 = \underline{\underline{119^\circ\text{C}}}$$

Denne temperaturen er ikke tilstrekkelig til å antenne PUR-skummet.



Figur 18 Fullskalaforsøk – Spaltetemperatur forsøk 2

Grafen er i figuren sammenlignet med de reelle temperatuene. Beregnet temperatur ligger over reell temperatur, som viser at beregningen er konservativ.

Testene ASTM-D 1929 og ISO 871-1969 angir minimumstempreatur for når materialer begynner å brenne. For fast PUR-skum er denne temperaturen over 300°C. (8) Ved å snu på formelen er det mulig å finne tidspunktet når temperaturen når 300°C.

Formelen vil da bli:

$$t = \frac{\Delta T}{a} = \frac{300^\circ\text{C}}{33,01 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{9090\text{s}}}$$

Det vil ta ca 2,5 time før temperaturen når 300°C

5 DISKUSJON

Den mest hensiktsmessige metoden for småskalaforsøkene var NT Fire 002. For å få best mulig resultat ble metoden tilpasset spesielt for denne oppgaven.

Fullskalaforsøkene ble utført uten en standard metode, på grunn av mangel på tidligere rapporter og forsøk av spalter i yttervegg. Grunnet få tidligere arbeider var forarbeidet og utarbeidelsen av forsøkene vanskelig. Arbeidet blir derfor ansett som nyskapende innenfor gjeldende fagmiljø.

Polyuretan er en felles betegnelse på en gruppe plastmaterialer. De branntekniske egenskapene avhenger både av PUR-skummets oppbygging, tilsetningsstoffer, tetthet, varmeledningsevne og varmekapasitet. Parametrene har også stor innflytelse på røykutviklingen. På grunn av forskjellene i materialets oppbygging, er det vanskelig å finne eksakte tall til bruk i beregninger.

5.1 Småskalaforsøkene

Selve prøveapparatet som er brukt i småskalaforsøkene varierer noe fra det som er oppgitt i NT Fire 002. Resultatene beskrevet her kan derfor ikke sammenlignes mot denne metoden. Dette gjelder hovedsakelig spalteavstanden, som ble tilpasset bruken av fasadeblokken i praksis.

Småskalaforsøkene ble utført i trekk. Viften dro røyken unna brannen, noe som kan ha økt lufttilgang i brannen. Viften er plassert 1,5 meter over forsøkene. Selv om påvirkningen betraktes som minimal, kan resultatene i rapporten være påvirket av dette. Dette er imidlertid likt i alle forsøkene og vil også forekomme i en brannsituasjon.

Det ble ikke tatt hensyn til fuktinnholdet i de forskjellige materialene. Dette kan også være med å påvirke resultatene. Påvirkningen av dette anses som minimal, ettersom blokkene var lagret inne like lenge, og i samme temperatur.

Romtemperaturen på brannlaboratoriet varierte på mellom 17 og 21°C. Den lille forskjellen i temperaturen vurderes likevel ikke til å ha noen påvirkning på måleresultater. Standarden angir temperaturen til $20 \pm 5^\circ C$.

Bunsenbrennerens plassering kan ha variert. Det vurderes likevel til å ha liten innvirkning på resultatene fordi brannpåvirkningen vurderes som tilstrekkelig.

For å bedre kunne dokumentere resultatet, kunne det vært utført flere forsøk på hvert material. Det ble utført tre forsøk av hvert material, som er angitt i SP Fire 002.

Etter standarden skal prøveapparatet lages med en tett side. Ujevnheter i materialene gjør at sprekken i forsøkene ikke alltid var helt tett. Luft blir virvlet inn som følge av undertrykk.



Propan og luft blir godt blandet, dette gir større flamme. Dette kan være grunnen til at flammen sluttet seg til den tette siden.

5.2 Fullskalaforsøkene

Brannforløpet i forsøkene var maksimalt 50 minutter. Ønsket fra oppdragsgiver og kravet i regelverket tilsier at prøvestykket motstår et brannforløp på 60 minutter.

Det ble gjennomført et forsøk, tilsvarende forsøk 2, som ikke er nevnt i rapporten. Forsøket ble avbrutt etter 20 minutter fordi datamaskinen sviktet. Prøvestykket ble tatt ned og det viste seg at innbrenningen her var lik som i forsøk 2. Dette tyder på at innbrenningen i forsøkene skjer tidlig. Det dannes en forkullet hinne som beskytter resterende PUR-skum, og ikke slipper ut brennbare bestanddeler fra skummet til flammen. De 10 siste minuttene ville sannsynligvis hatt liten innvirkning på brannen.

Ved forsøk ute er været alltid av betydning. Forhold som vind, fuktinnhold, utetemperatur og sol/skygge og regn påvirker resultatet. Alle forsøkene ble utført med omtrent samme værforhold. Det vil si i sol og moderat vind.

Forsøkene ble kun gjennomført med ordinære Leca blokker som bakgrunnsmateriale. Forsøk gjennomført med andre materialer vil gi andre resultater. Denne variasjonen kan både være til fordel og ulempe for brannen. Fasadeblokken kan benyttes utenpå mange forskjellige typer fasader. I praksis vil utførelsen av veggen variere. Dette gjør det vanskelig å si noe om mulighetene for brannspredning i hvert enkelt tilfelle. Ettersom isolasjon og fasade skal testes som en enhet, kan det være aktuelt å godkjenne den sammen med mindre brennbare bakgrunnsmaterialer.

I forkant av forsøk 3 var forsøk 2 utført. I tillegg til å kjøle med vann, gikk det flere timer mellom forsøkene. Det kan hende at veggen og ISO-rommet ikke var helt nedkjølt. Det er imidlertid ikke snakk om mange grader, og gir derfor ikke store forskjeller på resultatet.

Panelet i treveggen var bare festet i 2 stendere. Dette gjorde at trepanelet falt ned fra veggen tidligere enn det ville gjort i en bygning.

5.3 Regelverk

Regelverket vedrørende brennbar isolasjon varierer med bruksmåte. Leca Fasadeblokk tilfredsstillende flere av momentene. Dette gjør at regelverket har vært vanskelig å tolke entydig. Oppgaven tar utgangspunkt i TEK, som er overordnet REN, veiledningen til TEK. Paragrafen oppgaven går ut i fra sier: "Det skal velges materialer og overflater som ikke gir uakseptable bidrag til brannutviklingen. Det legges vekt på tid til overtenning, varmeavgivelse, røykproduksjon og utvikling av giftige gasser." § 7-24 avsnitt 2.

6 KONKLUSJON

Oppgavens formål var å utforske brannspredning i PUR-skum brukt i Leca Fasadeblokk, luftspalten og materialet ovenfor blokken. For å løse problemet er det gjennomført 15 småskalaforsøk og 4 fullskalaforsøk. I tillegg er det utført teoretiske beregninger. Resultatene av forsøkene og beregningene danner konklusjonen for oppgaven. Både forsøkene og utregningene gir entydige svar.

Småskalaforsøkene avdekker stor forskjell i brennbarhet avhengig av bakgrunnsmateriale. Fullskalaforsøkene avslører at fasadeblokken ikke gir uakseptable bidrag til brannspredningen.

Småskalaforsøkene avdekker stor forskjell på hvilke bakgrunnsmaterialer som blir brukt. Ved materialer som brenner godt, er det større brannskader på PUR-skummet og større massetap. Temperaturene er også høyere. Gips og murstein er å foretrekke, mens asfaltplate og trepanel gir størst brann.

Videre arbeid vil være å se på

- Spalteavstanden
- Innbrenning ved å tette spalten.

Fullskalaforsøkene har liten innbrenning på PUR-skummet ved beskyttet spalte. Temperaturen inni spalten stiger langsomt og er i forsøkene aldri over 100°C. Vist med grafer i kapittel 4. Det er lite sannsynlig at spaltetemperaturen ville økt merkbart, selv om forsøkene hadde vart i en time. Forsøkene er utført på en konservativ måte, med mindre beskyttelse enn i praksis.

Testene ASTM-D 1929 og ISO 871-1969 angir minimumstemperatur for når materialer begynner å brenne. For fast PUR-skum er denne temperaturen over 300°C. (8) Sammenlignes disse testene med målte og beregnede temperaturer, vil PUR-skummet ikke ta fyr.

Flammetemperaturen i forsøkene stemmer godt overens med testkurven ISO 834. Validiteten på resultatene er anselige med hensyn på testkurven.

Data for fullskalaforsøket der PUR-skummet er direkte eksponert mot brann, ble dessverre borte. Vurderingene er derfor gjort på andre måter, blant annet ved å se på innbrenning og smeltet festeskinne. Lufttilgangen i sprekken var god og brannen fikk utvikle seg. Innbrenningene i skummet var kraftig. Forsøket demonstrerer tydelig hvor viktig det er å få fasaden tett, for at brannen ikke skal få tilstrømming av luft og for å unngå skorsteinseffekt.

Fremtidig arbeid vil bestå i å evaluere:

- Brannspredning med andre bakgrunnsmaterialer
- Fare for brannspredning andre steder enn i spalte over vindu
- Risiko for brannspredning ved endringer i bygget i ettertid



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



For å ha sammenligningsgrunnlag ble en standard fasade av trevegg brent. Veggen, som er preakseptert, var oppbrent etter 25 minutter.

Regelverket angir at isolasjon, i utgangspunktet, skal være ubrennbar. Brennbar isolasjon kan allikevel brukes dersom isolasjonen ikke gir uakseptable bidrag til brannspredningen. (3) Fullskalaforsøkene viser at isolasjonen ikke bidrar til brannspredning eller røykutvikling i særlig grad. Dette forutsetter at spalten tettes med isolasjon, 10 cm antas tilstrekkelig. Praksis vil være å beskytte spalten, enten med puss, slemming, dekklist og/eller vindusramme.

Vurdert opp mot regelverk, preakseptert trevegg og forsøksresultater bør Leca Fasadeblokk utenpå en murvegg, kunne aksepteres på lik linje med en tradisjonell trevegg med utlektet trepanel.

7 Referanseliste

- (1) International Organization for Standardization. Fire Tests - Full-Scale Room Test for Surface Products. 1993 15.06.1993;ISO 9705.
- (2) Statens bygningstekniske etat. Teknisk veiledning. REN 1997, revidert mars 2007 mars 2007(4).
- (3) Statens bygningstekniske etat. Teknisk forskrift til plan og bygningsloven. TEK 1997, Revidert 1.07.2003(3).
- (4) Statens bygningstekniske etat. Veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven 1997. 2007; Available at: (http://www.be.no/beweb/prodfor/produkt/trebaserte_plater.pdf). Accessed 26.04.07.
- (5) Dougal Drysdale. An Introduction to Fire Dynamics. 2nd ed. London, UK: Wiley; 2005.
- (6) Hovde PJ. Plastmaterialers branntekniske egenskaper. 1978 februar 1978;SFT A78001.
- (7) NORSK STANDARD. Brannprøving - Termologi, Termer og definisjoner. 1994 mars 1994;NS 3900.
- (8) George Woods. The ICI Polyeruthanes Book.
- (9) Biltema Sweden. Biltema, teknikk -øvrige. 2007; .
- (10) H+H Sverige. Multiplattan, Celblocket. 2007; Available at: <http://www.hhcelcon.se/html/default.htm>. Accessed 24.04.07.
- (11) maxit. Leca Teknisk håndbok. 2006; Available at: <http://www.maxit.no/>. Accessed 24.04.07.
- (12) Rockwool. Rockwools datablader. 2007; Available at: <http://www.rockwool.com/sw7139.asp>.
- (13) Glava. Glavas datablader. 2007; Available at: <http://www.glava.no/>.
- (14) Andrew H. Buchanan. Structural design for fire safety. 2nd ed. West Sussex, England: John Wiley & sons Ltd.; 2002.



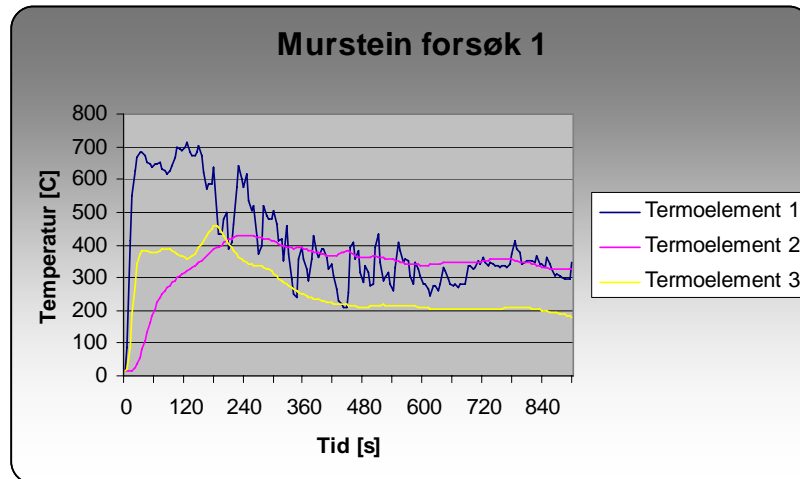
8 VEDLEGG

VEDLEGGSLISTE

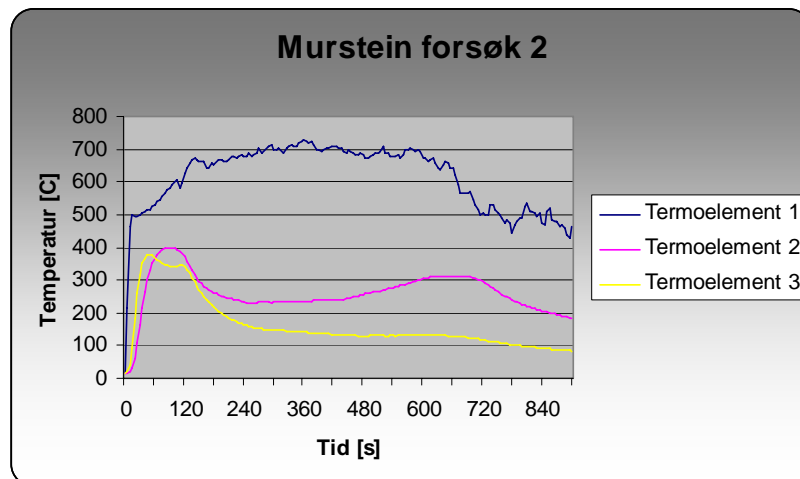
<u>Figur 19 Vedlegg småskalaforsøk - Rigg med termoelement</u>	V35
<u>Figur 20 Vedlegg småskalaforsøk – Murstein forsøk 1</u>	V36
<u>Figur 21 Vedlegg småskalaforsøk – Murstein forsøk 2</u>	V36
<u>Figur 22 Vedlegg småskalaforsøk – Murstein forsøk 3</u>	V36
<u>Figur 23 Vedlegg småskalaforsøk – Gips forsøk 4</u>	V37
<u>Figur 24 Vedlegg småskalaforsøk – Gips forsøk 5</u>	V37
<u>Figur 25 Vedlegg småskalaforsøk – Gips forsøk 6</u>	V37
<u>Figur 26 Vedlegg småskalaforsøk – Asfaltplate forsøk 7</u>	V38
<u>Figur 27 Vedlegg småskalaforsøk – Asfaltplate forsøk 8</u>	V38
<u>Figur 28 Vedlegg småskalaforsøk – Asfaltplate forsøk 9</u>	V38
<u>Figur 29 Vedlegg småskalaforsøk – Tjærepapp forsøk 10</u>	V39
<u>Figur 30 Vedlegg småskalaforsøk – Tjærepapp forsøk 11</u>	V39
<u>Figur 31 Vedlegg småskalaforsøk – Tjærepapp forsøk 12</u>	V39
<u>Figur 32 Vedlegg småskalaforsøk – Trepanel forsøk 13</u>	V40
<u>Figur 33 Vedlegg småskalaforsøk – Trepanel forsøk 14</u>	V40
<u>Figur 34 Vedlegg småskalaforsøk – Trepanel forsøk 15</u>	V40
<u>Figur 35 Vedlegg småskalaforsøk – Massetap bunsenbrenner murstein</u>	V41
<u>Figur 36 Vedlegg småskalaforsøk – Massetap bunsenbrenner gips</u>	V41
<u>Figur 37 Vedlegg småskalaforsøk – Massetap bunsenbrenner asfaltplater</u>	V41
<u>Figur 38 Vedlegg småskalaforsøk – Massetap bunsenbrenner tjærepapp</u>	V42
<u>Figur 39 Vedlegg småskalaforsøk – Massetap bunsenbrenner trepanel</u>	V42
<u>Figur 40 Vedlegg fullskalaforsøk – Termoelement plassering i forsøk 1</u>	V43
<u>Figur 41 Vedlegg fullskalaforsøk – Termoelement plassering i forsøk 2</u>	V43
<u>Figur 42 Vedlegg fullskalaforsøk – Termoelement plassering i forsøk 3</u>	V43
<u>Figur 43 Vedlegg fullskalaforsøk – Termoelement plassering i forsøk 4</u>	V43
<u>Figur 44 Vedlegg fullskalaforsøk – Innbrenning PUR-skum forsøk 1</u>	V44
<u>Figur 45 Vedlegg fullskalaforsøk – Innbrenning PUR-skum forsøk 2</u>	V44
<u>Figur 46 Vedlegg fullskalaforsøk – Detaljbilde av smeltet BI skinne forsøk 3</u>	V45
<u>Figur 47 Vedlegg fullskalaforsøk – Trevegg</u>	V45



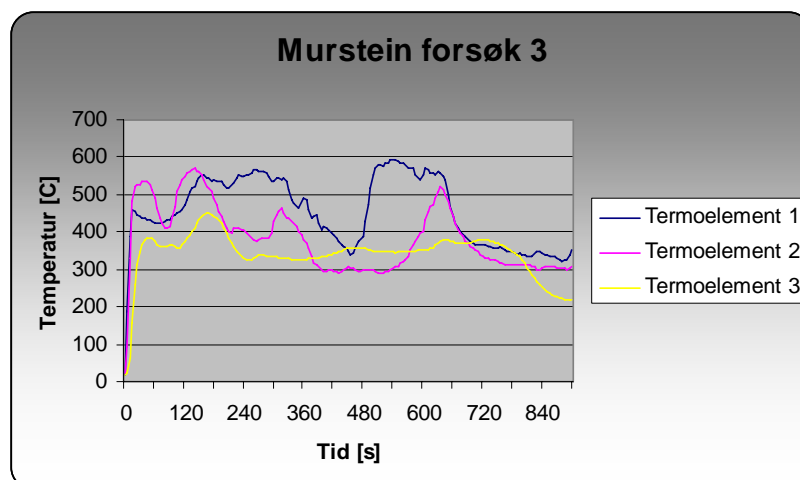
Figur 19 Vedlegg småskalaforsøk - Rigg med termoelement.



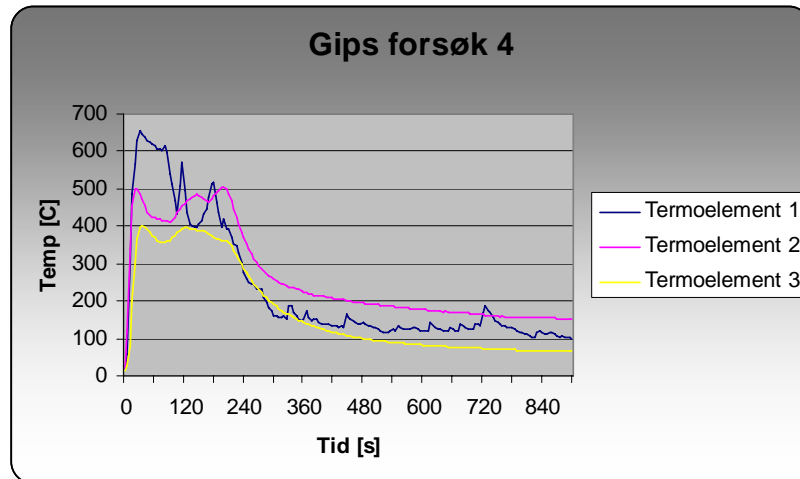
Figur 20 Vedlegg småskalaforsøk – Murstein forsøk 1



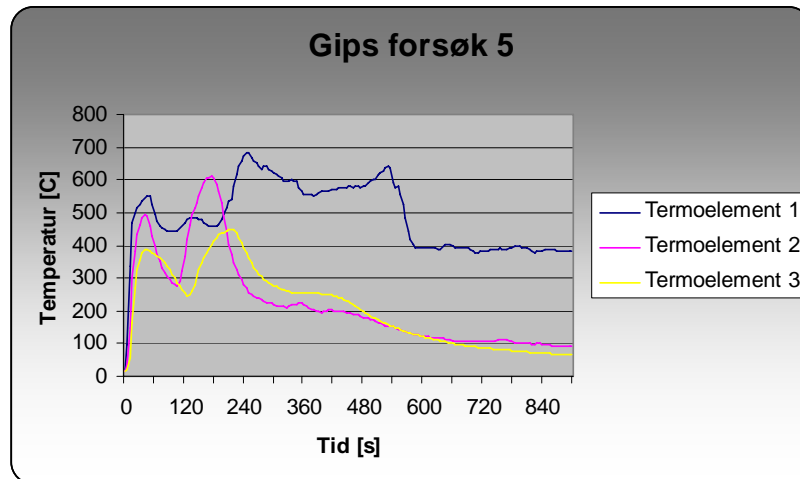
Figur 21 Vedlegg småskalaforsøk – Murstein forsøk 2



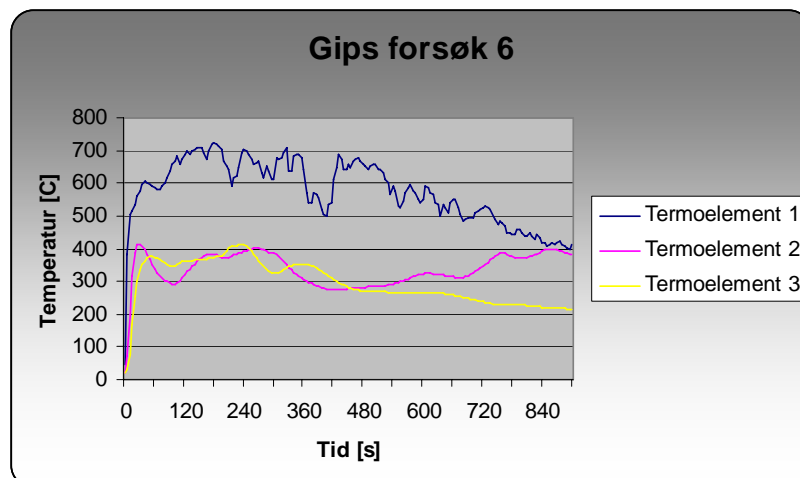
Figur 22 Vedlegg småskalaforsøk – Murstein forsøk 3



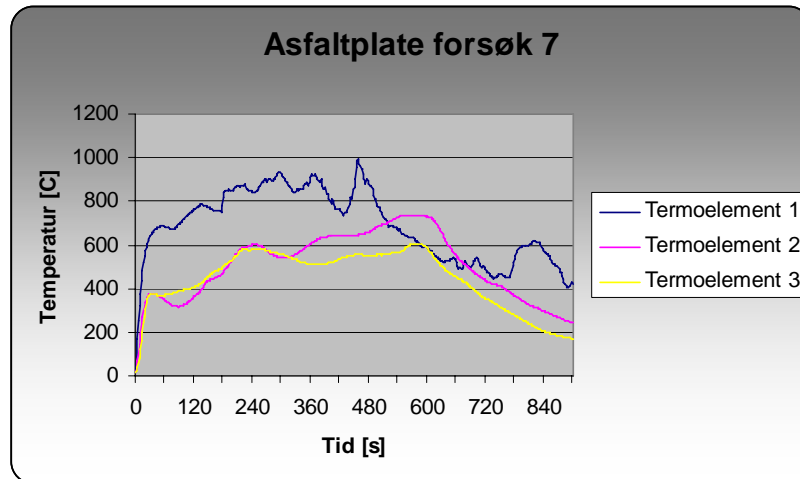
Figur 23 Vedlegg småskalaforsøk – Gips forsøk 4



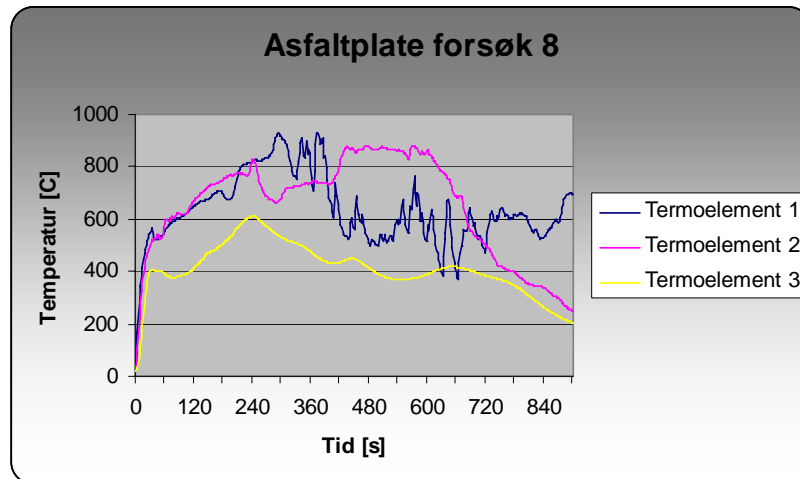
Figur 24 Vedlegg småskalaforsøk – Gips forsøk 5



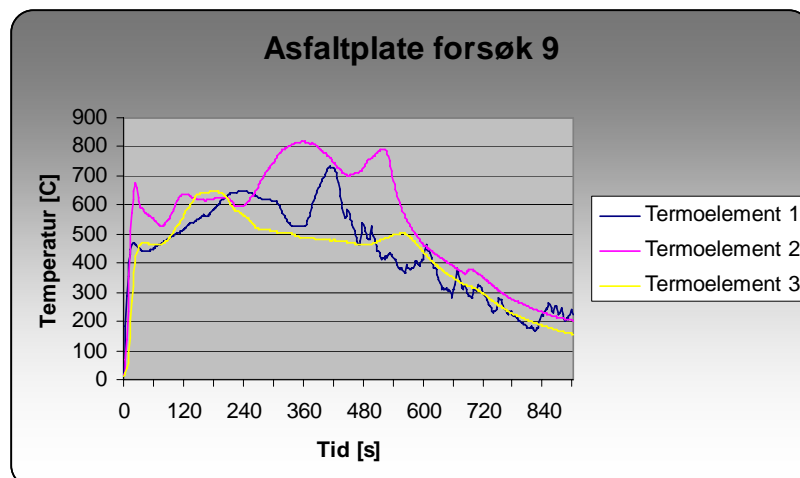
Figur 25 Vedlegg småskalaforsøk – Gips forsøk 6



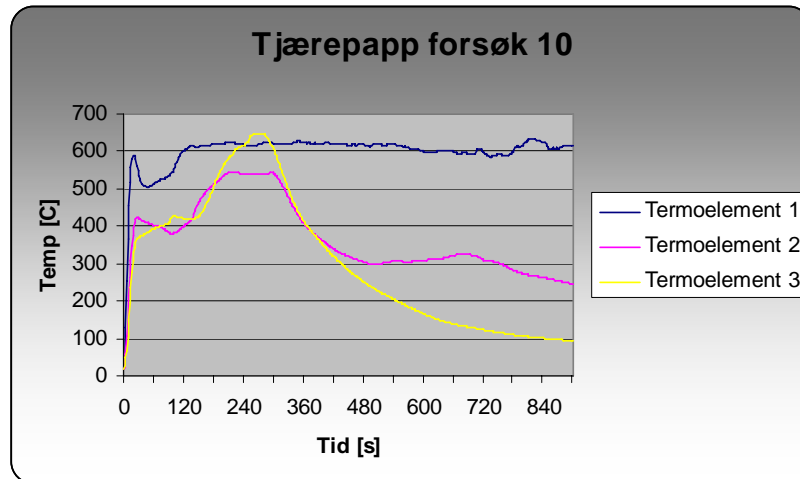
Figur 26 Vedlegg småskalaforsøk – Asfaltplate forsøk 7



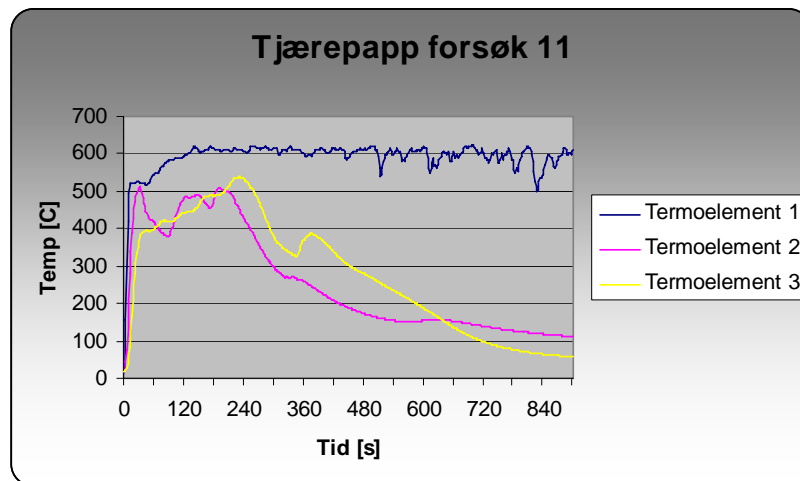
Figur 27 Vedlegg småskalaforsøk – Asfaltplate forsøk 8



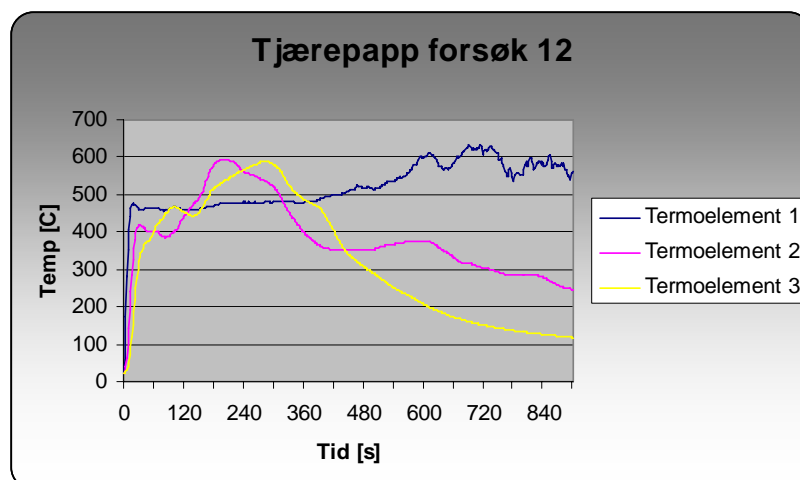
Figur 28 Vedlegg småskalaforsøk – Asfaltplate forsøk 9



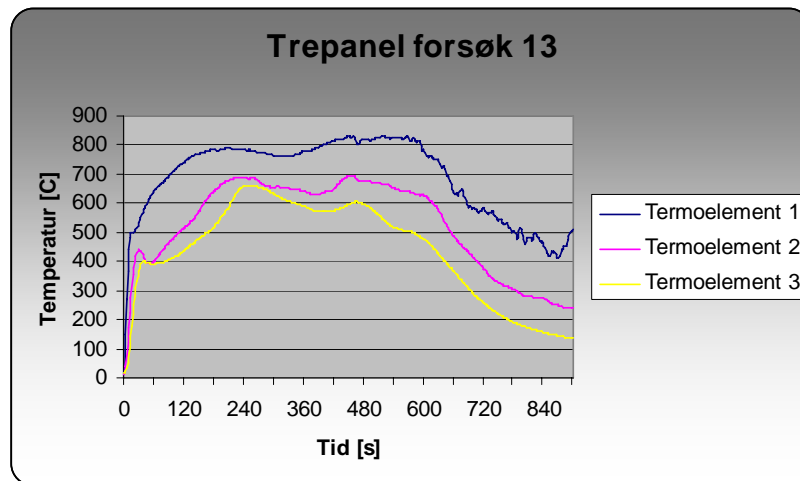
Figur 29 Vedlegg småskalaforsøk – Tjærepapp forsøk 10



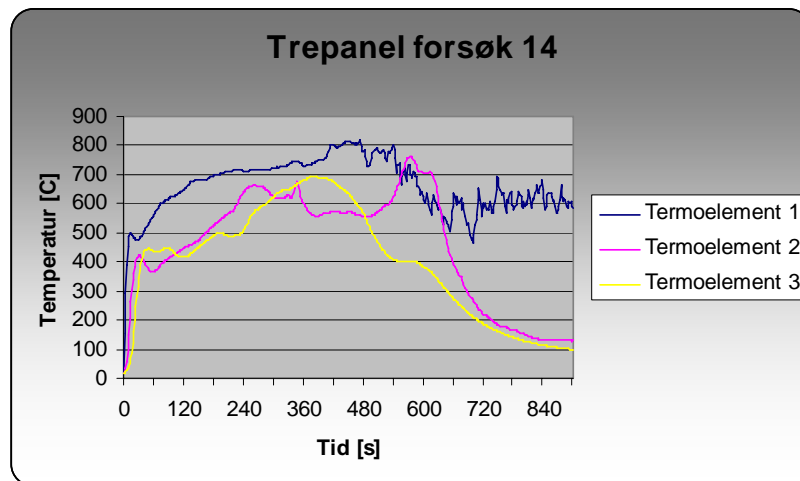
Figur 30 Vedlegg småskalaforsøk – Tjærepapp forsøk 11



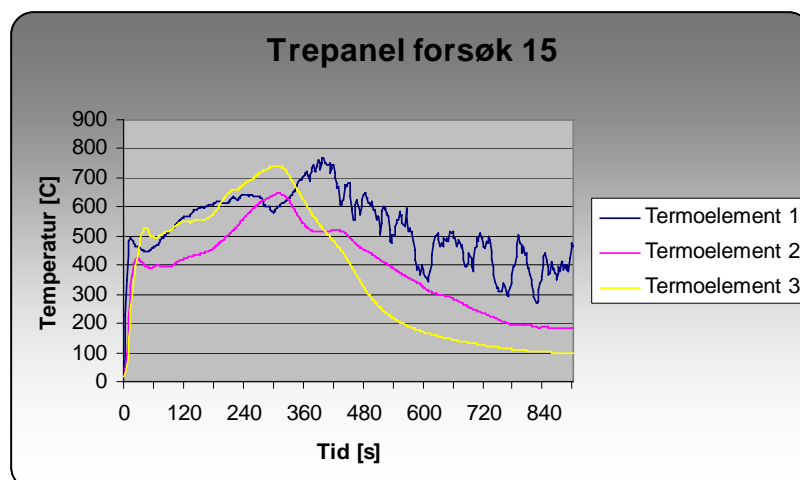
Figur 31 Vedlegg småskalaforsøk – Tjærepapp forsøk 12



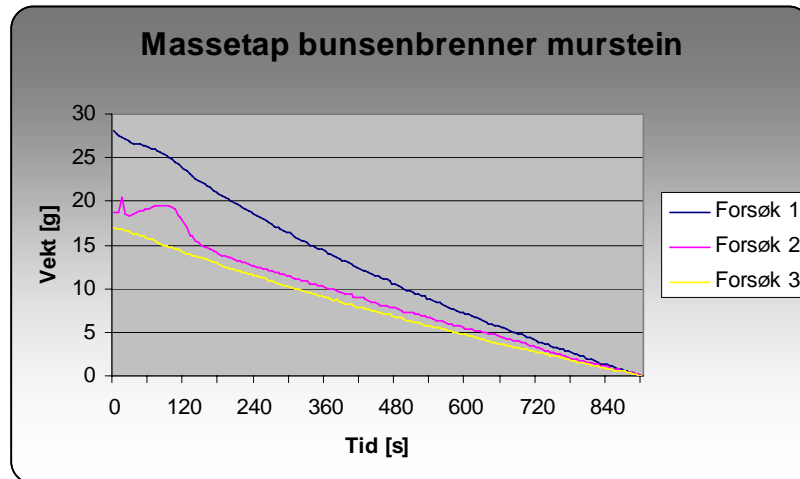
Figur 32 Vedlegg småskalaforsøk – Trepanel forsøk 13



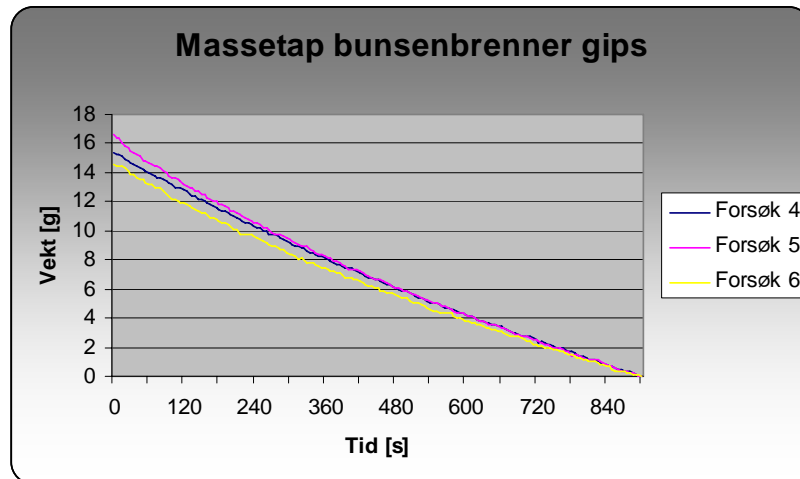
Figur 33 Vedlegg småskalaforsøk – Trepanel forsøk 14



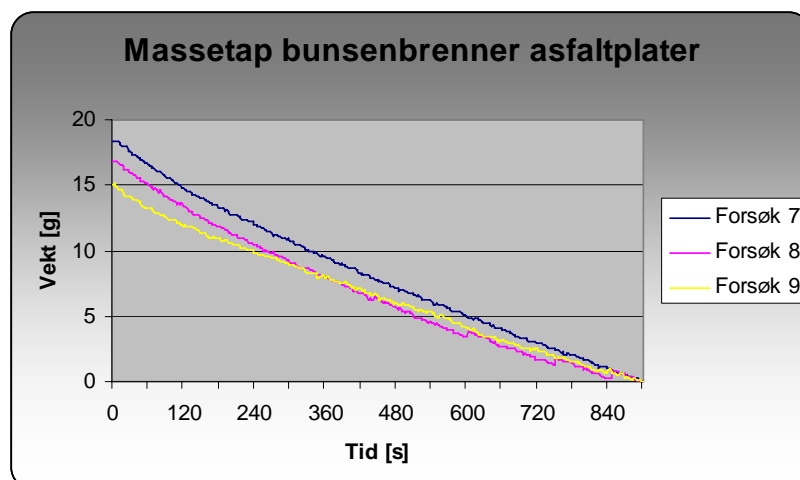
Figur 34 Vedlegg småskalaforsøk – Trepanel forsøk 15



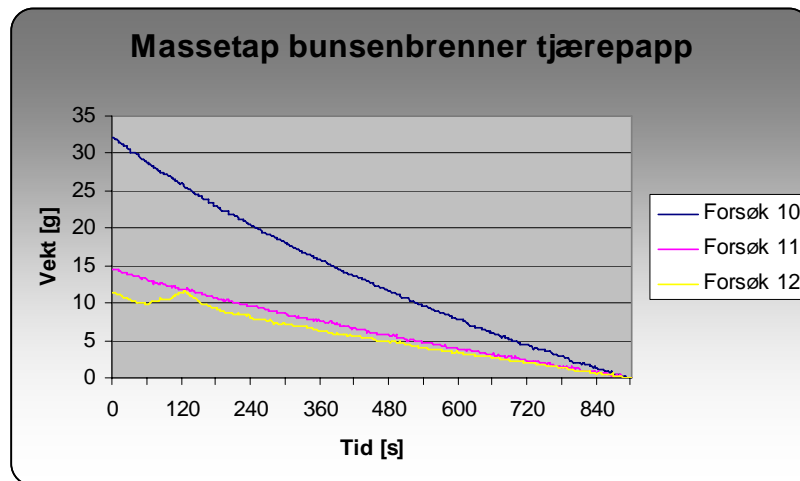
Figur 35 Vedlegg småskalaforsøk – Massetap bunsenbrenner murstein



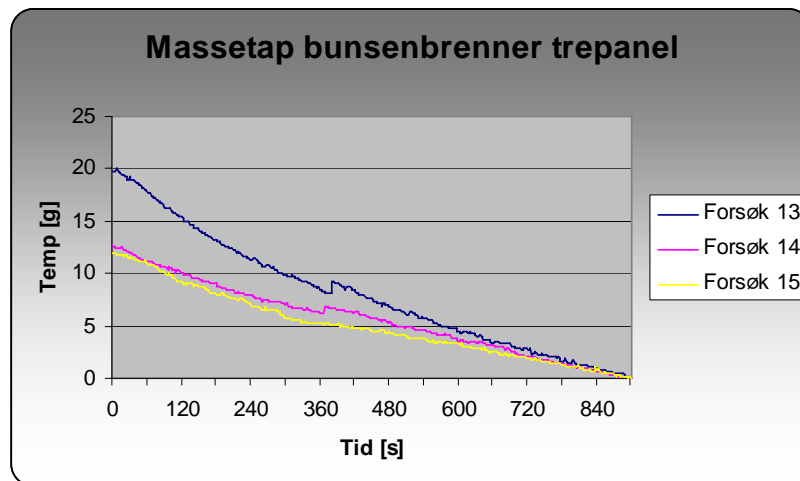
Figur 36 Vedlegg småskalaforsøk – Massetap bunsenbrenner gips



Figur 37 Vedlegg småskalaforsøk – Massetap bunsenbrenner asfaltplater

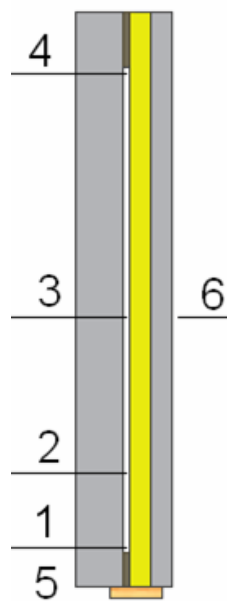


Figur 38 Vedlegg småskalaforsøk – Massetap bunsenbrenner tjærepapp



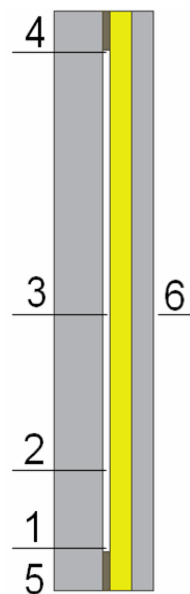
Figur 39 Vedlegg småskalaforsøk – Massetap bunsenbrenner trepanel

Oversikt over termoelementenes plassering



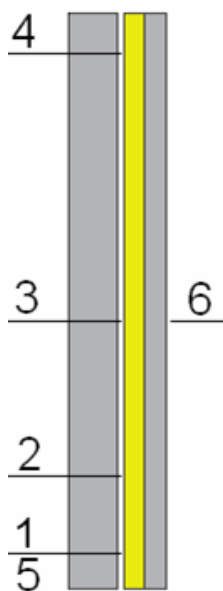
Termoelement 1 står 10 cm opp i spalten.
 Termoelement 2 står 30 cm opp i spalten.
 Termoelement 3 står 70 cm opp i spalten.
 Termoelement 4 står 140 cm opp i spalten.
 Termoelement 5 står like under prøvestykket.
 Termoelement 6 står 70 cm opp utenfor på veggen.

Tegningene er kun en indikasjon på prøvestykkene og på hvor termoelementene var plassert.

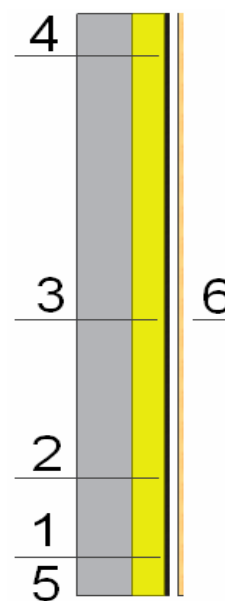


Figur 40 Vedlegg fullskalaforsøk – Termoelement plassering i forsøk 1

Figur 41 Vedlegg fullskalaforsøk – Termoelement plassering i forsøk 2



Figur 42 Vedlegg fullskalaforsøk – Termoelement plassering i forsøk 3



Figur 43 Vedlegg fullskalaforsøk – Termoelement plassering i forsøk 4



Figur 44 Vedlegg fullskalaforsøk – Innbrenning PUR-skum forsøk 1



Figur 45 Vedlegg fullskalaforsøk – Innbrenning PUR-skum forsøk 2



Figur 46 Vedlegg fullskalaforsøk – Detaljbilde av smeltet BI skinne forsøk 3



Figur 47 Vedlegg fullskalaforsøk – Trevegg