



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Brannteknikk (ING3037)

ING3037-BAC-2021-VÅR-FLOWassign

Predefinert informasjon

Startdato:	28-01-2021 09:00	Termin:	2021 VÅR
Sluttdato:	21-05-2021 12:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave		
SIS-kode:	203 ING3037 1 BAC 2021 VÅR		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Navn:	Asbjørn Jørgensen
Kandidatnr.:	201
HVL-id:	576968@hvl.no

Informasjon fra deltaker

Tittel *:	Egenskaper til polybetonghus ved brann i tett bebyggelse
Antall ord *:	12298
Engelsk tittel *:	Properties of polyconcrete buildings in case of fire in densely populated areas

Sett hake dersom ja
besvarelsen kan brukes
som eksempel i
undervisning?:

Egenerklæring *: ja
 Nei
Inneholder besvarelsen
konfidensielt
materiale?:

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

Gruppe

Gruppenavn: B04
Gruppenummer: 5
Andre medlemmer i gruppen: Lars Visnes Holmås, Morten Ledaal Torstensen

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

Er bacheloroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? *

Nei

Er bacheloroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? *

Ja, Triple Panel Buildings

Egenskaper til polybetonghus ved brann i tett bebyggelse



Bachelorprosjekt utført ved
Høgskulen på Vestlandet- Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Brannsikkerhet

Asbjørn Jørgensen

Kandidatnummer: 201

Lars Visnes Holmås

Kandidatnummer: 209

Morten Ledaal Torstensen

Kandidatnummer: 203

Haugesund

Våren 2021

BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Asbjørn Jørgensen
Lars Visnes Holmås
Morten Ledaal Torstensen

Linje & studieretning	Brannsikkerhet
----------------------------------	----------------

Oppgavens tittel: Egenskaper til polybetong hus ved brann i tett bebyggelse

Oppgavetekst:

Triple Panel Buildings bygger bærekraftige elementhus i utviklingsland bestående av 85-90% plastavfall hentet fra lokalsamfunnet. Byggematerialet består av både isopor og ordinær plast. Isoporen blandes med sement og brukes som støp, mens den ordinære plasten benyttes som et midtsjikt i elementene nesten som isolasjon. Bedriften ønsket bekreftelse på at boligene deres gir tilstrekkelig brannsikkerhet, og søkte derfor hjelp til å dokumentere brannmotstand.

Hensikten med oppgaven er å kartlegge i hvilken grad en bolig oppbygd av «sandwichelementer» bestående av polysement og plastavfall, vil bidra til brannspredning i tettbygd strøk.

Det vil bli gjennomført et brannforsøk der det undersøkes hvordan armeringsdragere og plastisolasjonen påvirkes når veggen utsettes for varme, og om det forekommer sprekker eller avskalling i betongen. Ettersom det ikke finnes noen standardiserte testmetoder, må det utarbeides en metode for å teste dette.

Endelig oppgave gitt: 26.02-'21

Innleveringsfrist: Fredag 21.mai 2021 kl. 12.00

Intern veileder : Jon Arve Brekken

Ekstern veileder: Janne Johnsen
emailadresse : janne.johnsen@triplepanelbuildings.no

**Godkjent av
studieansvarlig:**
Dato:

Fredrikke Flemmingsson
22.04.21

Forord

Bacheloroppgaven er en avsluttende del på en treårig ingeniørutdanning innen brannsikkerhet ved Høgskulen på Vestlandet, avdeling Haugesund. I oppgaven inngår det en skriftlig rapport, produkt og plakater som til sammen utgjør 20 studiepoeng. Oppgaven har blitt utarbeidet i samarbeid med Triple Panel Buildings.

Det har vært en krevende og lærerik oppgave som vi ikke hadde klart uten støtte fra flere aktører. I den anledning ønsker vi å takke:

Jon Arve Brekken, intern veileder, for god hjelp og veiledning med rapportskrivning

Arjen Kraaijeveld, intern veileder, for god hjelp og veiledning med forsøkene

Janne Johnsen, ekstern veileder, for gode motivasjonsord og en spennende oppgave

Per Steinar Lothe, for god hjelp med tilrettelegging av forsøk

Klepp kommune, for utlån av utstyr

ResQ, for bruk av område og utlån av utstyr

Rogaland brann og redning, for gode råd ved gjennomføring av forsøk utendørs

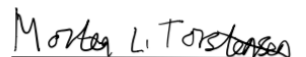
Finn Erik Jørgensen, for gjennomlesning og gode tips



Asbjørn Jørgensen



Lars Visnes Holmås



Morten Ledaal Torstensen

Sted/dato: Haugesund, 21.05.2021

Innhold

Forord	i
Figurliste.....	v
Tabelliste	vi
Ord og forklaringsliste	vii
Nomenklatur liste	ix
1 Sammendrag	1
2 Summary	2
3 Innledning.....	4
3.1 Bakgrunn	4
3.2 Formål.....	4
3.3 Begrensninger.....	5
4 Teori	6
4.1 Brannforløp.....	6
4.2 Varmetransport	6
4.2.1 Varmeledning	6
4.2.2 Konveksjon.....	7
4.2.3 Varmestråling	7
4.3 Brannkurve	8
4.4 Utvendig brann	9
4.5 Brennbar isolasjon	9
4.6 Brannegenskaper til plast.....	9
4.6.1 Polyetylentereftalat (PET).....	9
4.6.2 Ekspandert polyster (EPS)	10
4.7 Brannegenskaper til trehus	10
4.8 Polybetong	11
4.8.1 Oppbygning av veggen.....	11
4.9 Tidligere forsøk	12
4.9.1 Kinesisk standard	12
4.9.2 SINTEF	13
4.10 Regelverk	14
5 Fullskalaforsøk	15
5.1 Formål.....	15
5.2 Scenario	15
5.3 Metode.....	15

5.4	Akseptkriterier	16
5.5	Utstyr	16
5.6	Plassering av termoelementer	17
5.7	Skjerming av solcellepanel og gjerde	19
5.8	Brannsikkerhet	20
5.9	Fremgangsmåte	20
6	Småskalaforsøk	21
6.1	Formål	21
6.2	Metode	21
6.3	Utstyr	22
6.4	Rigg	22
6.5	Plassering av termoelementer	23
7	Resultater	25
7.1	Fullskalaforsøk	25
7.1.1	Observasjoner under brannforsøket	25
7.1.2	Temperatur	28
7.1.3	Stråling	31
7.2	Småskalaforsøk 1	32
7.2.1	Småskalaforsøk 1 - Temperaturmålinger	33
7.3	Småskalaforsøk 2	35
7.3.1	Småskalaforsøk 2 - Temperaturmålinger	36
8	Diskusjon	38
8.1	Fullskalaforsøk - Metode	38
8.2	Fullskalaforsøk - Temperatur	38
8.2.1	Temperatur kald side	38
8.2.2	Temperatur varm side	38
8.2.3	Flammetemperatur	39
8.3	Armeringsstoler	39
8.4	Småskalaforsøk	39
8.4.1	Eksponert side	39
8.4.2	Kald side	40
8.5	Egenskaper til veggen/huset	40
8.6	Sammenligning	40
8.7	Spredningsfare	41
9	Feilkilder	42

9.1	Fullskalaforsøk	42
9.1.1	En av gipsplaten falt ned under fullskala forsøket	42
9.1.2	Plassering av termoelementer i brannen.....	42
9.1.3	Fugemassen i overgang mellom vegg og tak tok fyr under forsøket	42
9.1.4	Fuktinnhold i pallene.....	42
9.1.5	Gjenskapelse av fullskalaforsøk.....	42
9.1.6	Armeringsdragerne og plastisolasjonen i veggen.....	43
9.2	Småskalaforsøk.....	43
9.2.1	Gassbrenner skrus av under småskalaforsøk 1	43
9.2.2	Feilmåling fra kanal 2 under småskalaforsøk 1	43
9.2.3	Redusert tilførsel av propan under småskalaforsøk 2	44
9.2.4	Propantanken gikk tom for gass under småskalaforsøk 2	44
9.2.5	Justere flammens intensitet	44
9.2.6	For høy temperatur på småskalaforsøkene	44
10	Videre arbeid	45
11	Konklusjon	46
12	Referanser.....	47
	Vedlegg A- Forsøksplan, fullskalaforsøk.....	I
	Vedlegg B – Forsøksplan, småskalaforsøk	III
	Vedlegg C - Stråling.....	IV

Figurliste

Figur 1 Tid/ Temperatur kurver	8
Figur 2 Oppriss og snittegning av standard veggelement	11
Figur 3 Temperaturkurven for kinesisk forsøk..	13
Figur 4 Fullskalaforsøk - Plassering av termoelementer på kald side (innsiden)	17
Figur 5 Fullskalaforsøk - Plassering av termoelementer på utsiden	18
Figur 6 Fullskalaforsøk - Termoelement plassert i venstre stabel (kanal 19)	18
Figur 7 Fullskalaforsøk - Termoelement plassert mellom stabelene (kanal 20).....	18
Figur 8 Fullskalaforsøk - Skjerming av solcellepanel og utvendige ledninger.....	19
Figur 9 Fullskalaforsøk - Gipsplater montert på nettinggjerdet.....	19
Figur 10 Brannkum	20
Figur 11 Angrepsvei.....	20
Figur 12 Småskalaforsøk – Rigg (Rød markering viser plassering av prøvestykket).....	22
Figur 13 Småskalaforsøk - Gassbrenner og termoelement varm side.....	23
Figur 15 Småskalaforsøk 1 - Termoelementer kald side.....	23
Figur 14 Småskalaforsøk 1 - Boring i polybetongen	23
Figur 16 Småskalaforsøk 2 - Termoelement kald side.....	24
Figur 17 Fullskalaforsøk - Brann i fuge	25
Figur 18 Fullskalaforsøk - Gipsplate i brannen.....	25
Figur 19 Fullskalaforsøk - Svarte merker på veggen	26
Figur 20 Fullskalaforsøk - Vegg etter endt forsøk	26
Figur 21 Fullskalaforsøk - Resultat av skraping på vegg.....	27
Figur 22 Fullskalaforsøk – temperaturmålinger fra termoelementene inne	28
Figur 23 Fullskalaforsøk - temperaturmålinger for termoelementer ute (eksponert side)	28
Figur 24 Fullskalaforsøk - Gjennomsnittstemperaturmålinger inne (Kald side)	29
Figur 25 Fullskalaforsøk - Temperaturmålinger fra termoelementene plassert i brannen	29
Figur 26 Fullskalaforsøk - Temperaturmålinger fra termoelement inne og ute.....	30
Figur 27 Fullskalaforsøk - Utvendig brannkurve sammen med et termoelement ute (eksponert side).....	30
Figur 28 Fullskalaforsøk - Strålingen veggen ble utsatt for.....	31
Figur 29 Småskalaforsøk 1 - Antent løp på gassbrenneren.....	32
Figur 30 Småskalaforsøk 1 – Eksponert side av prøvestykket etter endt forsøk	32
Figur 31 Småskalaforsøk 1 - Kjernen av prøvestykket etter endt forsøk.....	33
Figur 32 Småskalaforsøk 1- Temperaturmålinger på varm og kald side	33
Figur 33 Småskalaforsøk 1 - Temperaturmålinger på eksponert side sammen med standard- og hydrokarbon- kurven	34
Figur 34 Småskalaforsøk 1 - Temperaturmålinger på kald side	34
Figur 35 Småskalaforsøk 2 - propantank i kasse med varmt vann.....	35
Figur 36 Småskalaforsøk 2 – Eksponert side av prøvestykket etter endt forsøk	35
Figur 37 Småskalaforsøk 2 - Kjernen av prøvestykket etter endt forsøk.....	36
Figur 38 Småskalaforsøk 2 - Temperaturmålinger på varm og kald side	36
Figur 39 Småskalaforsøk 2 – Temperaturmålinger på eksponert side sammen med standard brannkurve og hydrokarbon kurven	37
Figur 40 Småskalaforsøk 2 - Temperaturmålinger kald side	37

Tabelliste

Tabell 1 K-verdi	6
Tabell 2 Ulike materialers utstrålingsevne	7
Tabell 3 Branntekniske egenskaper til PET og EPS	10
Tabell 4 Fullskalaforsøk - Hendelsesforløp	25
Tabell 5 Testskjema	27
Tabell 6 Småskalaforsøk 1 - Hendelsesforløp.....	32
Tabell 7 Småskalaforsøk 2 - Hendelsesforløp.....	35

Ord og forklaringsliste

Ord/begrep	Forklaring
Polybetong (EPS-betong)	Lettbetong laget med ekspandert polystyren (isopor kuler).
Forbrenning	<i>“Eksoterm reaksjon mellom brennbart stoff og en oksidant, vanligvis ledsaget av flammer, gløding eller røykutvikling “ [1].</i>
Forbrenningsvarme	<i>“Varmemengde per masseenheter [MJ/kg] som frigjøres ved forbrenning av et materiale under angitte prøvebetingelser “ [1].</i>
Forbrenningseffektivitet	<i>“Den effekt [MW] som forbrenningen gir “ [1].</i>
Integritet	<i>“Bygningsdelens evne til å motstå brannpåkjenning på en av sidene, uten at brannen smitter igjennom som følge av gjennomtrengning av flammer eller varme gasser “ [1].</i>
TEK 17	Byggteknisk forskrift
Byggforskserien	Søkebase som gir dokumenterte løsninger og anbefalinger for prosjektering, utførelse og forvaltning av bygninger.
Varmeavgivelseshastighet	<i>“Varmemengde som avgis per tidsenhet ved forbrenning av et materiale under angitte prøvingsbetingelser “ [1].</i>
Varmestråling	<i>“Overføring av varme ved elektromagnetisk stråling “ [1].</i>
Varmeledningsevne	<i>“Evnen et stoff har til å transportere varmeenergi “ [1].</i>
Varmemotstand	<i>“Forholdet mellom et materiales tykkelse og varmeledningsevne “ [1].</i>
Aggregattilstand	<i>“Stoffer har tre aggregattilstander eller faser: fast fase, væskefase og gassfase “ [1].</i>
Brennbarhet	<i>“Evnen et materiale eller produkt har til å brenne ved spesifiserte betingelser “ [1].</i>
U-verdi (varmegjennomgangskoeffisienten)	Et mål på varmeisolasjonsevnen til bygningsdeler [2].



Pyrolyse

“Pyrolyse er en dekomposisjon av et organisk materiale uten tilgang på oksygen “ [3].

Nomenklatur liste

κ	Varmekonduktivitet	$\left[\frac{W}{m \cdot k} \right]$
ρ	Tetthet	$\left[\frac{kg}{m^3} \right]$
c_p	Varmekapasitet	$\left[\frac{kJ}{kg \cdot k} \right]$
ε	Utstrålingsevne	-

1 Sammendrag

Triple Panel Buildings har en visjon om å forvandle samfunn ved å tilby bærekraftige hjem og lokale forretningsmuligheter i utviklingsland. De lager elementer av polybetong, hvor de bruker plast fra lokalsamfunnet som isolasjon. Ved bruk av polybetong vil elementene veie 1/5 av vanlige betongelementer. Dette gjør at elementene lett kan transporteres og monteres, selv i land med dårlig infrastruktur. Ved bruk av plast som isolasjon er de med på å redusere mengden plastavfall i lokalsamfunnet.

Det skal gjennomføres et brannforsøk der det undersøkes hvordan armeringsdragere og plastisolasjonen påvirkes når veggen utsettes for varme, og om det forekommer sprekker eller avskalling i betongen. Siden forsøket ble gjennomført på en ferdigstilt bolig, var det nødvendig å utarbeide en egen metode, da det var vanskelig å anvende en standardisert testmetode.

Metoden som ble brukt ga ikke høy nok temperaturpåkjenning på veggen i forhold til utvendig brannkurve. Det er flere ukontrollerbare faktorer ved gjennomføring av forsøk utendørs, noe som gjorde det vanskelig å utarbeide en metode som enkelt kan gjenskapes. For å få til et forsøk som kan gi et bedre grunnlag til å bestemme egenskapene ved brann, bør forsøket gjennomføres under kontrollerte forhold etter en mer etablert metode.

For å undersøke temperaturen ved armeringsdragere og plastisolasjonen var det nødvendig å bore hull i veggen for å plassere termoelementer på innsiden. Et slikt inngrep ville svekket veggens integritet, noe som kunne kompromittert resultater fra de andre målingene. På grunnlag av dette ble det bestemt å ikke utføre temperaturmålinger inni veggen. Som alternativ løsning ble det gjennomført 2 småskalaforsøk for å se hvilke temperaturer som kan oppstå på kald side ved overdekning av forskjellige tykkelser.

Ettersom forsøkene ikke ble gjennomført etter en standard, vil resultatenes validitet være begrenset. Det er dermed liten mulighet for å trekke noen konkrete slutninger rundt oppgavens problemstillinger. Det vil derimot være mulig å trekke frem deler av resultatene for å diskutere veggelementets brannegenskaper, samt underbygge det med resultater fra forsøket som ble gjennomført i Kina, som sammenfaller i særdeleshet med europeiske kriterier.

Resultater fra forsøkene viser at polybetong er svært vanskelig å antenne, samt at materialet har gode isolasjonsegenskaper og opprettholder sin integritet over lang tid ved varmpåkjenning, dette kommer også tydelig fram i rapporten fra Kina. Fra fullskalaforsøket oppsto det ingen temperaturøkning på ueksponert side av veggen, det forekom heller ikke dannelse av sprekker som kan føre varme inn til plastkassetene. Ved småskalaforsøk 2 ble prøvestykket eksponert for temperaturer tilsvarende en hydrokarbonbrann i 65 minutter, noe som er høyere enn det en kan forvente innenfor bruksområdet til disse materialene. Prøvestykket hadde en tykkelse på 5 cm, der det forekom en temperaturøkning i underkant av 100 °C på ueksponert side, dette er langt lavere enn nødvendig temperatur for antennelse av PET-plast. På bakgrunn av resultatene vil det være rimelig å anta at en overdekning på 5 cm vil gi svært begrensede muligheter for brannspredning, på tross av lave innbyrdes avstander. Det anses dermed som lite sannsynlig at brann vil spre seg fra startbranncelle til omkringliggende hus, med mindre det har forekommet feil under konstruksjonsprosessen av veggen, slik at varme kan trenge inn til plastkassetene. Ytterligere analyse er nødvendig for å si noe om plasten vil bidra i brann.

2 Summary

Triple Panel Buildings has a vision to change communities by offering sustainable homes and local business opportunities in developing countries. They make elements from polyconcrete, where they use plastic from the local community as insulation. When using polyconcrete, the elements will weigh 1/5 of ordinary concrete elements. This means that the elements can be easily transported and assembled, even in countries with poor infrastructure. By using plastic as insulation, they help to reduce the amount of plastic waste in the local community.

A fire test shall be carried out in which it is investigated how reinforcement girders and plastic insulation are affected when the wall is exposed to heat, and whether cracks or peeling occur in the concrete. Since the experiment was carried out on a completed house, it was necessary to develop a separate method, as it was difficult to apply a standardized test method.

The method that was used did not give a large enough temperature stress on the wall in relation to the external fire curve. When conducting experiments outdoors, there are several uncontrollable factors, which made it difficult to develop a method that can be easily recreated. To obtain an experiment that can provide a better basis for determining the properties of fire, the experiment should be carried out under controlled conditions following a more established method.

As part of the full-scale experiment, it was planned to investigate how reinforcement girders and plastic insulation were affected when the wall was exposed to heat. To do this, it was necessary to drill holes in the wall to place thermocouples on the inside. Such an intervention would weaken the integrity of the wall, which could compromise results from the other measurements. Based on this, it was decided not to perform temperature measurements inside the wall. As an alternative solution, two small-scale experiments were carried out to see which temperatures would occur on the unexposed side with coverings of different thicknesses.

Because the experiments were not performed according to a standard, the validity of the results will be limited. There is thus little opportunity to draw any specific conclusions about the thesis' issues. On the other hand, it will be possible to highlight parts of the results to discuss the wall elements fire properties, as well as substantiate it with results from the fire test carried out in China, which coincide with European criteria.

Results from the experiments show that polyconcrete is very difficult to ignite, and that the material has good insulation properties and maintains its integrity over a long period of time under heat stress, this is also clearly stated in the report from China. From the full-scale experiment, there was no increase in temperature on the unexposed side of the wall, nor was there any formation of cracks that could conduct heat into the plastic cassettes. In the second small-scale experiment, the test piece was exposed to temperatures corresponding to the temperature of a hydrocarbon fire for 65 minutes, which is higher than what can be expected within the area of use of these materials. The test piece had a thickness of 5 cm, and experienced a temperature increase of just under 100 °C on the unexposed side, this is far lower than the required temperature for ignition of PET plastic. Based on the results, it would be reasonable to assume that a cover of 5 cm will provide very limited opportunities for fire spread, despite low distances between buildings. It is thus considered unlikely that fire will spread from the starting fire cell to surrounding buildings, unless errors has occurred during

the construction process of the wall, so that heat can reach the plastic cassettes. Further analysis is needed to say whether the plastic will contribute to fire.

3 Innledning

Dette kapitlet tar for seg bakgrunn, formål og begrensninger for rapporten.

3.1 Bakgrunn

Triple Panel Buildings er et entreprenørfirma med visjon om å forvandle samfunn ved å tilby bærekraftige hjem og lokale forretningsmuligheter i utviklingsland. Triple Panel Buildings lager elementer av polybetong, hvor de bruker plast fra lokalsamfunnet som isolasjon. Ved bruk av polybetong vil elementene veie 1/5 av vanlige betongelementer. Dette gjør at elementene lett kan transporteres og monteres, selv i land med dårlig utviklet infrastruktur. Ved bruk av plast som isolasjon er de med på å redusere mengden plastavfall i lokalsamfunnet.

Gruppen ble kontaktet av Triple Panel Buildings med den hensikt å lære mer om branntekniske egenskaper til produktene deres. De ønsket å undersøke om deres byggverk kan plasseres tett, uten at brann i et bygg spres til omkringliggende bygg.

3.2 Formål

Formålet med oppgaven er å kartlegge i hvilken grad en bolig oppbygd av «sandwichelementer» bestående av polysement og plastavfall, vil bidra til brannspredning i tettbygd strøk.

Det skal gjennomføres et brannforsøk der det undersøkes hvordan armeringsdragere og plastisolasjonen påvirkes når veggen utsettes for varme, og om det forekommer sprekker eller avskalling i betongen. Det finnes standardiserte tester for prøving av brannmotstand til veggelement. NS-EN 1363-1 (prøving av brannmotstand) angir blant annet at det skal brukes:

- En tilpasset ovn hvor temperaturen og trykket i ovnen kan bli kontrollert
- En ramme der prøvestykket kan plasseres
- Måleutstyr for temperatur og trykk, og plassering av disse

Ettersom fullskala forsøket skal gjennomføres på en ferdigstilt bolig, utendørs, vil ikke denne type test kunne anvendes. Det må derfor utarbeides en egen metode for å kunne teste dette.

3.3 Begrensninger

Oppdragsgiver ønsket at fullskala forsøket skulle gjennomføres på deres adresse, ettersom de har en ferdigstilt bolig der. På grunn av husets plassering og omliggende faktorer ble det enighet om å gjennomføre forsøket på en vegg uten vindu eller dør. På taket av testhuset var det montert et solcellepanel som ikke skulle delta i brannforsøket.

Forsøket måtte utføres innen 20. mars 2021 grunnet jobbreiser hos oppdragsgiver.

Ved å gjennomføre fullskala forsøket utendørs, måtte brannvesenet informeres. I henhold til forurensingsloven ble det satt restriksjoner om å kun bruke rent trevirke som brensel.

Veggelementene til Triple Panel Buildings blir normalt produsert i landet de setter opp boliger, ikke i Norge. Det ble dermed vanskelig å gjennomføre mer enn ett storskalaforsøk da det kun var det ferdigstilte huset på Kverneland som var disponibelt. Alternativet var å bygge veggelementer selv, men det ble fort ansett som for tidkrevende med tanke på innsamling av plastflasker, armering og støping.

Testing av bæreevne ville vært vanskelig å gjennomføre på en allerede montert vegg. Dermed begrenset testingen seg til isolasjonsevne og integritet.

Fullskalaforsøket skal ha en varighet på 30 minutter. Denne tiden har blitt satt med utgangspunkt i krav om brannmotstand i norsk regelverk, se kapittel 4.11 Regelverk.

Småskalaforsøkene ble gjennomført sent i arbeidsprosessen, dermed var det begrenset med tid til å planlegge og sette seg inn i relevante standarder.

4 Teori

Dette kapittelet tar for seg ulike teorier som er relevante for rapporten.

4.1 Brannforløp

Kollegiet for brannfaglig terminologi definerer brannforløp som: *“Brannens utvikling fra antennelse til den har sloknet eller er blitt sloknet”* [1]. Et brannforløp kan deles inn i fire faser; antennelse, vekst, fullt utviklet brann og utbrenning.

I antennelsesfasen er tennkilde og type brensel viktig, mens i vekstfasen er det inventaret i rommet som er viktig for brannutviklingen. Ved fullt utviklet brann er tilgangen på oksygen viktig for intensitet og utvikling av brannen. [4]

4.2 Varmetransport

Energi som overføres fra varmt til kaldt objekt defineres som varme og blir omtalt som varmetransport. Det er tre ulike måter denne energien kan overføres på. Aggregattilstanden til stoffet som varmen skal overføres gjennom har mye å si for hvilken av de tre som er dominerende. De tre forskjellige måtene er varmeledning, konveksjon og varmestråling. Energimengden (varmemengden) som transporteres blir oppgitt i Joule. Varmemengden som transporteres per tidsenhet kalles varmestrøm og har enheten Watt. [5]

4.2.1 Varmeledning

Varmeledning er til stede i faste stoffer, væske og gass. Varmetransporten skjer ved at energirike molekyler kolliderer med mindre energirike molekyler og overfører kinetisk energi. Den er dominerende i faste stoffer på grunn av molekyltettheten. [5]

Den spesifikke varmeledningsevnen (k) til et stoff, sier noe om hvor godt det leder varme. Et stoff med høy k -verdi leder varme godt, mens et stoff med lav k -verdi leder varme dårlig. Enheten for k -verdi er $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$. Den spesifikke varmeledningsevnen endres som funksjon av temperatur. Aggregattilstanden til materialet påvirker hvor mye den endres. Ved mindre temperaturforskjeller betraktes k -verdien som konstant. Tabell 1 viser K -verdi til noen materialer ved normaltemperatur. [5]

Tabell 1 K -verdi

Materiale	Spesifikk varmeledningsevne $\left(\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right)$
Aluminium	218
Kopper	395
Stål	45
Betong	0.8-1.4
Gips plater	0.48
Luft	0.02624
Isopor plater	0.041-0.033 ¹

Hentet fra: [6]¹ [7]

4.2.2 Konveksjon

Den mest dominerende transportmetoden for gasser og væsker er konveksjon. Varmeoverføringen skjer ved en blanding av varme eller kalde væsker/gasser, hvor energirike molekyler overfører kinetisk energi til de mindre energirike molekylene. [5]

Konveksjon er en form for varmeoverføring til eller fra et fast stoff som involverer bevegelser i omliggende væsker. [5]

4.2.3 Varmestråling

Varmestråling skjer i form av at elektromagnetiske bølger beveger seg i faste stoffer, væsker og gasser. Spesielt med varmemestråling fra de andre varmetransportmetodene er at den ikke trenger et medium å transportere energien gjennom. Varmestråling er den dominerende varmetransporten i fasen hvor brannen er fullt utviklet. Mengden stråling som avgis er proporsjonal med den absolutte temperaturen opphøyd i fjerde potens. Hvis et materiale absorberer all varmemestråling, blir det omtalt som et sort legeme. I realiteten er det ingen materialer som har denne egenskapen, men hvor mye av varmemestrålingen som blir absorbert blir bestemt av utstrålingsevnen (emissiviteten) til materialet. Tabell 2 viser utstrålingsevnen til noen materialer. [5]

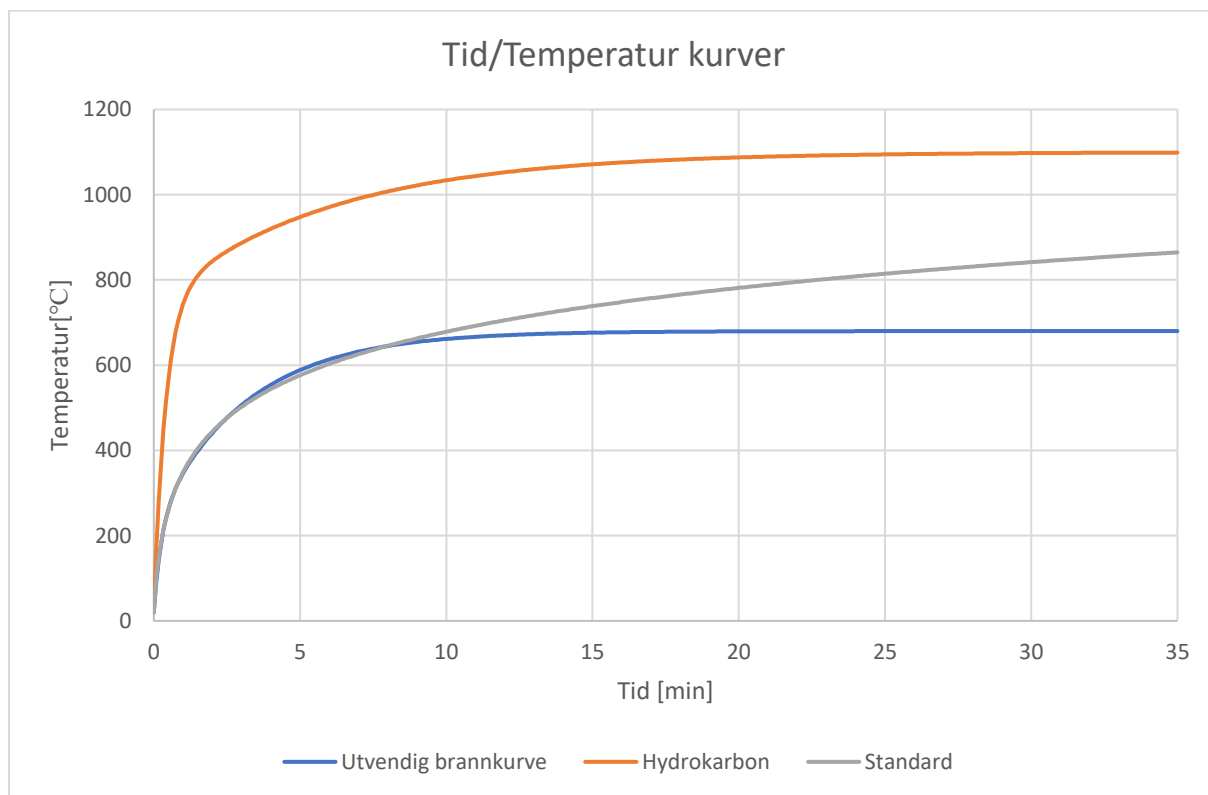
Tabell 2 Ulike materialers utstrålingsevne

Materiale	Utstrålingsevne ϵ
Sort legeme	1
Betong, murverk	0,93
Treverk	0,85-0,95
Hvitt legeme	0

Hentet fra: [5]

4.3 Brannkurve

I NS-EN 1991-1-2 er det gitt en temperatur/tid kurve for standard brann, hydrokarbonbrann og utvendig brann. Når det skal gjøres forsøk på bygningsdeler er det ønskelig å ligge så tett opp mot en av disse kurvene som mulig.



Figur 1 Tid/ Temperatur kurver

Temperatur/tid kurven er gitt ved formel:

Utvendig brann:

$$T = 660 \cdot (1 - 0.687e^{-0.32t} - 0.313e^{-3.8t}) + 20$$

Hydrokarbonbrann:

$$T = 1080(1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675e^{-2.5t}) + 20$$

Standard:

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

Hvor T er temperaturen nær bygningsdelen og t er tid i minutter.

4.4 Utvendig brann

Med utvendig brann menes her en brann som ikke er innesluttet av vegger eller tak. Brann ute er brenselskontrollert siden forbrenningen kun er avhengig av mengde brensel som er tilgjengelig, og det er fri tilgang til oksygen. Den varme røyken har lavere tetthet enn luften som omslutter den, og vil dermed stige opp på grunn av forskjell i tetthet. I motsetning til brann i en lukket beholder, der den varme røyken akkumuleres under taket, vil røyken stige opp og forsvinne. Dermed forsvinner mye av varmen fra en utvendig brann til omgivelsene. [6] Ved utvendig brannspredning er avstanden mellom bygninger avgjørende for spredningsfaren. Brannspredning mellom to adskilte bygninger forekommer som en konsekvens av flyvebrann, varmestråling, konvektiv varmeoverføring eller en kombinasjon av disse. Antennelse ved varmestråling kan skje ved betraktelig større avstander enn den avstanden flammene rekker. Generelt vil varmestråling fra en eventuell brann i en bygning være en bestemmende faktor for separasjonsavstand mellom bygninger i tettbygd strøk. [8] Vanlige tiltak for å redusere spredningsfare vil være å sikre tilstrekkelig avstand mellom bygninger, eller sette opp brannskillende konstruksjoner når dette ikke er mulig. Vinduer vil typisk være et svakt punkt, der integriteten til veggen svekkes, noe som øker spredningsfare. Konvektiv varmeoverføring er bare en fare for brannspredning når temperaturen i røykgassene er flere hundre grader. Slike høye temperaturer finner man nært flammene, noe som impliserer at antennelse via konvektiv varmeoverføring i større grad er aktuelt i tettbygd strøk sammenlignet med spredbygd strøk. [8]

4.5 Brennbar isolasjon

Med brennbar isolasjon menes all isolasjon som ikke kan klassifiseres som A2-s1, d0 eller bedre. Brennbar isolasjon kan deles inn i to grupper, plastisolasjon og andre typer isolasjon, i hovedsak cellulosefiber og andre organiske fibermaterialer. Plastisolasjon er den vanligste typen brennbar isolasjon, og også den typen som gir størst branntekniske utfordringer. [9]

4.6 Brannegenskaper til plast

Det finnes flere ulike typer plast som reagerer ulikt ved en brannsituasjon. Innenfor en og samme type vil det være store forskjeller på brannegenskapene. Noen plastmaterialer er lett antenkelige og avgir store mengder svart røyk, mens andre er vanskelige å antenne og avgir lite til moderate mengder røyk. [10]

Utforming, densitet og tilsetningsstoffer er viktige faktorer for å fastsette brannegenskapene. På grunn av de store variasjonene er det vanskelig å gi en generell konklusjon om plast i brann. [10]

I Triple Panel Buildings sandwichelement blir det hovedsakelig brukt to typer plast, polyetylentereftalat (PET) som isolasjon og ekspandert polystyren (EPS) i sement blandingen.

4.6.1 Polyetylentereftalat (PET)

Polyetylentereftalat (PET) er et kjent plastprodukt innenfor polyesterfamilien, som ofte brukes i flasker til brus og mineralvann. Generelt er polyester et lett antenkelig plastmateriale med stor røykproduksjon, men det kan tilsettes flammehemmere. [10]

PET har en smeltetemperatur mellom 235-260 °C og antennelsestemperatur på ca. 407 °C [11] [12]. Antennes PET, vil det brenne med en gul flamme, som avgir en søt lukt og sort aske. [10]

4.6.2 Ekspandert polyster (EPS)

Ekspandert polyster (EPS), også kjent som isopor, er et fast termoplastskum som stammer fra polystyren. Plasten kan bestå av så lite som 2 % polystyren, mens resten utgjøres av luftflommer. Det har veldig gode termiske isoleringsegenskaper og høy fuktighetsresistens. [10]

Utsettes EPS for kort eksponering av flammer, vil materialet generelt trekke seg unna flammen og ikke antennes [10]. Det vil begynne å mykne ved en temperatur på ca. 80 °C og smelte ved litt over 100 °C. EPS vil begynne å brenne ved ca. 230-260 °C hvis det er en antenneskilde til stede. [13]

Ved antennelse vil det brenne med en lysende gul og sotete flamme som avgir en søt lukt. [10] Brannen vil som regel forløpe seg svært raskt med høy røykproduksjon og vil fortsette selv om tennkilden fjernes. EPS kan selvantenne ved en temperatur på ca. 450-500 °C. [13]

Tabell 3 Branntekniske egenskaper til PET og EPS

Plastmateriale	Egenskaper		
	$k \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$	$\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$	$c_p \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$
PET	0.20 ¹	1345 ¹	1.15 ¹
EPS	0.035 ³	20 ³	1.3 ²

Hentet fra ¹ [12] ² [14] ³ [15]

4.7 Brannegenskaper til trehus

Tre er per definisjon brennbart, men det brenner forutsigbart, med tilnærmet konstant hastighet. [16] Tre er et organisk nedbrytbart materiale, som hovedsakelig består av cellulose, hemicellulose og lignin. Når tre utsettes for varme, vil først vanninnholdet i treet fordampe, dette skjer ved en temperatur på 100 °C. Deretter mellom 110-230 °C vil det oppstå begynnende pyrolyse. Ved 260 °C har treverket nådd sitt brennpunkt, og vil dermed starte dannelsen av et forkullingslag. Forkullingslaget er rester etter forbrenningen av cellulose, og har lav varmeledningsevne. I enkelte tilfeller kan forkullingslaget beskytte bakenforliggende treverk mot varme gjennom at det isolerer, og dermed hindrer videre forkulling av treverket. [3]

Etter europeisk klassifiseringssystem for materialeegenskaper ved brann har ubehandlet konstruksjonstre følgende klasse: D-s2, d0. Klassifiseringen beskriver at materialet har et akseptabelt bidrag til brann (D), vil ha noe røykproduksjon (s2) og produserer ikke brennende dråper (d0). [16]

4.8 Polybetong

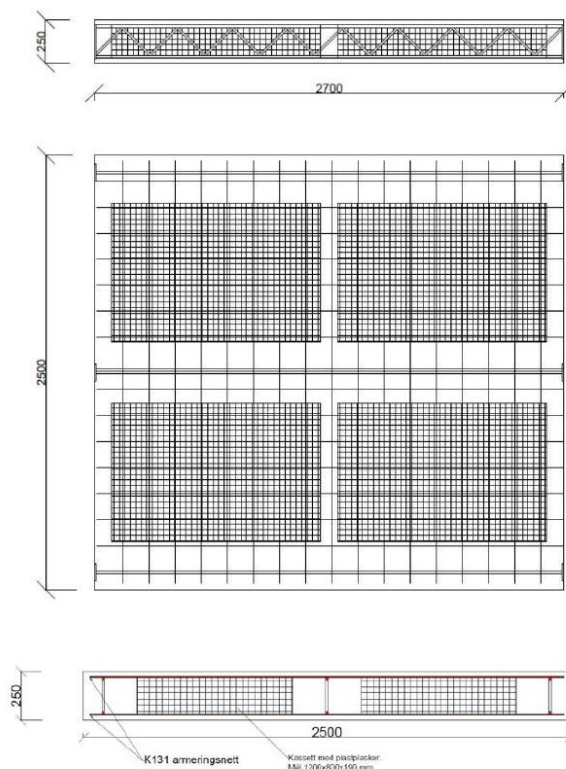
Internasjonalt er polybetong mer kjent som EPS concrete, der EPS står for expanded polysterene, som vi kjenner som isopor. Isopor er et ikke-absorberende materiale med lav tetthet (fra 10-30 kg/m²), og inneholder ca. 98% luft. EPS introdusert i betong forbedrer dens termiske egenskaper betraktelig, og gjør at en kan bruke polybetong i isolerende lag og blokker. [17] [7]

4.8.1 Oppbygning av veggen

Bygningselementene til Triple Panel Buildings er stålkonstruksjoner innkapslet i polybetong med plast som kjerne.

Elementene fungerer både som bærende og isolerende materiale. De er bygget opp av PC-isolasjon armert med gitterdragere av stål og har en midtkjerne av kassetter av stålnetting fylt med resirkulert plast. Isopor blandes med sement og brukes som støp, noe som gir et vesentlig lettere og mer varmeisolerende materiale sammenlignet med vanlig betong. Plasteren er hentet fra Ivar. Elementet er pusset på begge sider. [18]

Figur 1 viser oppriss og snittegning av et standard veggelement. For å få overdekning til armeringsnettet og kassetene blir det brukt armeringsstoler i plast. Overdekning er viktig for å få riktig avstand fra armering til yttersiden i den ferdige betongkonstruksjonen. Avstanden er viktig for å beskytte armeringen mot rust og varmpåkjenning. Utsiden av veggen har en overdekning på 5 cm, mens innsiden har en overdekning på 3 cm. [19]



Figur 2 Oppriss og snittegning av standard veggelement. Illustrasjonen er hentet fra: N. S. Bunkholt, «Triple Panel Buildings – veggelement og dekkeelement,» Sintef, Trondheim, 2020, "upublisert".

4.9 Tidligere forsøk

Det har blitt gjennomført to forsøk tidligere. Den ene testen har brukt kinesisk standard og testet brannmotstanden til polybetongen. Den andre er gjennomført av SINTEF der de har målt isolasjonsevnen til veggen ved hjelp av Hot-Box. Testen til SINTEF er ikke knyttet til veggens branntekniske egenskaper.

4.9.1 Kinesisk standard

I 2018 ble det gjennomført et forsøk i Kina ved “nasjonalt senter for kvalitetstilsyn og test av bygningsteknikk” der de testet brannmotstanden til elementer bestående kun av polybetong. I dette forsøket ble det testet for både integritet og isolasjonsevne basert på kinesisk standard GB/T 9978.8-2008 og GB/T 9978.1-2008. [20] Testkriteriene sammenfaller i særdeleshet med kriterier som er beskrevet i europeisk standard, blant annet i NS-EN 1363-1. Integriteten ble regnet som brutt i denne testen hvis en eller flere av følgende skjer;

- Antennelse av bomullspute på ueksponert side
- det oppstår en gjennomtrengende sprekk i bygningsdelen som gjør det mulig å føre gjennom en gjenstand med en diameter på 25 mm.
- vedvarende flamme på ueksponert overflate i overkant av 10 sekund.

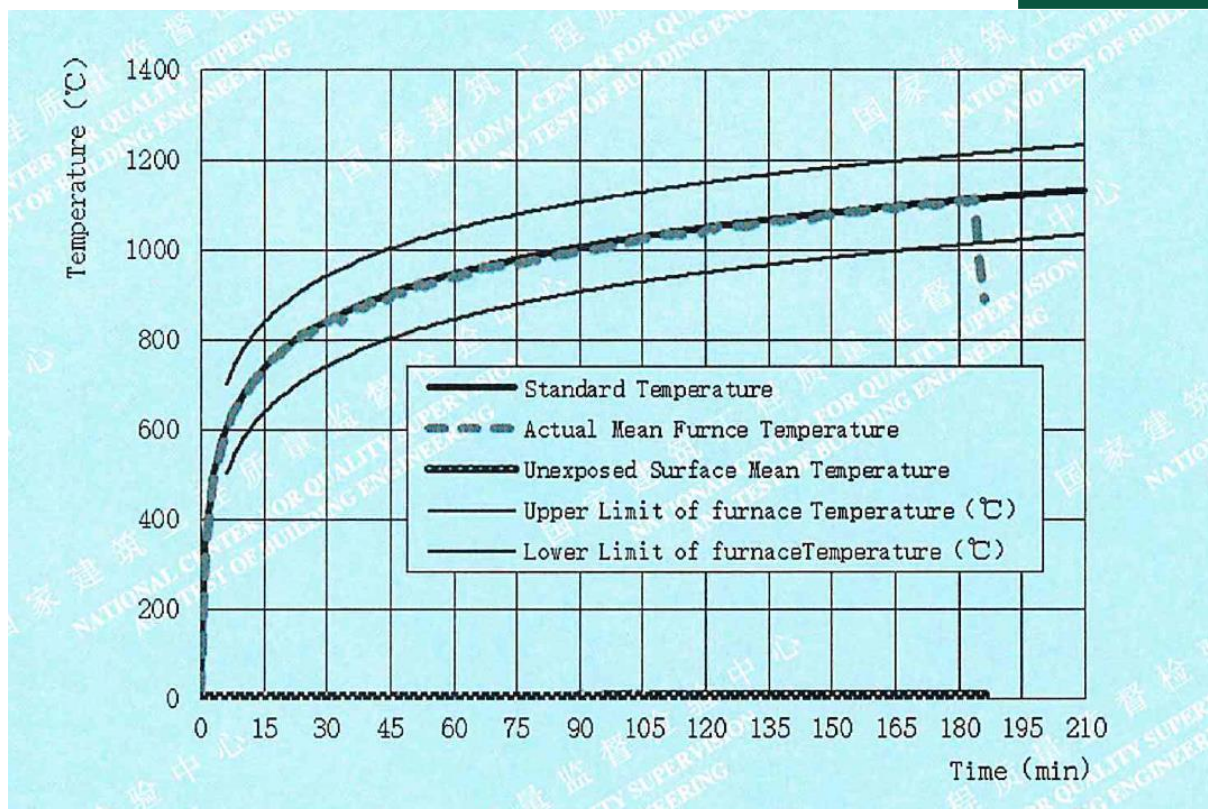
Ved 181 minutter ble testen stoppet, og det hadde da ikke oppstått noen integritetssvikt.

Isolasjonsevnen ble regnet som brutt ved at en eller flere av følgende skjer;

- at gjennomsnittets temperatur på den ueksponerte siden stiger med over 140°C over den opprinnelige temperaturen.
- at temperaturen målt på et hvilket som helst punkt på den ueksponerte siden overstiger 180°C over den opprinnelige temperaturen, som er den opprinnelige gjennomsnittets temperaturen.
- Isolasjonsevnen regnes som brutt om det oppstår integritetssvikt.

Ved 181 minutter hadde gjennomsnittstemperaturen steget med 7,8°C, og den høyest målte temperatur stigningen på ett punkt ble målt til 12,8°C. Isolasjonssvikt oppsto dermed ikke. [20]

Figur 3 viser temperaturkurven for forsøket, der den stiplede linjen er den faktiske temperaturen.



Figur 3 Temperaturkurven for kinesisk forsøk. Grafen er hentet fra: National center for quality supervision and test of building engineering, «Test report,» National center for quality supervision and test of building engineering, 2018, "upublisert".

4.9.2 SINTEF

Høsten 2020 gjennomførte SINTEF et forsøk der de målte varmegjennomgangskoeffisienten (U-verdien) til Triple Panel Buildings veggelement. Målingen ble utført etter standard NS-EN ISO 8990-1997, som er en internasjonal standard for måling av U-verdi ved hjelp av Hot-Box.

Målingen foregikk under stasjonære forhold, der temperaturen var tilnærmet lik 0°C og 20°C på henholdsvis kald og varm side av elementet. Elementets U-verdi er regnet ut på grunnlag av målt varmestrøm, arealveide overflatetemperaturer på varm og kald side av elementet og elementets areal. [18]

Varmegjennomgangskoeffisienten til veggelement med bredde 250 mm ble målt til $0,65 \frac{W}{m^2K}$. [18]

4.10 Regelverk

Ved brannteknisk dimensjonering av bygningsdeler er det noen grunnleggende egenskaper som gjelder. Generelt vil det si at en bygningsdel opprettholder sine viktigste funksjoner i henhold til en standard tid/temperaturkurve. Utfra bygningens størrelse og utforming vil brannmotstanden ha betydning for personsikkerhet og begrenning av materielt skadeomfang. Angivelse av brannmotstand blir gitt ved symbol, etterfulgt av et tall som angir hvor mange minutter egenskapen opprettholdes. [21]

R – bæreevne, angir bygningsdelens bæreevne under spesifikke mekaniske laster ved brann.

E – integritet, angir bygningsdelens evne til å motstå en brann på eksponert side uten at brannen overføres til ueksponert side som følge av gjennomgang av flammer eller varme gasser.

I – Isolasjon, angir bygningsdelens evne til å hindre varmegjennomtrengning fra eksponert side til ueksponert side.

W – Stråling, angir bygningsdelens evne til å forhindre brannspredning som følge av betydelig varmestråling.

Prøving av brannmotstand er gitt i standarden NS-EN 1363-1:2020. Her beskrives de generelle prinsippene for å fastsette brannmotstanden til ulike konstruksjonselementer som blir eksponert for en standard brann.

I henhold til norsk regelverk skal byggverk prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet ved brann. Det skal brukes materialer og produkter som ikke gir et uakseptabelt bidrag til utviklingen av en brann. Byggverket skal prosjekteres med sikte på rask og sikker rømning. I tillegg skal det tilrettelegges for rednings- og slokkeinnsats. [22]

Bruken av innvendige og utvendig overflater vil ha en sentral rolle for tilgjengelig rømningstid. [22] Branncellebegrensende bygningsdeler skal ha brannmotstand EI for å begrense spredning av brann og branngasser i den tid som er nødvendig for rømning og redning. R 30, altså 30 minutters brannmotstand er preakseptert ytelse for bærende vegger i bygninger i brannklasse 1 i henhold til TEK17. [23] I et byggverk vil de innvendige og synlige overflatene ha størst betydning for personsikkerheten. De utvendige overflatene på fasader og tak vil ha størst betydning for brannspredning både mellom ulike deler av et byggverk og mellom forskjellige byggverk. [22]

5 Fullskalaforsøk

Fullskalaforsøket ble gjennomført 16. Mars utendørs på Klepp. Værforholdene var sol og overskyet med lite vind, temperaturen var på 5 °C.

5.1 Formål

I denne oppgaven skal det gjennomføres et fullskalaforsøk for å gi en indikasjon av et virkelig brannscenario. Hensikten med forsøket er å undersøke hvordan de ulike elementene i Triple Panel Buildings vegger vil tåle varmpåkjening fra brann i nabobygg. Det vil undersøkes om det forekommer sprekker eller avskalling i betongen, og om varmpåkjeningen fører til noen nevneverdig temperaturøkning i plastisolasjon og armeringsdragere.

Det finnes standardiserte metoder for branntesting av veggelementer innendørs, men det mangler metoder for branntesting utendørs. Det må derfor utarbeides en metode for gjennomføring av forsøket.

5.2 Scenario

Scenarioet skal forestille brann i nærliggende trehus av samme størrelse. Avstanden mellom testhuset og trehuset skal være 1 meter, dette anses som en gunstig avstand for å oppnå så høy varmpåkjening på veggen som mulig. I realiteten blir husene satt opp som eneboliger, derfor blir ikke pallene satt helt inntil veggen.

Brannen skal vare i 30 minutter med tanke på krav angående tid til rømning og redningsinnsats.

Ettersom forsøket skal gjennomføres utendørs, tillattes det bare å bruke rent trevirke som brensel. På grunnlag av tidligere brannforsøk og muligheten til å kunne gjenskape forsøket, i tillegg til at det er lett tilgjengelig, ble paller det beste alternativet for å representere trehuset.

5.3 Metode

Pallene skal stables 1.2 m i høyden, og 2.5 m i bredden, det er tenkt at dette skal simulere brann i nærliggende trehus. Pallestablene bygges ikke høyere av den grunn at solcellepanel på testhusets tak skal skjermes fra brannen. For å kompensere for den reduserte høyden skal pallene bygges tett sammen ved å legge dem annenhver toppside/bunnside. I tillegg skal det jevnlig tilføres paller til brannen gjennom forsøket.

Pallene skal stables med 1 meters avstand fra veggen. Parametere som skal måles under forsøket er temperatur, og tid. Videre skal målingene brukes til å beregne varmestråling som påføres veggen. Temperatur vil måles ved å plassere termoelementer og platetermoelementer på utsiden og innsiden av veggen.

5.4 Akseptkriterier

For at veggen ikke skal bidra til brannspredning, er det viktig at komponentene i veggen ikke begynner å brenne. Det er kjent fra tidligere forsøk at polybetong ikke antennes. Dermed er det viktig at veggelementets integritet opprettholdes slik at det ikke forekommer åpninger gjennom veggelementet og inn til plastkassetene.

Forsøket skal utføres etter følgende akseptkriterier:

- Veggens integritet regnes som brutt dersom overdekning ikke lenger opprettholder den funksjon å hindre antennelse av brennbar materiale inne i veggen. Dette kan f.eks. forekomme ved avskallinger store nok til at brennbar isolasjon gjøres tilgjengelig for brannen.
- Plastisolasjon skal ikke gi noe bidrag til brannen.
- Temperatur på innsiden av veggen skal ikke overstige en temperaturskjell på 140 °C i gjennomsnitt og 180 °C i et punkt. Krav til temperaturer er satt i henhold til standardverdier oppgitt i europeisk regelverk, ISO 834 og NS-EN 1363-1.

5.5 Utstyr

Følgende utstyr ble benyttet under forsøket:

- Vindmåler (Testo 405-V1)
- 4 stk. Platetermometer
- 16 stk. Termoelementer
- 3 stk. Kitvision camera escape HD5
- Luftfuktighetsmåler (Extech RH390)
- Datalogger (Keysight 34972A LXI Data Acquisition/Switch Unit)

5.6 Plassering av termoelementer

10 termoelementer ble plassert på innsiden av veggen (kald side), 9 av dem på veggen, og ett i rommet for å kunne sammenligne temperaturen på veggen i forhold til temperaturen i rommet (kanal 10).

Termoelementer ble fordelt i 3 ulike høyder, 1 m, 1,5 m og 2 m. For å feste termoelementene ble det bygget 2 «stativ» av paller (se figur 4).

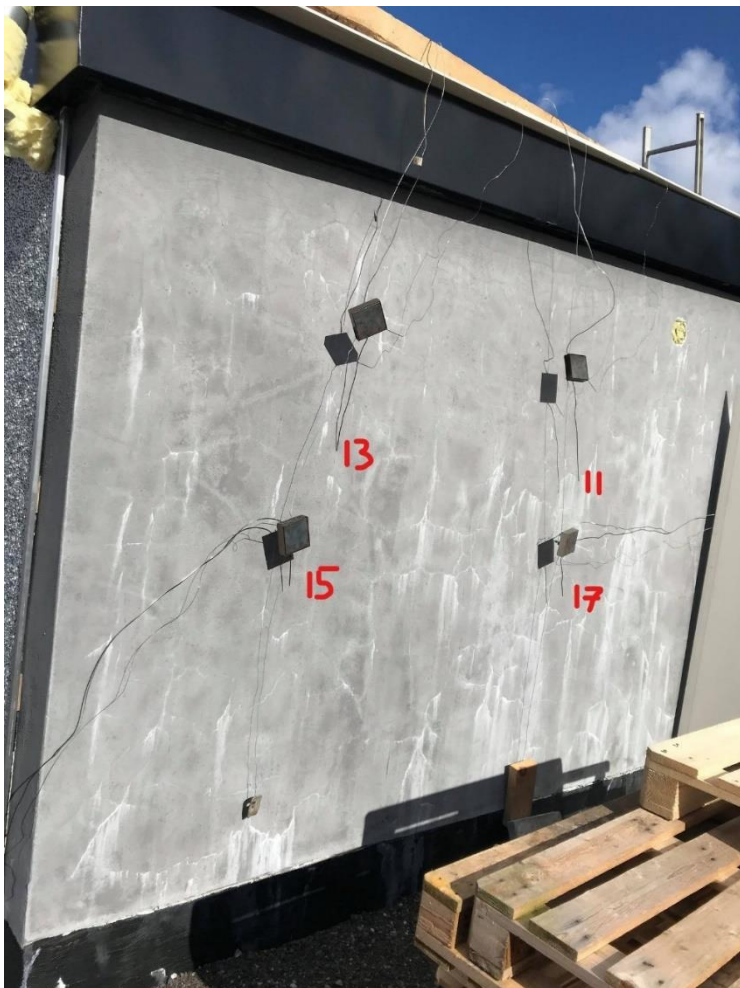


Figur 4 Fullskalaforsøk - Plassering av termoelementer på kald side (innsiden)

På utsiden av veggen (eksponert side) ble det plassert 4 termoelementer og 4 platetermoelementer. Platetermoelementene ble plassert på 1,4 og 2,2 meter over bakken. Termoelementene ble plassert 1,3 og 1,8 meter over bakken.

Grunnet vridning i ledninger ble ikke platetermometrene vendt direkte mot brannen. Det var ikke ønskelig å lage festepunkter direkte i veggen ettersom dette kunne kompromittere veggen.

For å løse dette ble de to øverste platetermometrene koblet sammen med de to nederste ved bruk av ståltråd. På enden av hver ståltråd ble det festet et «lodd», en metallbit og en tre kubbe. Tyngden av loddene gjorde at platetermometrene rettet seg opp.



Figur 5 Fullskalaforsøk - Plassering av termoelementer på utsiden

Det ble plassert 2 termoelementer i brenselet, hvor et ble plassert i venstre stabel (kanal 19), og det andre imellom stablene (kanal 20).



Figur 6 Fullskalaforsøk - Termoelement plassert i venstre stabel (kanal 19)



Figur 7 Fullskalaforsøk - Termoelement plassert mellom stablene (kanal 20)

5.7 Skjerming av solcellepanel og gjerde

På taket av testhuset var det installert et solcellepanel, oppdragsgiver ønsket dette skjermet fra brannen. For å beskytte panelet ble det lagt gipsplater langs kanten av taket og direkte på panelet. Panelet hadde utvendige ledninger som ble tildekket med Glava isolasjon og aluminiumsfolie.

Et nettinggjerde er plassert inntil testhuset. Deler av gjerde ble tildekket av gipsplater for å hindre varmeskader.



Figur 9 Fullskalaforsøk - Gipsplater montert på nettinggjerdet



Figur 8 Fullskalaforsøk - Skjerming av solcellepanel og utvendige ledninger

5.8 Brannsikkerhet

Forsøket ble gjennomført i Kverneland næringspark, Klepp. For å oppnå et tilfredsstillende sikkerhetsnivå ble følgende tiltak utført:

Alle i gruppen var ikledd kjeledress og vernesko. Personer som var ansvarlig for å fylle på brensel og håndtere slukkeutstyret var ikledd røykdykkerutstyr.

For å hindre brannspredning ble det lagt ut brannslanger med strålerør. Brannslangene var koblet til vannuttak i brannkum ca. 55 meter fra testhuset.

Det går en gangvei like utenfor testhuset. Under forsøket ble gangveien sperret med sperrebånd.



Figur 10 Brannkum



Figur 11 Angrepsvei

5.9 Fremgangsmåte

Følgende prosedyre ble brukt under fullskalaforsøket:

1. Vind, luftfuktighet og omgivelsestemperatur ble målt
2. Datalogger startes
3. Kameraene slås på
4. Gjennomgang av sjekklister (Vedlegg A)
5. Antennelse
6. 16 min etter antennelse ble 3 paller lagt på brannen
7. 20 min etter antennelse ble 4 paller lagt på brannen
8. 25 min etter antennelse ble 4 paller lagt på brannen
9. Jevnlig spyling av betongblokk bak brannen og gipsplatene langs gjerdet.
10. Forsøket avsluttes
11. Kameraene ble skrudd av
12. Datalogger avsluttes
13. Rydding og nedpakning av utstyr

6 Småskalaforsøk

Fullskalaforsøk som ble gjennomført produserte ikke høy nok temperatur i forhold til utvendig brannkurve, det ble heller ikke gjennomført temperaturmålinger av armeringsdragere og plastisolasjon. Det er derfor valgt å gjennomføre småskalaforsøk på polybetongen. Forsøket gjennomføres under kontrollerte forhold på ResQ og vil enkelt la seg gjenskape.

6.1 Formål

Veggelementene har overdekning til armeringsnett og plastflasker på 3 cm fra innsiden, og 5 cm fra utsiden. Formålet med testene er å se hvilken temperatur som oppstår på kald side ved overdekning av forskjellige tykkelser, og om temperatur på kald side er tilstrekkelig for å oppnå spontanantennelse av platen.

6.2 Metode

Det skal brukes en gassbrenner som plasseres slik at varme påføres prøvestykkene. Temperaturmålinger skal gjennomføres ved følgende dybder: 2, 3, 4 og 5 cm. Temperaturen skal følge standard tid/temperatur kurve.

Test 1 avsluttes etter 30 minutter, eller til synlige flammer observeres på kald side. Varigheten på test 1 er satt med tanke på krav angående tid til rømning og redningsinnsats.

Ved test 2 er det ønskelig å undersøke om polybetongen vil oppleve et integritetsbrudd ved varmpåkkjenning over lenger tid. Test 2 avsluttes derfor etter 2 timer, eller til synlige flammer kan observeres på kald side av prøvestykket.

Det skal plasseres et termoelement på varm side, i senter av prøvestykket (figur 13), og 3 stk. på kald side.

Prøvestykket har følgende mål; (24·10·12) cm (l·b·h), stykket deles i to på bredden. Forsøket skal gjennomføres i to omganger, først testes dybdene 2, 3 og 4 cm, så testes 5 cm. For å teste dybdene 2, 3 og 4 cm er det nødvendig å bore hull i prøvestykket der termoelementer skal plasseres (figur 14). Prøvestykket ble kappet til 5 cm tykkelse ved forsøk 2.

For å hindre flammer å trekke rundt prøvestykket og påvirke målingene fra kald side, bygges det rundt med siporex, det er også nødvendig å bruke glava-isolasjon for å tette åpninger mellom siporex og prøvestykket.

Gassbrenneren skal plasseres oppå siporex i samme høyde som prøvestykket, gassbrenneren vil ha en avstand på 30 cm fra prøvestykket. Bryteren til gassbrenneren skal tapes fast i åpen posisjon slik at gass kan strømme gjennom, dette gir mulighet for at flammen kan kontrolleres ved å skru på propanflaskens ventil.

6.3 Utstyr

- 4 stk. termoelementer
- 2 stk. Kitvision camera escape HD5
- Datalogger (Keysight 34972A LXI Data Acquisition/Switch Unit)
- Gassbrenner med propan som brensel

6.4 Rigg

Ved gjennomføring av småskalaforsøkene ble det bygget en rigg av Siporex (20 cm · 20 cm · 59 cm), vist i figur. 11. Etersom det ble brukt en gassbrenner som varmekilde, var det nødvendig å ha et materiale med god brannmotstand, Siporex klassifiseres som ubrennbare materialer.



Figur 12 Småskalaforsøk – Rigg (Rød markering viser plassering av prøvestykket)

6.5 Plassering av termoelementer

Under begge småskalaforsøkene ble det festet et termoelement på varm side ved bruk av en siporex blokk, figur 13.



Figur 13 Småskalaforsøk - Gassbrenner og termoelement varm side

Ved småskalaforsøk 1 skulle det gjennomføres målinger i ulike dybder. Det ble derfor laget 3 hull på kald side, hvor termoelementene skulle plasseres. Boret som ble brukt hadde en diameter på 2 mm, som er relativt likt diameteren til termoelementene.



Figur 14 Småskalaforsøk 1 - Boring i polybetongen



Figur 15 Småskalaforsøk 1 - Termoelementer kald side

På småskala forsøk 2 ble termoelementene på kald side holdt i en stabil posisjon ved bruk av en siporex klosse, se figur 16.



Figur 16 Småskalaforøk 2 - Termoelement kald side



7 Resultater



I dette kapitlet vil målinger og observasjoner fra de forskjellige forsøkene presenteres.


7.1 Fullskalaforsøk

7.1.1 Observasjoner under brannforsøket

Tabell 4 Fullskalaforsøk - Hendelsesforløp

Observasjoner under fullskalaforsøk	
Etter 3 minutter begynte pussen i veggen å sprekke opp.	
Etter 8 minutter antente fugene i overgangen fra vegg til tak.	 <p>Figur 17 Fullskalaforsøk - Brann i fuge</p>
27 minutter ut i forsøket veltet en av gipsplatene over brannen.	 <p>Figur 18 Fullskalaforsøk - Gipsplate i brannen</p>

<p>Under forsøket kunne en tydelig se at det forekom forkulling i armeringsstolene. Disse er laget av plast og brukes for å få riktig overdekning til armeringen og nettingkassetene.</p>	 <p><i>Figur 19 Fullskalaforsøk - Svarte merker på veggen</i></p>
<p>30 min Forsøket avsluttes</p>	
<p>Observasjoner etter fullskalaforsøket</p>	
<p>Eksponert side</p>	 <p><i>Figur 20 Fullskalaforsøk - Vegg etter endt forsøk</i></p>

<p>Etter endt forsøk ble det skrapet i veggen for å se hvordan brannen påvirket polybetongen. Veggen var «sprø» ca. 0.6 cm inn i veggen. Deretter ser den nokså uberørt ut.</p>	 <p><i>Figur 21 Fullskalaforsøk - Resultat av skraping på vegg</i></p>
<p>Ingen endringer på innsiden av bygget (Kald side)</p>	

Under gjennomføringen av fullskala forsøket ble det benyttet et testskjema for å dokumentere relevante hendelser (se tabell 5).

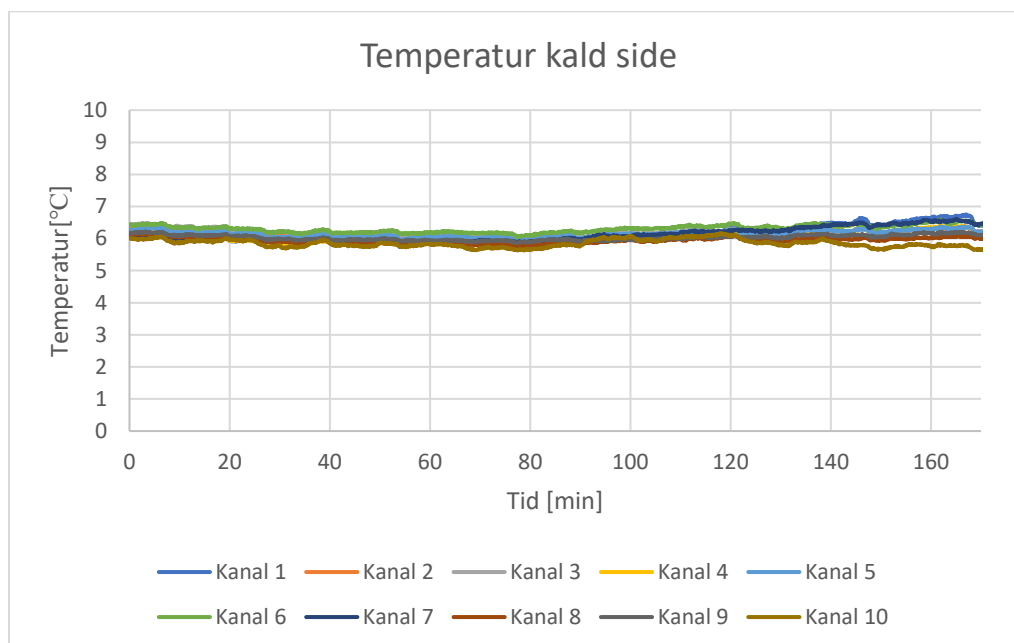
Før forsøket startet ble vindstyrken målt til 3 m/s fra nord, vekk fra veggen.

Tabell 5 Testskjema

Testskjema			
Ved start			
Vind	Temperatur	Luftfuktighet	
3 m/s fra nord	5 °C	52.5	
Under forsøk			
Temperatur			Tid [min]
Flamme	Vegg ute	Vegg inne	
495	181	6,4	5
972	239	6,4	10
854	194	6,3	15
693	192	6,3	20
561	203	6,3	25
788	79	6,2	30
Avskalling/sprekk 1			3
Avskalling/sprekk 2			3
Røykproduksjon fra vegg			-
Vegg antennes			-
Forsøk avsluttet			30

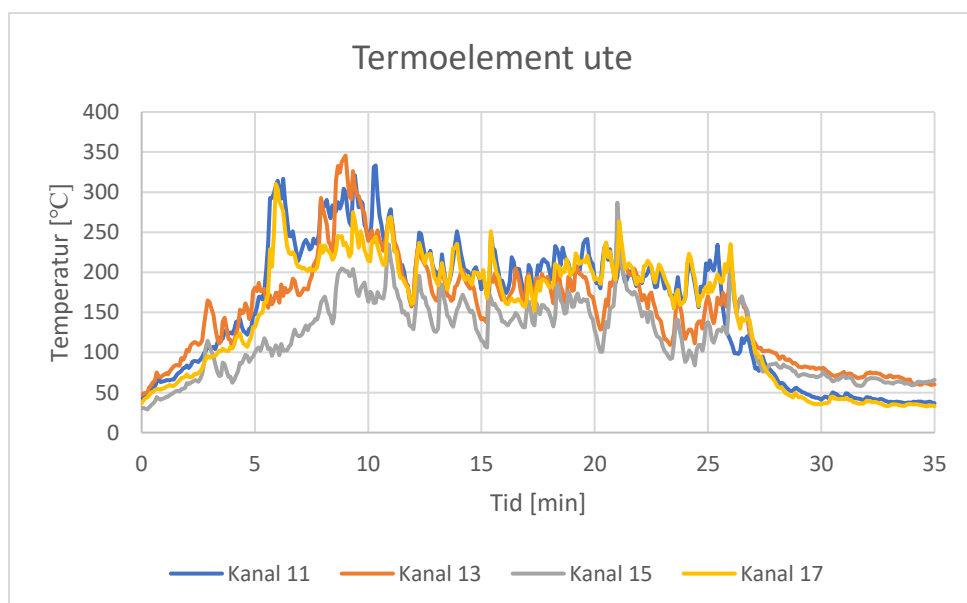
7.1.2 Temperatur

Figur 22 viser hvordan temperaturen på veggens kalde side holder seg stabilt gjennom hele forsøket. For å undersøke om det var varme lagret, som enda ikke hadde trengt gjennom vegg, ble ikke temperaturmålinger av kald side stoppet etter endt forsøk. Målingene i etterkant av forsøket viste ingen nevneverdig økning. Under hele forsøket ligger temperaturen for alle termoelementene mellom 5,6 og 6,8 grader.



Figur 22 Fullskalaforsøk – temperaturmålinger fra termoelementene inne

Figur 23 viser temperaturen på utsiden av vegg. Av grafen kan en se at temperaturen stiger kraftig frem til den får ett fall etter 6 minutter. Etter 10 minutter holder temperaturen seg jevnt rundt 200°C. Etter ca. 25 minutter faller temperaturen igjen.



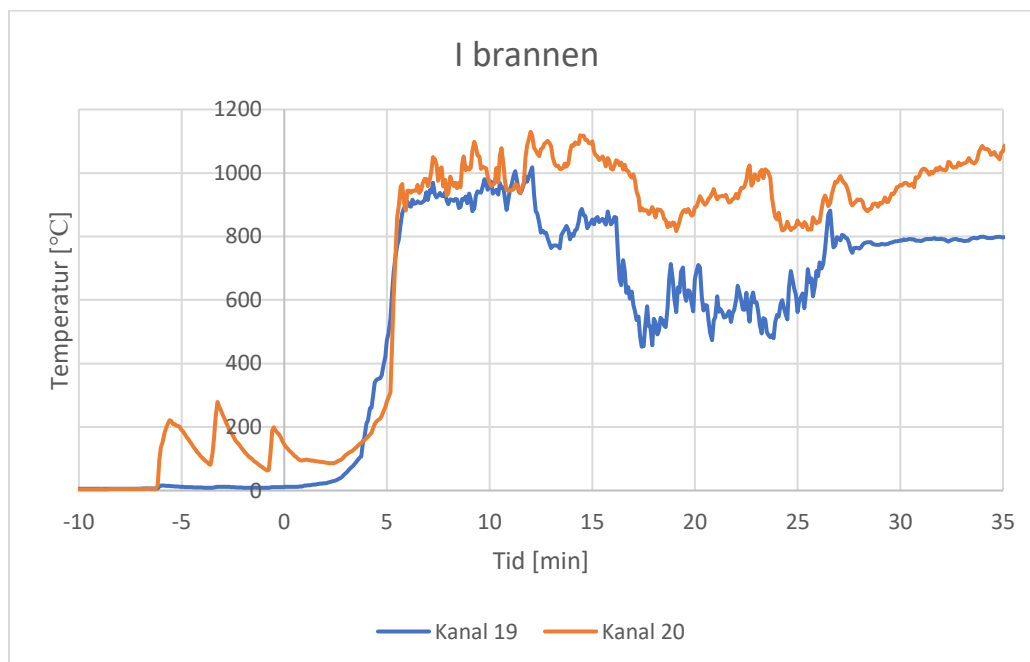
Figur 23 Fullskalaforsøk - temperaturmålinger for termoelementer ute (eksponert side)

Figur 24 viser gjennomsnittstemperaturen på kald side. Temperaturen holder seg nokså konstant gjennom hele forsøket, og videre til 170 minutter.



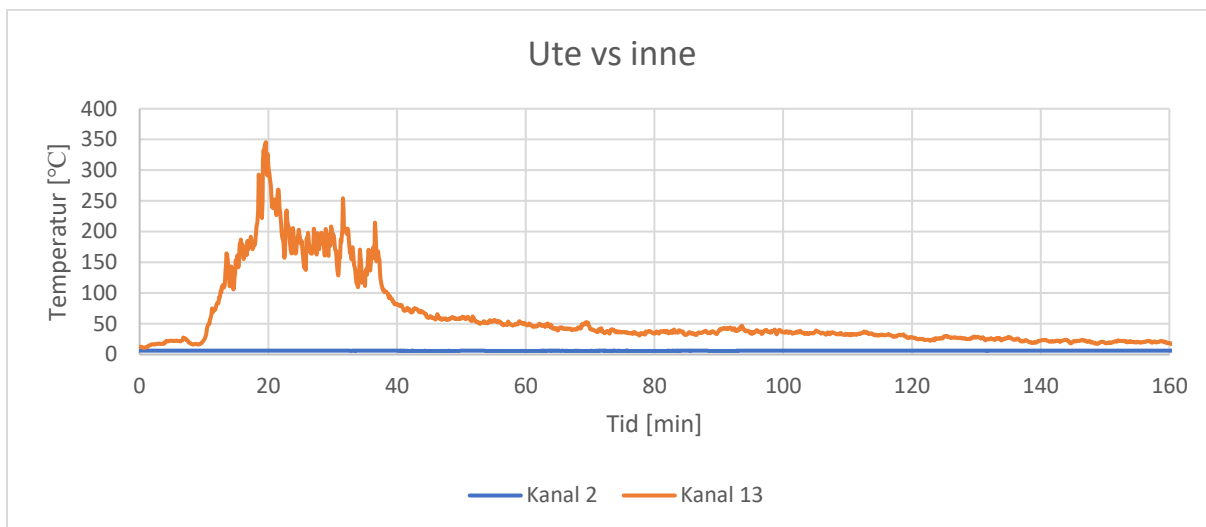
Figur 24 Fullskalaforsøk - Gjennomsnittstemperaturmålinger inne (Kald side)

Figur 25 viser temperatur i brannen gjennom forsøket. Før forsøket startet kan en se at temperaturen svinger litt på kanal 20. Fra 0-5 minutter stiger temperaturen veldig raskt. Etter 11 minutter faller temperaturen på kanal 19 til rundt 800 grader, og faller ytterligere etter 16 minutter der den ligger på rundt 600 grader. Temperaturen til kanal 20 holder seg noe mer stabil sammenlignet med kanal 19, der det oppleves et fall i temperatur ved ca. 15 minutter.



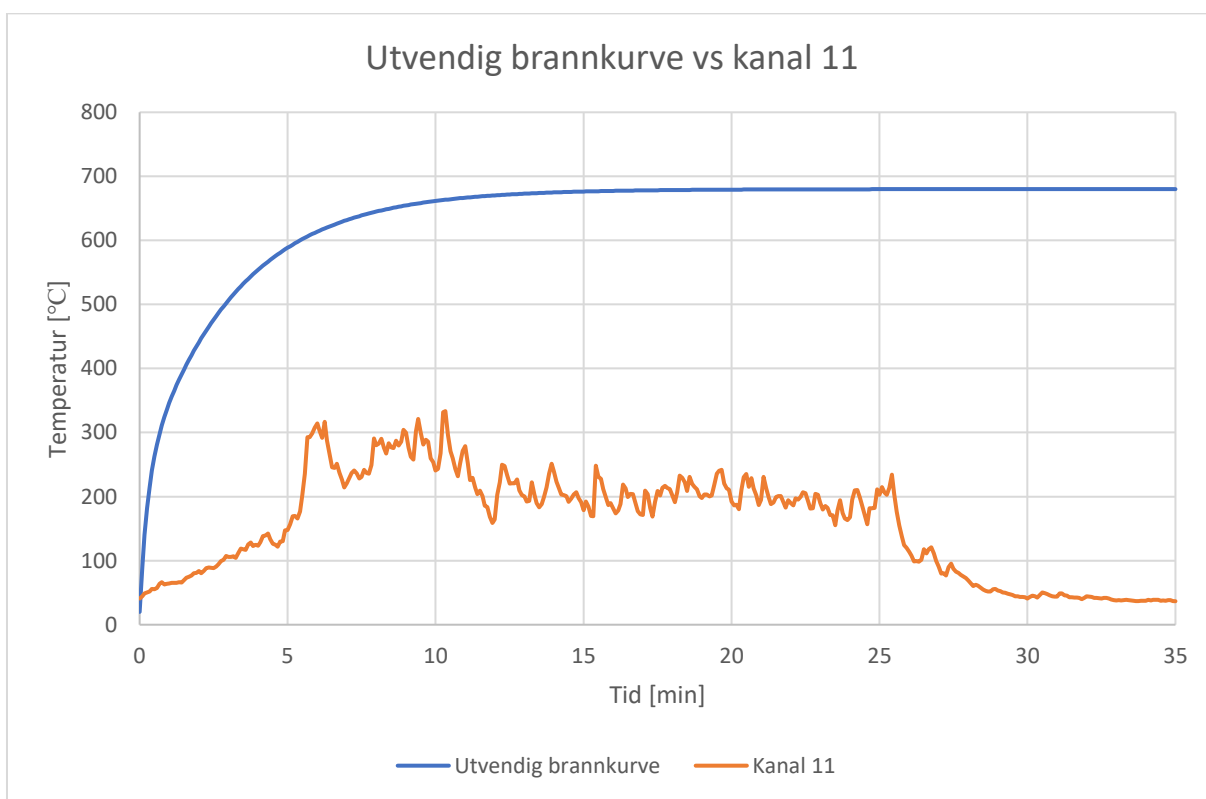
Figur 25 Fullskalaforsøk - Temperaturmålinger fra termoelementene plassert i brannen

Figur 26 viser temperaturen på veggen ute, sammen med temperatur på veggen inne. En kan se at temperaturen ute endres underveis i forsøket, men at temperaturen inne er konstant.



Figur 26 Fullskalaforsøk - Temperaturmålinger fra termoelement inne og ute

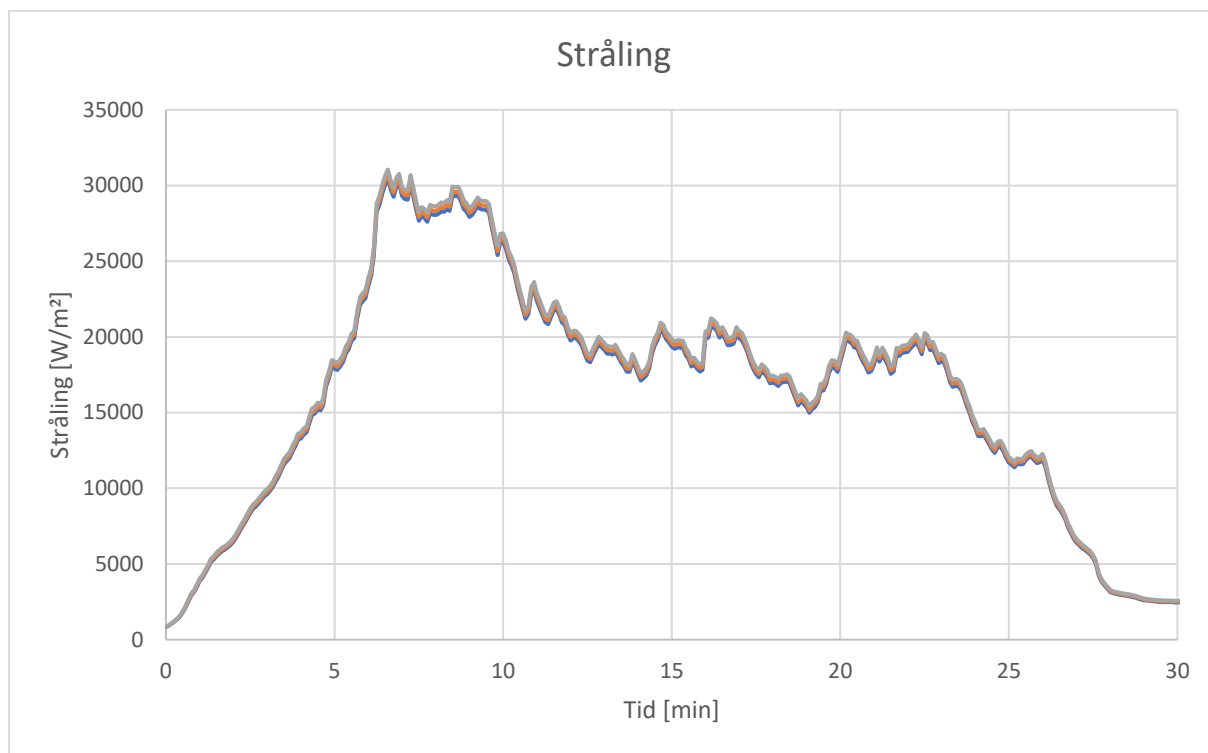
Figur 27 viser utvendig brannkurve sammen med temperatur på utsiden av veggen. En kan se av grafen at det er stor temperaturforskjell på den utvendige brannkurven og målt temperatur.



Figur 27 Fullskalaforsøk - Utvendig brannkurve sammen med et termoelement ute (eksponert side)

7.1.3 Stråling

Figur 28 viser mengde stråling veggene ble utsatt for under forsøket. Av grafen kan en se at strålingen øker gradvis frem til rundt 6 minutter, før den faller nok så jevnt gjennom resten av forsøket. Strålingen toppe på 30 KW/m², og ligger deretter rett i underkant av 20 KW/m².




Figur 28 Fullskalaforsøk - Strålingen veggene ble utsatt for

7.2 Småskalaforsøk 1

Tabell 6 Småskalaforsøk 1 - Hendelsesforløp

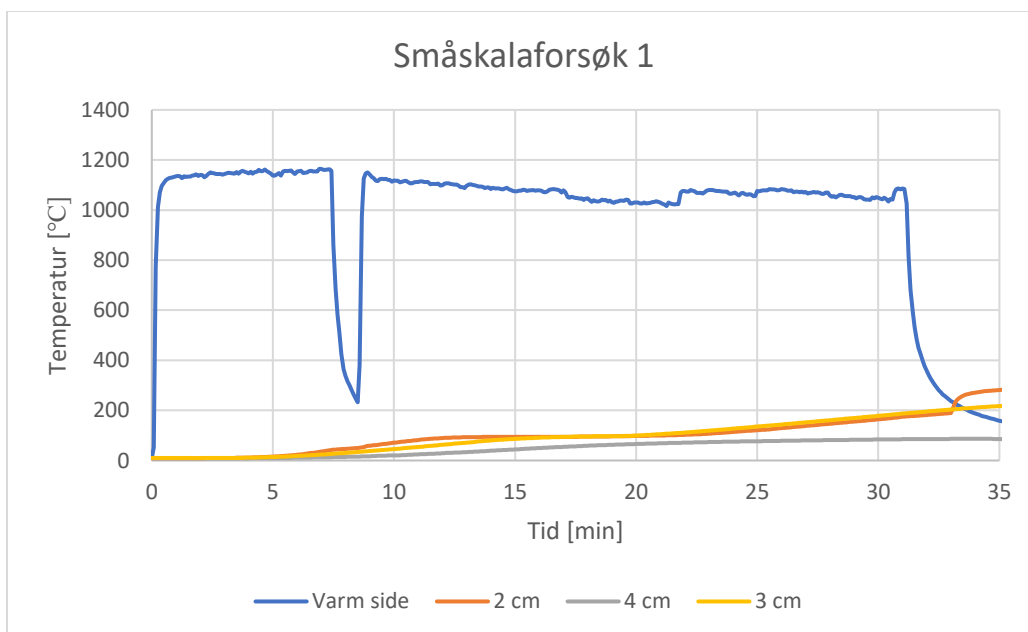
Observasjoner under småskalaforsøk 1	
Etter 3 minutter lett røykdannelse fra øverste siporex blokk.	
Ca. 7 minutter ut i forsøket antente løpet på gassbrenneren	 <p style="text-align: center;"><i>Figur 29 Småskalaforsøk 1 - Antent løp på gassbrenneren</i></p>
30 min Forsøket avsluttes	
Observasjoner etter småskalaforsøk 1	
Etter endt forsøk er det flere sprekker på eksponert side	 <p style="text-align: center;"><i>Figur 30 Småskalaforsøk 1 – Eksponert side av prøvestykket etter endt forsøk</i></p>

Prøvestykket ble delt i to	 <p data-bbox="676 674 1230 728"><i>Figur 31 Småskalaforsøk 1 - Kjernen av prøvestykket etter endt forsøk</i></p>
Ingen endringer på kald side	

7.2.1 Småskalaforsøk 1 - Temperaturmålinger

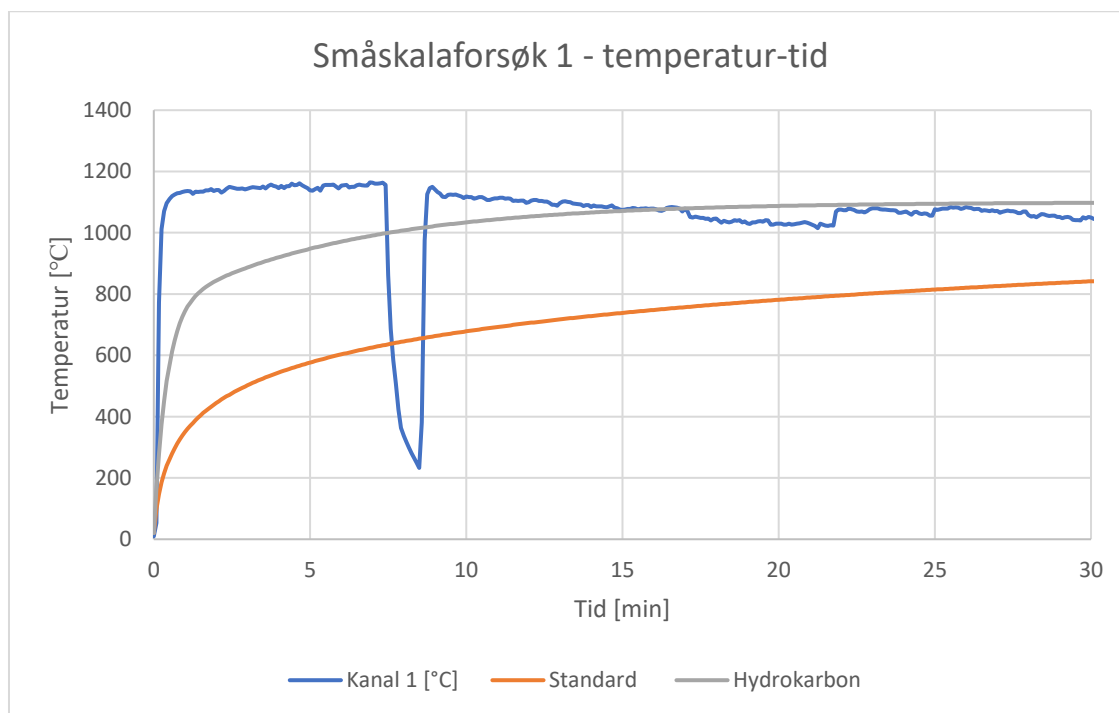
Figur 32 viser temperaturen på varm og kald side under småskala forsøk 1. Ved forsøksstart oppleves en kraftig temperaturstigning på varm side. Temperaturen holder seg jevn frem til 7 minutter ut i forsøket, for så å synke kraftig. Like etter stiger temperaturen igjen og holder seg relativt stabil gjennom forsøket.

Målinger fra kald side viser en jevn stigning gjennom store deler av forsøket, men ved 33 minutter skjer det en signifikant økning i kanal 2.



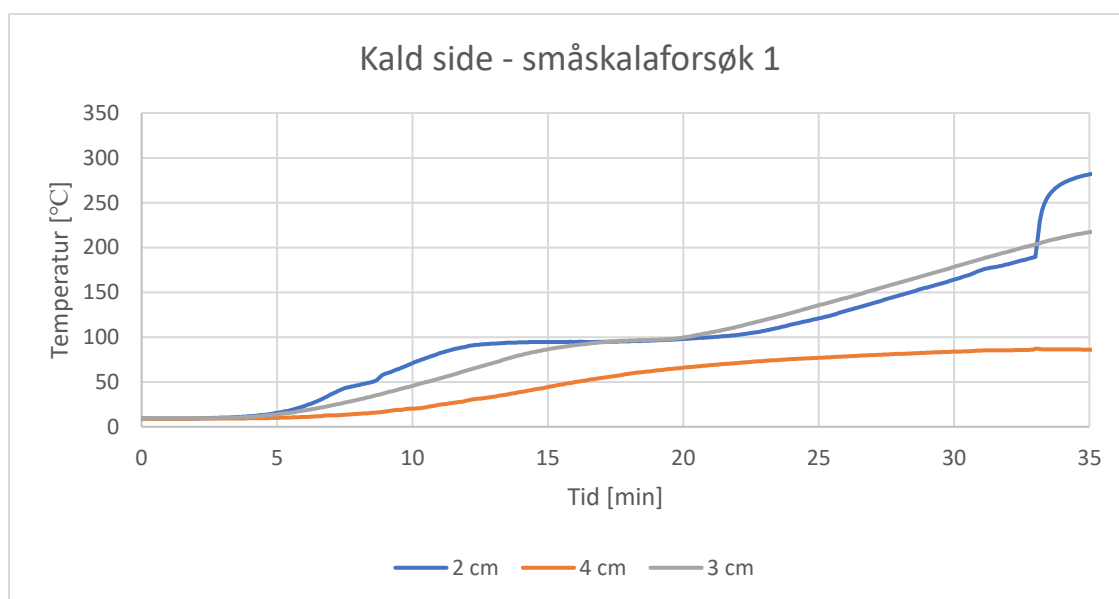
Figur 32 Småskalaforsøk 1- Temperaturmålinger på varm og kald side

Figur 33 viser temperaturen på eksponert side i forhold til standard tid/temperaturkurve og hydrokarbon-kurven. Temperaturen på eksponert side øker betraktelig raskere enn tid/temperaturkurvene. Etter 10 minutter ligger temperaturen +/- 50 grader i forhold til hydrokarbonkurven.



Figur 33 Småskalaforsøk 1 - Temperaturmålinger på eksponert side sammen med standard- og hydrokarbon- kurven



Figur 34 viser temperatur på kald side for småskalaforsøk 1. Her ble det plassert ett termoelement på 2 cm, ett på 3 cm og ett på 4 cm avstand fra eksponert side. Etter ca. 3 minutter ut i forsøket begynner temperaturene å stige. De første 12 minuttene kan en se at temperaturen stiger gradvis, før temperaturen på 2 cm flater ut, og får en bratt stigning etter ca. 32 minutter.




Figur 34 Småskalaforsøk 1 - Temperaturmålinger på kald side

7.3 Småskalaforsøk 2

Tabell 7 Småskalaforsøk 2 - Hendelsesforløp

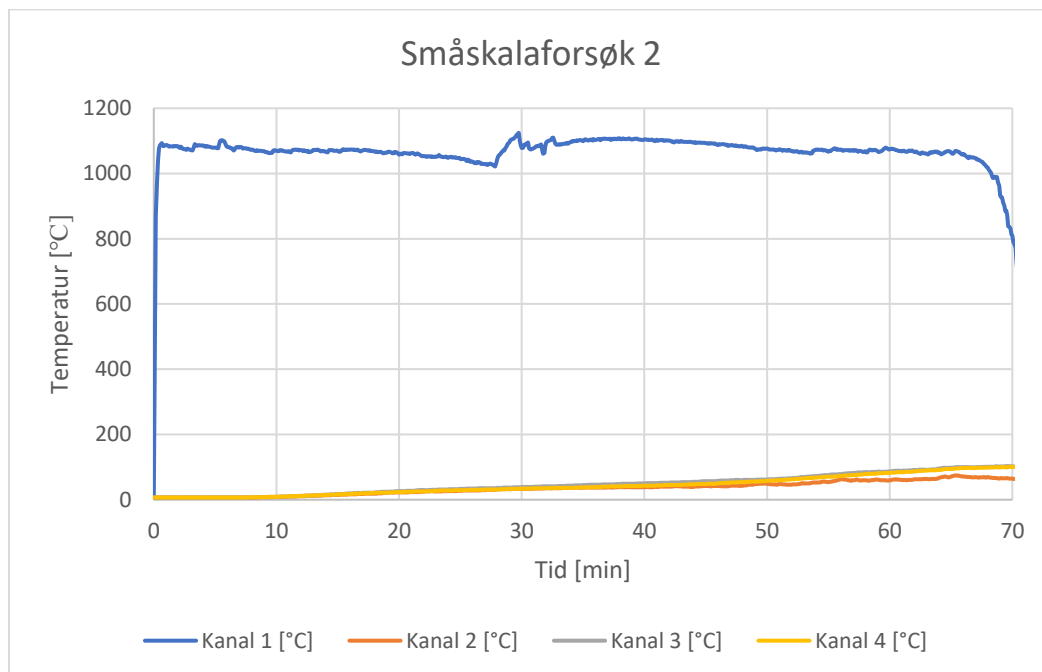
Observasjoner under småskalaforsøk 2	
Etter 3 minutter lett røykdannelse fra øverste siporex blokk.	
27 ut i forsøket ble propan tanken plassert i en kasse med varmt vann	 <p><i>Figur 35 Småskalaforsøk 2 - propantank i kasse med varmt vann</i></p>
1 time og 6 min Forsøket avsluttes	
Observasjoner etter småskalaforsøk 2	
Etter endt forsøk, har den eksponerte siden av polybetongen fått flere sprekker, se figur 37. Sprekkene er størst i senter av prøvestykket.	 <p><i>Figur 36 Småskalaforsøk 2 – Eksponert side av prøvestykket etter endt forsøk</i></p>

Prøvestykket ble delt i to	 <p data-bbox="678 667 1197 716"><i>Figur 37 Småskalaforsøk 2 - Kjernen av prøvestykket etter endt forsøk</i></p>
Ingen endringer på kald side	

7.3.1 Småskalaforsøk 2 - Temperaturmålinger

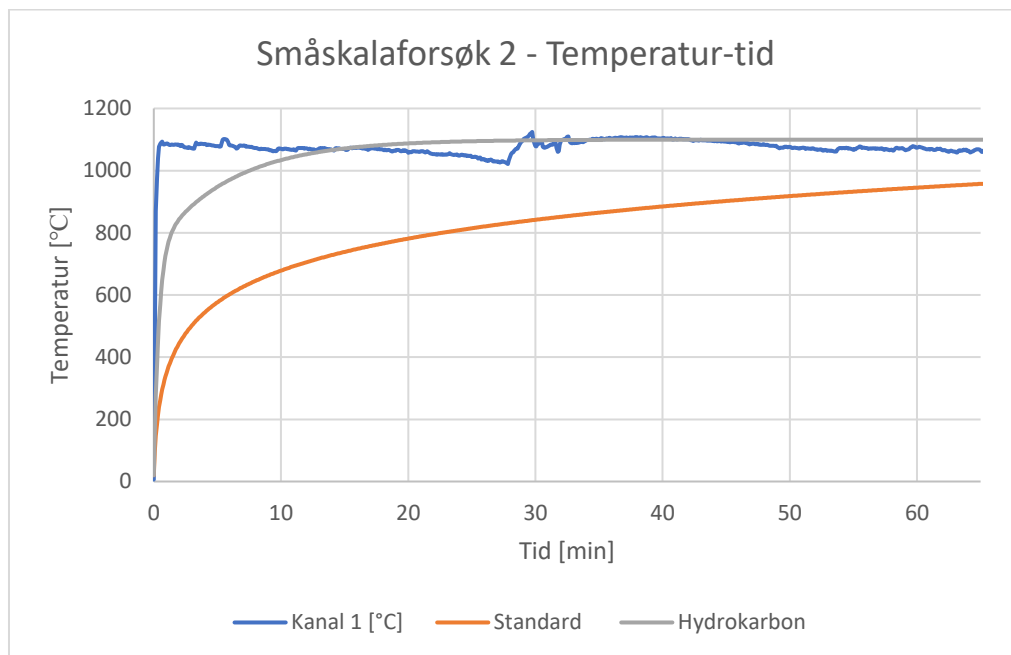
Figur 38 viser temperatur på varm og kald side under småskala forsøk 2. Ved forsøksstart er det en kraftig temperaturøkning på varmside, etterfulgt av en gradvis nedgang. 27 minutter ut i forsøket øker temperaturen igjen og holder seg relativt stabil med enkelte svingninger.

Temperaturen på kald side har en jevn stigning under hele forsøket.



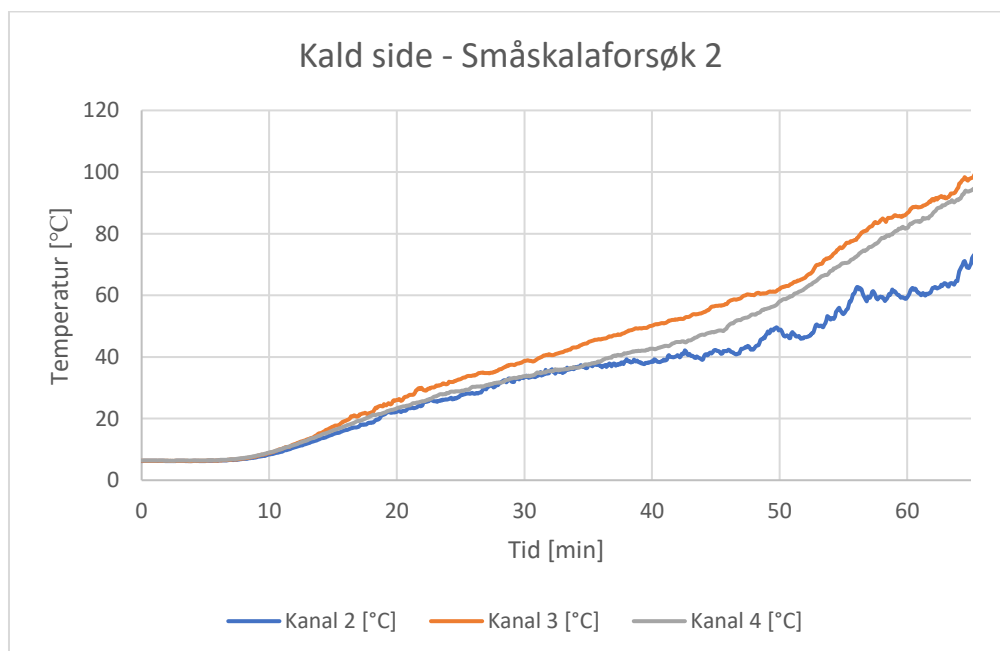
Figur 38 Småskalaforsøk 2 - Temperaturmålinger på varm og kald side

Figur 39 viser temperatur på eksponert side i forhold til standard brannkurven og hydrokarbonkurven. Temperaturen på eksponert side når umiddelbart 1100 grader. Etter 10 minutter ligger den innenfor +/- 50 grader i forhold til hydrokarbonkurven.



Figur 39 Småskalaforsøk 2 – Temperaturmålinger på eksponert side sammen med standard brannkurve og hydrokarbon kurven

Figur 40 viser temperatur på kald side for småskalaforsøk 2. Her begynner temperaturen å øke etter ca. 7 minutter, og deretter stiger temperaturen jevnt gjennom forsøket. Temperaturen på de forskjellige termoelementene følger hverandre.



Figur 40 Småskalaforsøk 2 - Temperaturmålinger kald side

8 Diskusjon

8.1 Fullskalaforsøk - Metode

Metoden som ble benyttet under fullskalaforsøket ga for lav temperatur på veggen, i forhold til standard brannkurve.

Begrensingene for høyde og bredde av brannen, samt vindretning, gjorde det vanskelig å oppnå ønsket temperatur. Fra tidligere brannforsøk var det kjent at paller har en rask brannvekst. For å kunne opprettholde temperaturen over tid var det derfor nødvendig å tilføre paller gjennom forsøket. På grunn av ubeleilige hendelser, ble ikke brensel tilført i den mengden som opprinnelig var planlagt.

Sentrale svakheter med metoden og fullskala forsøket vil bli forklart grundigere i Kapittel 9. Feilkilder.

8.2 Fullskalaforsøk - Temperatur

Av figur 27 kan en se at det er stor forskjell i temperatur på veggen i forhold til utvendig brannkurve.

8.2.1 Temperatur kald side

Temperaturen på kald side holdt seg stabil gjennom hele forsøket. Noen av termoelementene målte en temperaturøkning på omtrent 0.5 °C. En slik temperaturøkning kan regnes som neglisjerbar, der det kan være flere årsaker til temperaturøkningen, som f.eks. økt omgivelsestemperatur, varme fra solen, vindforhold og feilmålinger.

8.2.2 Temperatur varm side

Det var tenkt at temperatur på den eksponerte siden av veggen skulle følge tid/temperaturkurve for utvendig brann. Tid/temperaturkurven for utvendig brann stabiliseres på ca. 680 °C. Av sikkerhetsmessige årsaker var det nødvendig å begrense mengden brensel som tilførtes brannen, det var derfor ikke mulig å oppnå høye nok temperaturer i forhold til kurven.

Temperaturen på varm side stiger jevnt de første fem minuttene, før det brått oppleves en kraftig temperaturøkning hos termoelementene på høyre side av veggen. Grunnen til at termoelementene på veggens venstre side ikke målte et lignende temperaturhopp kommer trolig av at pallestabelen til venstre ikke hadde tatt skikkelig fyr enda. Etter temperaturhoppet synker temperaturen igjen, før det skjer en ny økning etter ca. 8 minutter. På dette tidspunktet har begge pallestablene tatt fyr, og utviklet seg til en fullt utviklet brann. Ved ca. 9 minutter oppnås en temperatur på 345 °C, som er forsøkets høyeste temperaturmåling av veggen. 10 minutter ut i forsøket starter temperaturen å synke, dette kommer som et resultat av at pallestabelen har blitt lavere, i tillegg til at det er mindre tilgjengelig brensel. Her stabiliserer temperaturen seg på rundt 200 °C, med noen hopp der brensel tilføres. Det tilføres ikke nok brensel til å opprettholde temperaturen på veggen, etter ca. 26 minutter begynner utbrenningsfasen, og temperaturen starter jevnt å synke.

8.2.3 Flammetemperatur

Det var problemer med å få fyr på pallestablene i starten av forsøket, der det bare var rødspriten som brant, dette ga en treg temperaturutvikling de første minuttene.

De øverste pallene antennes etter om lag 3 minutter, figur 15 viser her en stadig brattere temperaturkurve. Etter hvert som brannen spres nedover pallestablene, der termoelementene var festet, kan man observere tilnærmet vertikale stigningskurver. Dette resulterte i en temperaturøkning fra ca. 280 °C til 940 °C. Etter 6 minutter har brannen nådd stadiet fullt utviklet brann, her avtar temperaturkurvenes stigning, slik at man kan observere en jevn økning frem til det har gått 12 minutter. Etter hvert som brenselet brukes opp kan man se at temperaturen startet å avta, brannen har nådd utbrenningsfasen, og det var her nødvendig å tilføre nytt brensel. Ved avlesning fra figur 15 kan man observere noen hopp i temperaturen der nytt brensel tilføres.

Videre kan man se relativt store forskjeller i termoelementenes temperaturmålinger, der kanal 19 generelt måler langt lavere temperaturer enn hva oppleves i kanal 20. Fra video av forsøket ser man at det ved rundt 10 minutter skjer en kollaps i høyre stabel, altså der kanal 19 var plassert. Det spekuleres i at kollapsen kan ha begravd kanal 19, slik at termoelementet til en viss grad isoleres fra flammen. Kanal 20, som var plassert midt imellom pallestablene, var fortsatt i direkte kontakt med flammene, dette resulterte i langt høyere temperaturmålinger sammenlignet med kanal 19.

8.3 Armeringsstoler

I veggen er det brukt armeringsstoler laget av plast. Ved høye temperaturlastninger kan armeringsstolene smelte, noe som vil etterlate åpninger i veggens overflate. Som konsekvens av dette kan varme lettere trenge gjennom til kassetene med plast, som igjen kan føre til en tidlig antennelse i plasten. Armeringsstolene kan dermed svekke veggens integritet, og fungere som et svakt punkt. Alternativ for armeringsstoler i plast kan være å lage dem av polybetong, da vil ikke egenskapene til veggen svekkes på samme måte.

8.4 Småskalaforsøk

Hensikten med småskala forsøkene var å se hvilken temperatur som oppstod på kald side med overdekningen av forskjellige tykkelser, og om temperatur på kald side var tilstrekkelig for å oppnå spontanantennelse av plasten.

Småskala forsøk gir ikke nødvendigvis representative resultater i forhold til hva som kan forventes ved en fullt utviklet brann, men det vil gi en indikasjon på hvilke temperaturer som kan oppstå på innsiden av veggen under ekstrem varmpåkjønning.

8.4.1 Eksponert side

Under småskala forsøkene ble det benyttet en gassbrenner som varmekilde. Gassbrenneren produserte en forblandet flamme på over 1000 °C. Fra figur 30 og 35 ser man at temperaturen i begge forsøkene følger hydrokarbon-kurven med noe avvik.

Etter endt forsøk var det dannet flere små sprekker i begge prøvestykkene. Prøvestykkene ble delt i to for å undersøke i hvilke dybder man kan se visuelle tegn etter varmpåkjønning.

8.4.2 Kald side

Ved småskala forsøk 1 ble polybetongen utsatt for varme i ca. 30 minutter. De høyeste temperaturmålingene under forsøket forekom med dybde 2 cm: 280 °C, dybde 3 cm: 216°C og dybde 4 cm: 86°C.

Fra forsøk 2 ble prøvestykket utsatt for varme i ca. 1 time. Polybetongen hadde en tykkelse på 5 cm, den høyeste målte temperaturen på kald side var 95 °C.

PET har en smeltetemperatur på mellom 235-260 °C og en antennelsestemperatur på 407 °C. Ingen av de målte temperaturene var høye nok til å antenne PET, men det forekom temperaturer høyere enn smeltetemperatur for PET.

8.5 Egenskaper til veggen/huset

Observasjoner fra forsøket viser at det forekom store avskallinger i pusset på veggen, men skader i selve polybetongen var begrenset. I veggen er det lagt inn armeringsstoler av plast, de eneste skadene som kan observeres i polybetongen er knyttet til disse. Armeringsstolene er plassert like under pusset, slik at det er lite overdekning som kan beskytte mot varme, og kan derfor representere en svakhet der varme vil ha lettere for å trenge inn i veggen. Under forsøket har armeringsstolene delvis smeltet, noe som førte til dannelse av sorte merker på veggen, med noen små sprekker rundt. På tross av dette viste resultater fra forsøket ingen temperaturøkning på kald side, slik at varmen ikke trengte gjennom veggen.

Ettersom veggen er bygget opp av isopor og sement som har gode isolasjonsegenskaper, kan det virke som at energi akkumuleres på utsiden og jobber seg inn. Dette underbygges med at utsiden av veggen var veldig porøs og tørr ca. 0,5 cm inn i veggen. Deretter ser det ut til at veggen er uberørt, der det ikke er noen synlige skader.

8.6 Sammenligning

I dette underkapittelet vil de branntekniske egenskapene til en trevegg sammenlignes med et veggelement fra Triple Panel Buildings.

Tre er per definisjon brennbart, vanlige trematerialer vil oppnå brannklasse D-s2,d0 [16], til sammenligning vil et veggelement av polybetong uten fyllingsmasse oppfylle klasse B-s1,d0 [24]. Det er ikke gjennomført forsøk med hensikt å bestemme brannmotstand til veggelement av polybetong med fyllingsmasse.

Med innbyrdes avstand på 1 meter kan brannegenskapene til trehus føre til en hurtig og intens brannspredning, noe som vil gi økt person- og verdirisiko. Ved såpass korte avstander mellom bygninger av tre, vil brannen ha lett for å spre seg til omkringliggende bygninger gjennom både konveksjon og stråling. Dette kan føre til et raskt voksende brannforløp, der responstid hos slökkemansskaper vil være kritisk for deres sjanser til å kontrollere brannen.

Ved bruk av polybetong som materiale vil man ikke møte på de samme branntekniske utfordringene som ved bruk av treverk. Fra veggelementene til Triple Panel Buildings er det hovedsakelig fyllingsmassen av plast som utgjør en risiko for brannspredning. Ettersom at plasten beskyttes med overdekning av polybetong, vil brennbart materiale i større grad gjøres utilgjengelig sammenlignet med en trevegg. Resultater fra forsøk gjennomført med og uten forbindelse til bachelorrapporten viser at det er svært vanskelig å antenne polybetong, samt at veggen har gode isolasjonsegenskaper, og opprettholder sin integritet over lang tid ved høy varmpåkjenning. Man kan dermed forvente et brannforløp av langt tregere utvikling,

sammenlignet med treverk, slik at responstid hos slokkemannskap er mindre kritisk for brannens videre utvikling.

Den nødvendige mengden stråling for å oppnå spontanantennelse av en trevegg er 29 kW/m^2 . Ved gjennomføring av fullskala forsøket ble veggen av polybetong utsatt for en stråling på ca. 30 kW/m^2 . Man kan dermed anta at en trevegg testet under lignende forutsetninger ville tatt fyr, der veggen av polybetong kun opplevde minimale skader i overdekningen.

8.7 Spredningsfare

Brannspredning mellom bygninger skjer ofte gjennom vinduer, via åpninger eller ved antennelse av fasaden. Polybetongen antente ikke ved noen av forsøkene. Det forekom heller ingen sprekker/avskallinger av størrelser som gir varme direkte tilgang til plastkassetene.

Med bakgrunn i at det ikke forekom store sprekker i noen av forsøkene, anses det som lite sannsynlig at flammer eller varme gasser vil trenge gjennom til kassetene. Kassetene er plassert med en minste avstand på 10 cm fra hverandre, noe som er større enn overdekningen. Dermed vil muligheten for at brann overføres mellom kassetene være liten.

Så lenge veggen til polybetonghuset som er vendt mot nabobygg ikke inneholder vindu eller åpninger, anses faren for brannspredning som lav.

9 Feilkilder

I dette kapittelet vil feil og usikkerheter ved valgte testmetoder belyses. I tillegg vil uønskede hendelser som oppstod under gjennomføring av forsøkene diskuteres.

9.1 Fullskalaforsøk

9.1.1 En av gipsplaten falt ned under fullskala forsøket

27 minutter ut i forsøket falt en av gipsplatene over brannen. Dette førte til skade på et av platetermoelementene, slik at det ikke lenger målt temperaturer fra dette. Gipsplaten skjermet også deler av veggen mot brannen, ettersom den la seg imellom veggen og flammene.

9.1.2 Plassering av termoelementer i brannen

Termoelementer som målte flammtemperatur var plassert og festet til pallestablene. Som en konsekvens av dette vil termoelementenes posisjon endres etter hvert som trevirket brytes ned. Ettersom termoelementenes posisjon ikke er konstant gjennom hele forsøket, vil det være problematisk å gjenskape dette aspektet av forsøket.

9.1.3 Fugemassen i overgang mellom vegg og tak tok fyr under forsøket

Da fugemassen antente, spredte brannen seg langs fugemassen, og rundt hjørnet til husets høyre side. For å hindre brannspredning til innsiden av huset var det nødvendig å kjøle ned siden med jevne mellomrom. Nedkjølingen utgjorde trolig liten effekt på forsøkets resultat.

9.1.4 Fuktinnhold i pallene

Det er usikkert hvor høyt fuktinnholdet i pallene var like før forsøket, men det kan tenkes at det var noe høyt ettersom de ble oppbevart utendørs over lenger tid. Dette førte til en treg brannutvikling ettersom at fuktigheten må reduseres før pallene kan ta fyr. Under oppvarming vil vannet i trevirket drives ut, og temperaturen vil ikke øke ytterligere før alt vannet er fordampet. Temperaturen vil i denne fasen ligge på rundt 100 - 105 °C, etter dette vil temperaturen stige ytterligere, og den termiske nedbrytingen av materialet begynner [16].

For å fremskynde flammespredningen, ble det tilført paller på toppen av stablene. Dette førte til en større høyde av stablene enn først planlagt.

9.1.5 Gjenskapelse av fullskalaforsøk

Testen foregikk utendørs, noe som vil komplisere en eventuell gjenskapelse av forsøket. Brannforsøk som gjennomfører utendørs, vil ha flere usikre parametere sammenlignet med brannforsøk innendørs. Parametere som kan skape usikkerhet i resultater kan f.eks. være vind, luftfuktighet og nedbør. Vindretning/vindhastighet kan trekkes frem som parametere med størst tilknyttet usikkerhet.

Ved forsøket som ble gjennomført i forbindelse med denne bachelorrapporten blåste vinden i retning fra veggen, et lignende forsøk med vindretning mot veggen ville gitt høyere temperaturbelastninger på veggen.

Grunnet bekymringer angående brannspredning under testbyggets tak, ble det ikke tilført tilstrekkelig brensel for å opprettholde en full utviklet brann over lengre tid. Det var dermed ikke mulig å tilføre den mengden brensel som er nødvendig for å opprettholde ønsket

intensitet på brannen. Et forsøk utført under kontrollerte omgivelser, f.eks. på ResQ, der bekymringer angående brannspredning og utslipp kan reduseres, ville muliggjort et brannforløp av høyere intensitet.

Som nevnt tidligere var fuktinnholdet i pallene ukjent, noe som gjør at resultater fra forsøket trolig ikke er etterprøvbare.

9.1.6 Armeringsdragerne og plastisolasjonen i veggen

Som en del av oppgaven var det planlagt å undersøke hvordan brann i nærliggende trebygg påvirker armeringsdragerne og plastisolasjonen i veggelementet. Det ville da vært nødvendig å bore hull i veggen for å plassere termoelementer på innsiden. Et slikt inngrep ville svekket veggens integritet, noe som kunne kompromittert resultater fra de andre målingene. På grunnlag av dette ble det bestemt å ikke utføre temperaturmålinger inni veggen.

Ut ifra målinger og observasjoner utført under og etter forsøket, vil det være mulig å gi antagelser angående hvordan varme påvirket veggens indre elementer. Ettersom det ikke forekom temperaturøkning på kald side, samt at veggen ikke hadde noen synlige skader lenger enn 0,6 cm inn i betongen, vil det være rimelig å anta at temperaturøkning i isolasjon og armeringsdrager også var lav, slik at det ikke forekom høy nok temperatur for spontanantennelse av veggens indre elementer under forsøket.

9.2 Småskalaforsøk

9.2.1 Gassbrenner skrues av under småskalaforsøk 1

Ca. 7,5 minutter ut i forsøket tok løpet til gassbrenneren fyr, grunnet bekymringer angående sikkerhet ble det derfor bestemt å stoppe gasstilførselen. Som en konsekvens av dette synker temperaturen drastisk på varm side. Etter ca. 2 minutt skrues gassen på igjen, og forsøket fortsetter. Gassbrenneren var ikke skrudd av lenge nok til at temperatur på kald side begynte å falle.

9.2.2 Feilmåling fra kanal 2 under småskalaforsøk 1

Som nevnt tidligere ble det boret hull der termoelementene plasseres. Termoelementene ble dyttet inn i hullet, men det ble ikke gjennomført tiltak for å sikre at termoelementene holdt posisjonen sin utover forsøket. Som forventet viser temperaturmålinger i starten av forsøket høyere temperatur ved lavere dybder, men en stund ut i forsøket viste målingene høyere temperatur hos kanal 4 (dybde på 3 cm), enn hos kanal 2 (dybde på 2 cm). Etter forsøket avsluttes, undersøkes det om noen av termoelementene kan ha endret posisjon. Det avdekkes da at kanal 2 har sklidd litt tilbake, når det dyttes på plass igjen øker temperaturen straks, slik at kanal 2 viser høyere temperatur enn kanal 4. Ettersom at temperaturen til kanal 3 og 4 ikke hadde startet å synke da vi kontrollerte termoelementenes posisjon, kan det antas at dette også gjelder for kanal 2. Slik at temperaturen målt i slutten av forsøket var den høyeste temperaturen for kanal 2.

9.2.3 Redusert tilførsel av propan under småskalaforsøk 2

Under småskalaforsøk 2 ble tilførsel av propan fra gassbrenneren redusert. Selv om flaskeventilen ble skrudd helt opp, økte ikke propantilførselen. Som følge av dette startet temperaturen på eksponert side å synke. Grunnen til dette var trykkfall i gassflasken.

Trykkfallet kommer av at propanet i flasken går fra væskefase over til gassfase. Faseovergangen krever mye energi, og energien tas fra væskefasen i form av varme, dermed kjøles væsken ned og trykket faller.

For å øke trykket var det nødvendig å varme opp flasken, dette ble løst ved å sette propanflasken i en plastkasse fylt med varmt vann.

9.2.4 Propantanken gikk tom for gass under småskalaforsøk 2

1 time og 8 minutter ut i forsøket begynte man å se tegn til at propantanken var i ferd med å gå tom for gass. Trykket i tanken startet å synke, slik at mengden gass den leverte redusertes, som førte til lavere intensitet på flammen. Temperaturen startet å synke, og det ble derfor vurdert at det ikke var noe hensikt i å fortsette forsøket.

9.2.5 Justere flammens intensitet

For å regulere flammens intensitet måtte man justere på ventilen til propantanken. Dette utførtes manuelt, slik at det er vanskelig å følge en predefinert tid/temperaturkurve med nøyaktighet. Hyppige justeringer var nødvendig under forsøkene for hindre temperaturfall, noe som førte til mange små «hopp» i temperatur.

9.2.6 For høy temperatur på småskalaforsøkene

Under småskalaforsøkene var det tiltenkt at temperaturen skulle følge standard temperatur/tid-kurve, men svikt i forsøksprosedyren førte til for høy temperatur. Fra figur 30 og 35 ser man at temperaturen fulgte hydrokarbon-kurven med noe avvik.

Sannsynligheten for at en hydrokarbonbrann oppstår i de omgivelser veggelementene er tenkt å brukes, anses som liten. På tross av at hydrokarbon-kurven har mindre relevans for rapporten sammenlignet med standard temperatur/tid-kurve, vil resultater fra småskala forsøk kunne brukes. Det kan trekkes frem at prøvestykket tålte temperaturbelastninger høyere enn hva man realistisk kan forvente innen bruksområde materialet er beregnet for. Ut ifra dette kan man med stor grad av sikkerhet si at ueksponert side av prøvestykket ikke ville nådd temperaturer for spontanantennelse av plast ved å følge standard temperatur/tid-kurve.

10 Videre arbeid

- Gjennomføre forsøk etter Europeisk standard.
- Teste vegg med vindu/dør.
- Se skadeomfang ved innvendig brann i denne type boliger - Spredningspotensial.
- Teste hva som skjer ved antennelse av plastisolasjonen i veggen.

11 Konklusjon

Formålet med oppgaven er å kartlegge i hvilken grad en bolig oppbygd av «sandwichelementer» bestående av polybetong og plastavfall, vil bidra til brannspredning i tettbygd strøk. Ettersom de standardiserte testmetodene ikke passet for denne typen fullskala forsøk, måtte det utarbeides en egen metode. Metoden som ble brukt ga ikke stor nok temperaturpåkjenning på veggen i forhold til utvendig brannkurve. Det er flere ukontrollerbare faktorer ved gjennomføring av forsøk utendørs, noe som gjorde det vanskelig å utarbeide en metode som enkelt kan gjenskapes. For å få til et forsøk som kan gi et bedre grunnlag til å bestemme egenskapene ved brann, bør forsøket gjennomføres under kontrollerte forhold etter en mer etablert metode.

Som en del av fullskalaforsøket var det planlagt å undersøke hvordan armeringsdragere og plastisolasjonen påvirkes når veggen utsettes for varme. For å gjøre dette var det nødvendig å bore hull i veggen for å plassere termoelementer på innsiden. Et slikt inngrep ville svekket veggens integritet, noe som kunne kompromittert resultater fra de andre målingene. På grunnlag av dette ble det bestemt å ikke utføre temperaturmålinger inni veggen. Som alternativ løsning ble det gjennomført 2 småskalaforsøk for å se hvilke temperaturer som kan oppstå på kald side ved overdekning av forskjellige tykkelser.

Ettersom forsøkene ikke ble gjennomført etter en standard, vil resultatenes validitet være begrenset. Det er dermed liten mulighet for å trekke noen konkrete slutninger rundt oppgavens problemstillinger. Det vil derimot være mulig å trekke frem deler av resultatene for å diskutere veggelementets brannegenskaper, samt underbygge det med resultater fra forsøket som ble gjennomført i Kina, som samfaller i særdeleshet med europeiske kriterier.

En sentral del av oppgaven går ut på å undersøke i hvilken grad en vegg av polybetong vil bidra til brann i tettbygd strøk. Resultater fra forsøkene viser at polybetong er svært vanskelig å antenne, samt at materialet har gode isolasjonsegenskaper og opprettholder sin integritet over lang tid ved varmpåkjenning, dette kommer også tydelig fram i rapporten fra Kina. Fra fullskalaforsøket oppsto det ingen temperaturøkning på ueksponert side av veggen, det forekom heller ikke dannelse av sprekker som kan føre varme inn til plastkassetene. Ved småskalaforsøk 2 ble prøvestykket eksponert for temperaturer tilsvarende en hydrokarbonbrann i 65 minutter, noe som er høyere enn det en kan forvente innenfor bruksområdet til disse materialene. Prøvestykket hadde en tykkelse på 5 cm, der det forekom en temperaturøkning i underkant av 100 °C på ueksponert side, dette er langt lavere enn nødvendig temperatur for antennelse av PET-plast.

På bakgrunn av resultatene vil det være rimelig å anta at en overdekning på 5 cm vil gi svært begrensede muligheter for brannspredning, på tross av lave innbyrdes avstander. Det anses dermed som lite sannsynlig at brann vil spre seg fra startbranncelle til omkringliggende hus, med mindre det har forekommet feil under konstruksjonsprosessen av veggen, slik at varme kan trenge inn til plastkassetene.

Med overdekninger mindre enn 5 cm er det mer uklart hvordan veggen vil tåle brann. Resultater fra småskala forsøk 1 viser relativt høye temperaturmålinger, spesielt da ved dybdene 2 og 3 cm, som målt til 280 og 217 °C etter 30 minutter. Temperaturpåkjenningene vil i realiteten være lavere enn det de var i småskalaforsøkene. Ytterligere analyse er nødvendig for å si noe om platen vil bidra i brann.

12 Referanser

- [1] «Kollegiet for brannfaglig terminologi,» [Internett]. Available: <http://kbt.no/faguttrykk.asp>. [Funnet 09 04 2021].
- [2] J. V. Thue, «varmegjennomgangskoeffisient,» *Stor norske leksikon*, 27 juli 2019.
- [3] H. S. Halvorsen, «Verifikasjon og dokumentasjon av branntekniske krav i teknisk forskrift ved bruk av trekonstruksjoner i fleretasjers bygninger,» Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, 7491, Trondheim, 2014.
- [4] Rockwool Group, «Rockwool,» Rockwool Group, [Internett]. Available: <https://www.rockwool.no/verdt-a-vite/brannsikkerhet-inneklima/brannsikkerhet/brannteori/#:~:text=den%20d%C3%B8ut.-,Brannforl%C3%B8p,full%20utviklet%20brann%20og%20utbrenningsfasen..> [Funnet 20 Mai 2021].
- [5] B. C. Hagen, *Grunnleggende brannteknikk*, 2. red., Haugesund: Bjarne Christian Hagen, 2014.
- [6] B. Karlsson og J. G. Quintiere, *Enclosure fire dynamics*, CRC Press, 2000.
- [7] Vartdal Plast, «Vartdal plast,» Vartdal plast, 2021. [Internett]. Available: <https://vartdalplast.no/no/produkter/Styropor%20EPS>. [Funnet April 2021].
- [8] J. P. Stensaas, «KLASSIFISERING AV RISIKOEN FOR BRANNSPREDNING MELLOM HUS I TETTBYGDE OMRÅDER,» Sintef, 7034 Trondheim, 1997.
- [9] Sintef, «Bruk av brennbar isolasjon i bygninger,» *Byggforskserien*, April 2021.
- [10] A. S. Hansen, N. K. Reitan og E. Andersson, «Plast i byggevarer og brannsikkerhet,» Sintef NBL as, 2013.
- [11] Ivar Holte AS, «Ivar Holte AS,» 2020. [Internett]. Available: <https://www.ivar-holte.no/materialguide.html>. [Funnet 27 April 2021].
- [12] U.S. Department of Transportation, «Polymer Flammability,» U.S. Department of Transportation, 2005.
- [13] Byggforskserien, «Varmeisolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper,» *Byggforskserien*, 2020.
- [14] M. Zhang, X. Liu, Z. Chen, J. Wang og W. Song, «Experimental study of the heat flux effect on combustion characteristics of commonly exterior thermal insulation materials,» *Sciencedirect*, 2014.
- [15] British Plastics Federation EPS Group, «Fire safety briefing - EPS insulation,» PR Principles Ltd, Nottingham, England.

- [16] G. Glasø, «Fokus på tre,» Treteknisk, 0314, Oslo, 2012.
- [17] L. M. Q. Y. S. H. H. F. Chao Li, «Effects of viscosity modifying admixture (VMA) on workability and,» *Construction and building materials*, pp. 342-350, 30 April 2018.
- [18] N. S. Bunkholt, «Triple Panel Buildings – veggelement og dekkeelement,» Sintef, Trondheim, 2020, "upublisert".
- [19] K. Brørs, «Bygg og anleggsteknikk,» Nasjonal digital læringsarena, 08 januar 2019. [Internett]. Available: <https://ndla.no/nb/subject:11/topic:eaf487bb-a2ad-4725-8e57-fd709dd4cade/topic:1:158640/resource:1:141146?filters=urn:filter:0d67724e-d9fa-4365-9839-4cc91c012855>. [Funnet 28 April 2021].
- [20] National center for quality supervision and test of building engineering, «Test report,» National center for quality supervision and test of building engineering, 2018, "upublisert".
- [21] SINTEF, «Brannteknisk klassifisering og dokumentasjon av bygningsdeler og byggeprodukter,» *Byggforskserien*, september 2017.
- [22] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK 17) med veiledning».
- [23] SINTEF, «Brannmotstand for vegger av tre, mur og betong,» *Byggforskserien*, Februar 2021.
- [24] Hallingdal Betong AS, «Polybetong,» Hallingdal Betong AS.
- [25] U. Wickström, J. Sjoström og J. Anderson, «Measuring Incident Heat Flux and Adiabatic Surface Temperature with Plate Thermometers in Ambient and High Temperatures,» *ResearchGate*, April 2017.
- [26] A. B. Røssheim, «Brannsikring av fleretasjes trebygg ved bruk av aktive tiltak,» NTNU, 7491 Trondheim, 2015.
- [27] U. Wickström, *Temperature Calculation in Fire Safety Engineering*, Cham: Springer International Publishing AG, 2016.

Vedlegg A- Forsøksplan, fullskalaforsøk

Utstyr

- 16 termoelementer
- 4 platetermoelementer
- Vindmåler (Testo 405-V1)
- Fuktmåler (Extech RH390)
- Paller av tre (60?)
- Verneutstyr
- Strålerør
- Slinger
- Stender
- Kumlokkspett
- Kamera
- Datalogger (keysight 34972A LXI Data Acquisition/Switch Unit)

Forberedelse

Melde fra til brannvesenet om ild utendørs.
Hente og plassere ut paller.
Plassere og koble opp termoelementer
Beskytte gjerde og solcellepanel fra varmekjøling
Plassering av kamera
Gjøre klart sløkkeutstyr

Gjennomføring/metode

Paller plasseres 1,2 i høyden og 2,5 i bredden, med langsiden mot veggen. Pallene plasseres 1 meter fra veggen.
Det plasseres 2 termoelementer i brenselet, 9 termoelementer på vegg kald side, 1 termoelement inne i huset, 4 termoelement på vegg varm side og 4 platetermoelement på vegg varm side.
Under forsøket vil det bli utført målinger av flammetemperatur, samt romtemperatur og temperatur på varm/kald side av veggen.
Det vil også bli utført målinger av omgivelsestemperatur, vindhastighet og luftfuktighet.

Akseptkriterier

- Veggens integritet regnes som brutt dersom overdekning ikke lenger opprettholder den funksjon å hindre antennelse av brennbart materiale inne i veggen. Dette kan f.eks. forekomme ved avskallinger store nok til at brennbar isolasjon gjøres tilgjengelig for brannen.
- Plastisolasjon skal ikke gi noe bidrag til brannen.
- Temperatur på innsiden av veggen skal ikke overstige en temperaturforskjell på 140 °C i gjennomsnitt og 180 °C i et punkt. Krav til temperaturer er satt i henhold til standardverdier oppgitt i europeisk regelverk, ISO 834 og NS-EN 1363-1.

Sentrale hendelser

Testskjema			
Ved start			
Vind	Temperatur		Luftfuktighet
Under forsøk			
Temperatur			Tid
Flamme	Vegg varm side	Vegg kald side	
Avskalling/sprekk 1			
Avskalling/sprekk 2			
Røykproduksjon fra vegg			
Vegg antennes			
Forsøk avsluttet			

Sjekkliste	
Kamera på	
Termoelement	
Slukkeutstyr	
Datalogger	
Verneutstyr	
Vindmåler	
Fuktmåler	

Vedlegg B – Forsøksplan, småskalaforsøk

Utstyr

- 4 termoelementer
- Verneutstyr
- Kamera
- Gassbrenner
- Datalogger (keysight 34972A LXI Data Acquisition/Switch Unit)

Forberedelse

Dele polybetongen i ulike tykkelse
Bygge stativ til prøvestykket
Plassere og koble opp termoelementer
Kalibrere gassbrenner
Plassering av kamera

Gjennomføring/metode

Under forsøket vil det bli utført målinger av flammetemperatur, samt romtemperatur og temperatur på varm/kald side av veggen.

Akseptkriterier

Test 1 avsluttes etter 30 minutter, eller til synlige flammer observeres på kald side. Varigheten på test 1 er satt med tanke på krav angående tid til rømning og redningsinnsats.

Ved test 2 er det ønskelig å undersøke om polybetongen vil oppleve et integritetsbrudd ved varmpåkjenning over lenger tid. Test 2 avsluttes derfor etter 2 timer, eller til synlige flammer kan observeres på kald side av prøvestykket.

Sjekkliste	
Kamera på	
Termoelement	
Slukkeutstyr	
Datalogger	
Verneutstyr	

Vedlegg C - Stråling

$$h_{pt} = 76.0 \cdot T_f^{-0.66} \cdot |T_g - T_{air}|^{\frac{1}{3}}$$

$$T_f = \frac{(T_{PT} + T_g + 273 \cdot 2)}{2}$$

$$h_{pt} = 76.0 \cdot \left[\frac{(T_{PT} + T_g + 273 \cdot 2)}{2} \right]^{-0.66} \cdot |T_g - T_{air}|^{\frac{1}{3}}$$

$$\dot{q}_{inc}'' = \sigma \cdot T_{PT}^4 - \frac{1}{\varepsilon_{PT}} \cdot \left[(h_{PT} + K) \cdot (T_g - T_{PT}) - C \cdot \frac{dT_{PT}}{dt} \right]$$

$$\dot{q}_{inc}'' = \sigma \cdot T_{PT}^4 - \frac{1}{\varepsilon_{PT}} \cdot [h_{PT} \cdot (T_g - T_{PT})]$$

$$\dot{q}_{inc}'' = \text{Innfallende varmestråling} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$$

$$h_{PT} = \text{Varmeovergangskoeffisient til platetermometeret} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

T_f = Gjennomsnittstemperatur mellom T_{PT} og T_g [K eller °C]

$$\sigma = \text{Stefan - Boltzmann's konstant } (5.67 \cdot 10^{-8}) \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$$

ε_{PT} = Emisivitet til platetermometeret [-]

K = Proporsjonal konstanten for konduksjonstap

T_g = Temperatur gass [K eller °C]

T_{PT} = Temperatur platetermometer [K eller °C]

C = Varmekapasitet til platetermometeret [-]

T = Temperatur [K eller °C]

t = tid [s]

Proporsjonal konstanten for konduksjonstap (K) kan ignoreres ettersom den vil være veldig liten for et godt isolert platetermometer. Varmekapasitet til platetermometeret (C) vil også i de fleste tilfeller være liten og kan ses bort ifra. [25]