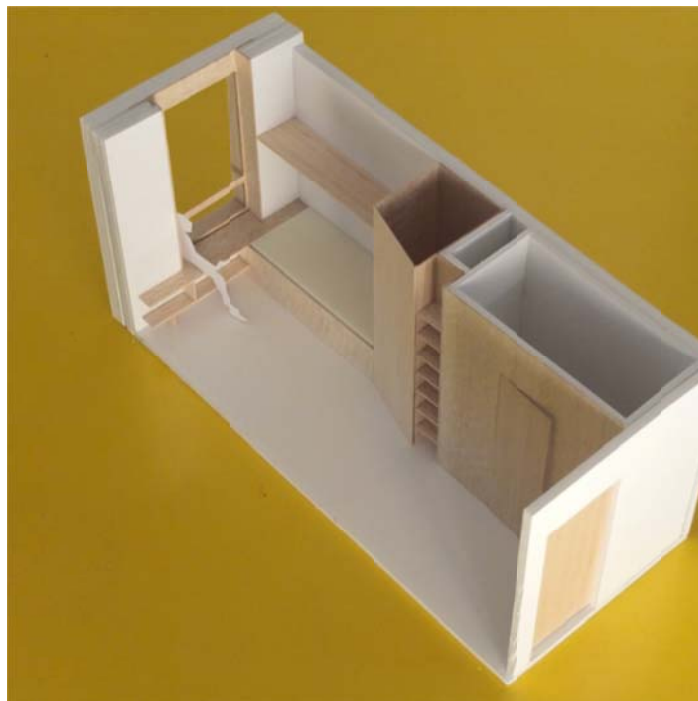




Forsidebilde 1: Studenttårn med 9 etasjer.

Forsidebilde 2: Oversikt over tenkt innredning i hybel.

Oppdragsgiver: Studentsamskipnaden i Trondheim (SIT)

Branntest av massivtre

VERSJON 1		DATO 2015-03-18		NØKKELOORD: Massivtre Sprinkler
FORFATTER Kristian Hox				
OPPDRAGSGIVER Studentsamskipnaden i Trondheim (SIT)		OPPDRAGSGIVERS REF. Bård Kåre Flem		
PROSJEKTNR. 20081		ANTALLSIDER OG VEDLEGG: 30 inkludert 1 vedlegg		
SAMMENDRAG Denne rapporten presenterer resultatene fra 2 tester gjennomført på en hybel med tilliggende korridor på oppdrag fra Studentsamskipnaden i Trondheim. Hybelen og korridoren er i utgangspunktet sprinklet. Den første testen er gjennomført med sprinkleranlegget aktivt, mens den andre testen er gjennomført med deaktivert sprinkler i hybelen for å se innbrenningen i en ubeskyttet massivtrevegg og en massivtrevegg beskyttet med gips og isolasjon. Testen med hele sprinkleranlegget aktivt viser at dette klarer å kontrollere og minimere brannen i startbranncellen (hybelen). Testen gjennomført med deaktivert sprinkler i hybelen viser at brannen fort går til overtenning og at den sprer seg ut i korridoren på tross av at sprinkleranlegget aktiveres der, som brann i overflater. Videre ser man at massivtreet isolerer godt fram til innbrenningen er fullstendig. I forsøkene ble det benyttet vegger og tak/himling bestående av 100 mm massivtre. Tid til gjennombrenning i tak og vegger i startbranncella var ca. 70 minutter (målt på den ubeskyttede veggen, nærmest vindusveggen).				
UTARBEIDET AV Kristian Hox		SIGNATUR		
KONTROLLERT AV Ragnar Wighus		SIGNATUR		
GODKJENT AV Are W. Brandt		SIGNATUR		
RAPPORTNR. SPFR A15101	ISBN 978-82-14-00134-1	GRADERING Åpen	GRADERING DENNE SIDE Åpen	

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1	18.03.2015	Første versjon

Innholdsfortegnelse

Innholdsfortegnelse	3
1 Innledning	4
1.1 Oppsummering	4
1.2 Mål	4
2 Forutsetninger og testbeskrivelse	5
2.1 Forutsetninger	5
2.2 Store forsøkshall ved SP Fire Research	6
2.3 Testoppsett	7
2.4 Brensel	11
2.5 Sprinkleranlegg	12
2.6 Røykvarslere	13
2.7 Måling og instrumentering	13
2.7.1 Temperatur	13
2.7.2 Vanntrykk	14
2.7.3 Bilder og video	15
3 Testprosedyre	15
3.1 Test 1 – med aktivert sprinkler i hybelen	15
3.1.1 Avvik	15
3.1.2 Gjennomføring	15
3.2 Test 2 – med deaktivert sprinkler i hybelen	15
3.2.1 Gjennomføring	15
4 Resultater	15
4.1 Test 1 – med aktivert sprinkler i hybelen	15
4.2 Test 2 – med deaktivert sprinkler i hybelen	16
4.2.1 Innbrenning	22
5 Diskusjon	23
5.1 Test 1 – med aktivert sprinkler i hybelen	23
5.1.1 Sprinkleranleggets slokkeegenskaper	23
5.2 Test 2 – med deaktivert sprinkler i hybelen	23
5.2.1 Termoelement	23
5.2.2 Innbrenningshastighet	23
5.2.3 Brannforløpets varighet og spredning	24
5.2.4 Brannenergi	25
5.3 Sammenlikning test 1 og 2	25
6 Konklusjon	26
6.1 Test 1 – Med aktivert sprinkler i hybelen	26
6.2 Test 2 – Med deaktivert sprinkler i hybelen	26
7 Forslag til videre arbeid	26
8 Referanser	27
A Bilder	28

1 Innledning

1.1 Oppsummering

Studentsamskipnaden i Trondheim (SIT) er utbygger for prosjektet Moholt 50/50. Prosjektet består blant annet av 632 hybelenheter fordelt på fem studenttårn i 9 etasjer. Bygningene er planlagt bygget med bærende og avstivende vegger i massivtre. For å få en bedre kunnskap om konsekvensene av en brann i slike bygninger har SP Fire Research på oppdrag fra SIT gjennomført to fullskala branntester av én hybelenhet. Hybelenheten ble bygd opp og instrumentert med tanke på å gjennomføre en mest mulig realistisk, repeterbar og reproducerbar test.

Det ble totalt gjennomført to branntester,

- Test 1; med hele sprinkleranlegget aktivt i korridor og hybel
- Test 2; med deaktivert sprinkler i hybelen

Testene ble bevitnet av representanter tilhørende SIT og Rambøll Norge AS (brannrådgiver i prosjektet). Testene ble gjennomført 12. og 17. desember 2014.

1.2 Mål

Hovedmålet med forsøkene var å få større kjennskap til et fullstendig brannforløp i massivtrebygg.

Test 1 hadde som mål å undersøke om sprinkleranlegg ville kontrollere et brannscenario med rask brannvekst. Delmål var å verifisere tid til aktivering av røykvarsler og sprinkleranlegg, både i hybelenheten og i korridor.

Test 2 hadde som mål å undersøke et fullstendig brannforløp og registrere følgende nøkkelparametere:

- Forkullingshastighet gjennom hele brannforløpet på ubeskyttede og beskyttede massivtreelementer.
- Brannforløpets varighet.
- Temperaturforløp inkludert tid til glassene i vinduet sprekker og tid til overtenning.
- Brannsmitte ut av startbranncellen.

2 Forutsetninger og testbeskrivelse

2.1 Forutsetninger

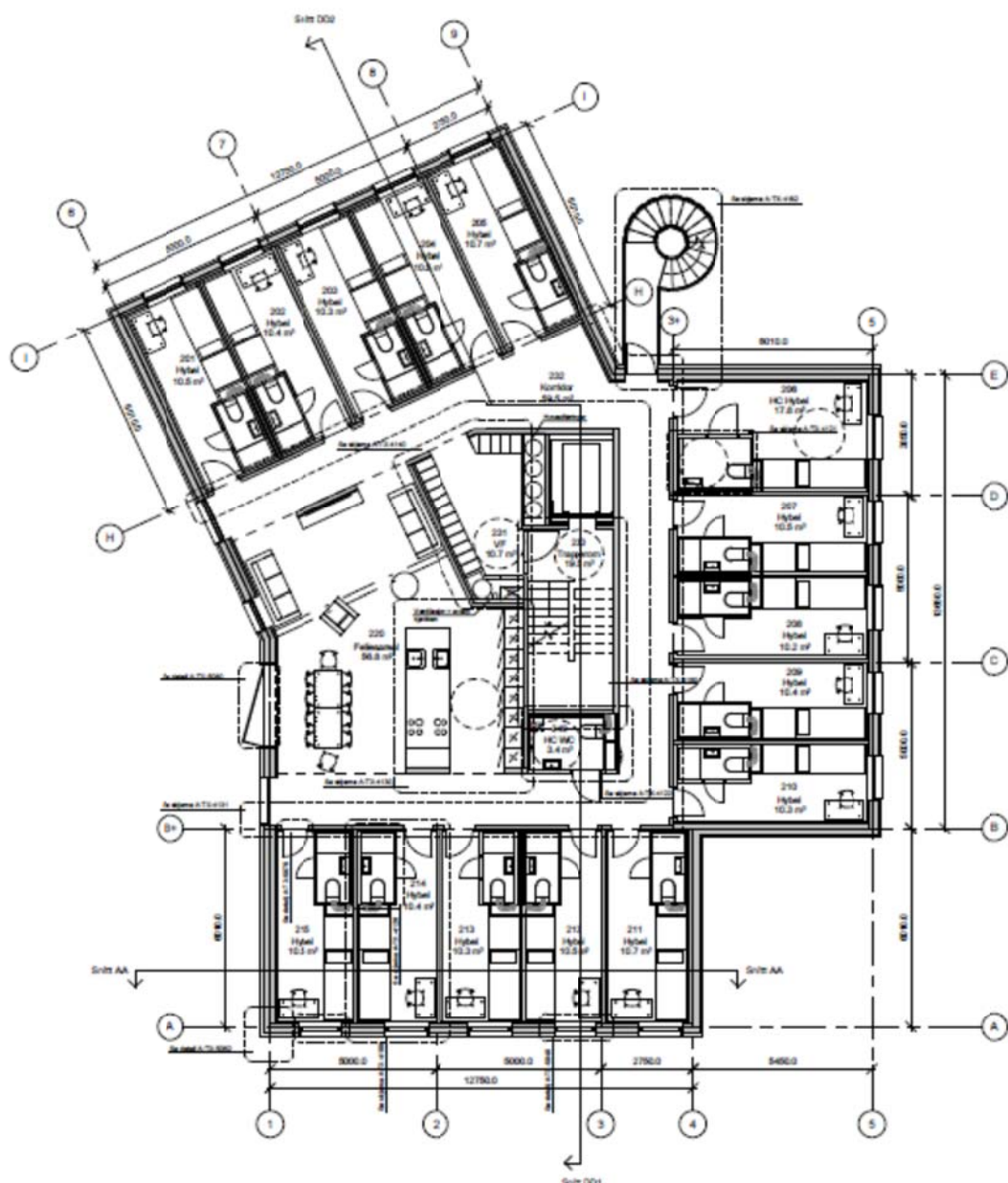
Testoppsettet er basert på de forutsetninger som gjelder for prosjektet Moholt 50/50. Testresultatene kan derfor ikke anses å være allmenngyldige. Oppbygging og valg av aktive og passive sikringstiltak for testene er gjort på bakgrunn av de retningslinjer som er gitt i brannteknisk konsept og tilhørende risikoanalyse utarbeidet av Rambøll Norge AS. Det er valgt å gjennomføre branntestene uten at massivtrekonstruksjonene er påført nyttelast, eller egenlast fra overliggende etasjeplan.

Hovedføringer for det branntekniske konseptet er følgende (Fra Rambøll Norge AS sin analyse):

Bygningene har 9 etasjer og defineres i brannklasse 3 og risikoklasse 4. Hybelenhetene deler stue og kjøkkenområde.

Valg av brannscenarier i risikoanalyser følger av NS 3901:2012 Krav til risikovurdering av brann i byggverk.

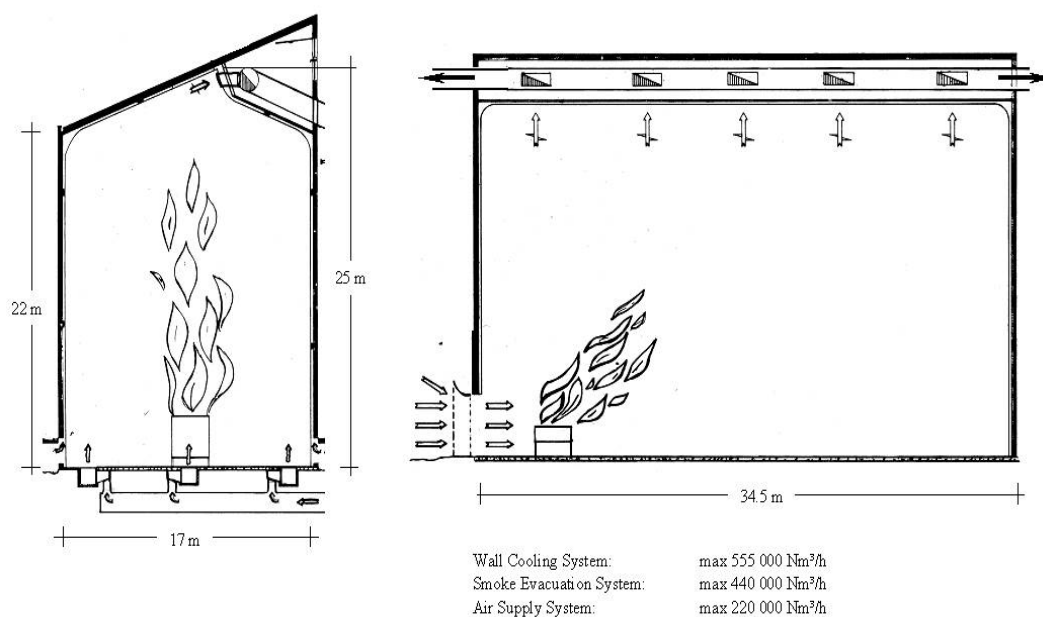
Dette er utgangspunktet for oppsettet av branntestene. Det er troverdig at en brann kan starte i én av hybelenhetene. Der er også den variable brannenergien (inventar og personlig utstyr) høyest. En hybelenhet er et forholdsvis lite rom som raskt kan gå til overtenning.



Figur 2.1 Plantegning over en typisk etasje i studenttårnene. En etasje består av et bokollektiv med 15 hybler og felles kjøkken og stue.

2.2 Store forsøkshall ved SP Fire Research

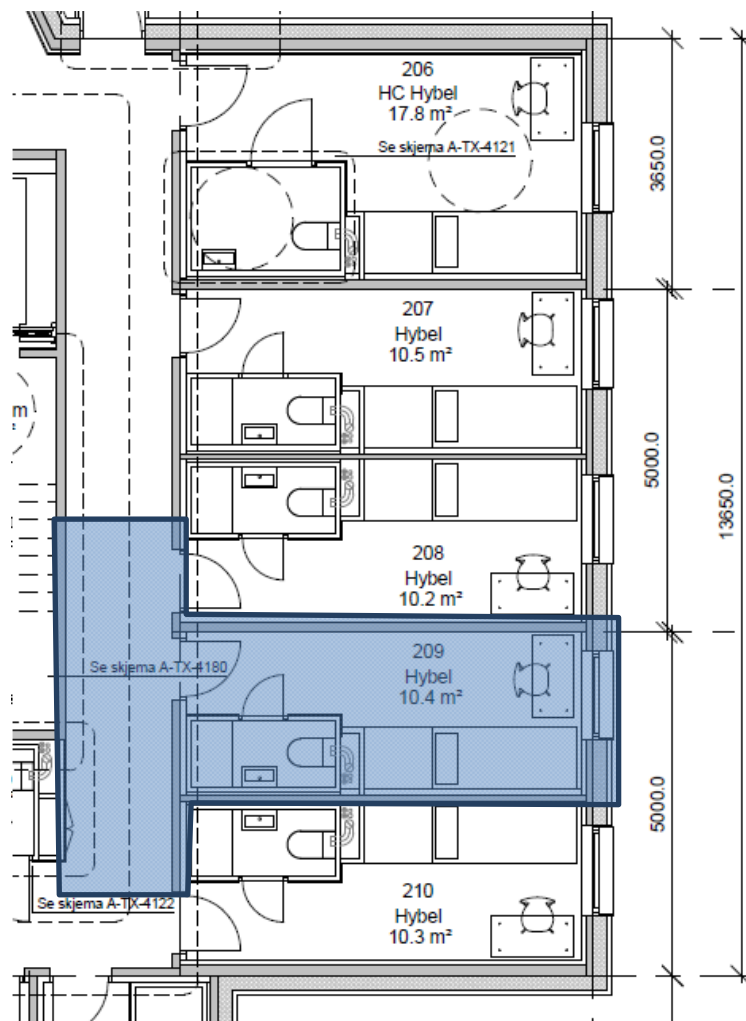
Testene ble gjennomført inne i store forsøkshall ved SP Fire Research, Trondheim. Hallen er utstyrt med et ventilasjonssystem med tilluft gjennom kanaler i gulvet og utlufting gjennom vifter i taket. Testene ble gjennomført med ventilasjonssystemet avstengt i de ti første minuttene. Ventilasjonssystemet ble deretter aktivert for å bedre sikten i testhallen. Da ventilasjonen ble aktivert var brannen inne i hybelen fullt utviklet, og ventilasjonen i hallen hadde ingen innvirkning på forsøksresultatet. En skematisk oversikt over hallen er presentert i Figur 2.2.



Figur 2.2 Oversikt over dimensjoner og ventilasjon for store forsøkshall ved SP Fire Research.

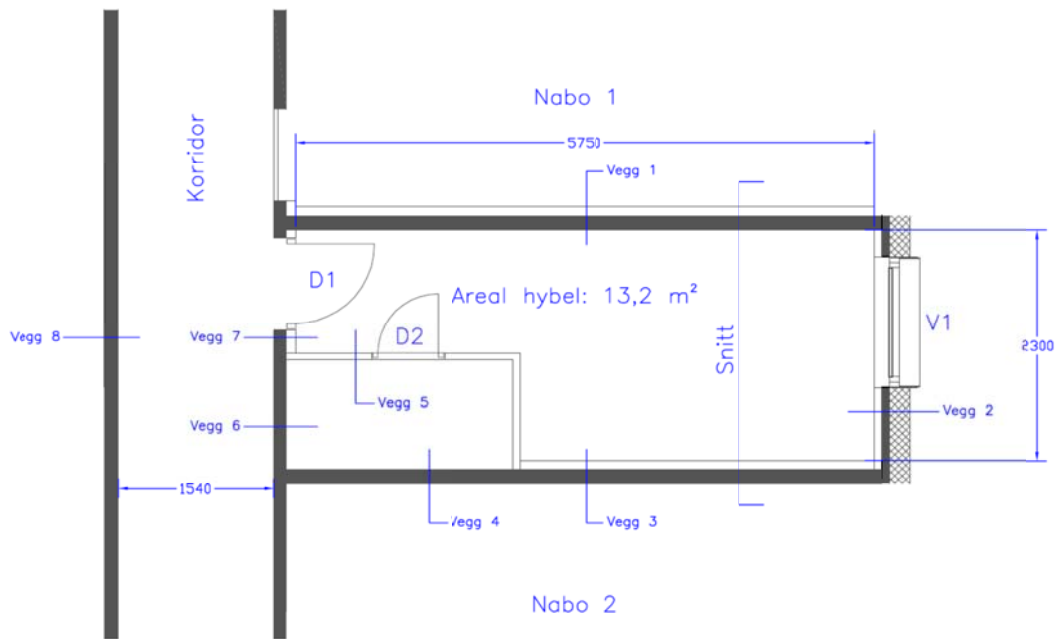
2.3 Testoppsett

Testoppsettet bestod av en kopi av en hybel med tilleggende korridor utenfor. Korridoren var i utgangspunktet 5 meter lang i massivtre, men ble påbygd videre i gips slik at den totale lengden ble 7,5 m med lik avstand til hver side fra dør inn til hybelen. Oversikt over det som ble bygd i massivtre er uthevet på etasjetegningen i Figur 2.3. Alt massivtreet var 100 mm tykt og var delt inn i fem lameller på hver seg 20 mm som lå krysset for hvert lag. Takhøyden i hybelen og korridoren var 280 cm. I korridoren var himlingen nedsenket til 220 cm.

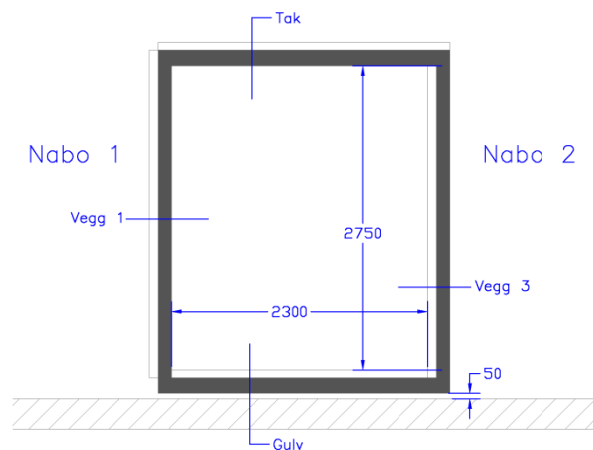


Figur 2.3 Utsnitt av typisk etasje i Moholt 50/50. Hybelen som ble bygget er skravert på tegningen.

Plantegning og snittegning av korridoren som navngir de ulike veggene fins i Figur 2.4 og Figur 2.5. En beskrivelse hvordan hver enkelt vegg, gulv og tak var bygd opp følger nedenfor. Oppbyggingen angis alltid fra innsiden mot utsiden av den hybelen som er testet.



Figur 2.4 Plantegning som viser mål på korridor og hybelenheten som ble testet. Døråpningen mellom nabo 1 og korridor var tettet med gipsplater.



Figur 2.5 Snittegning gjennom hybelenheten som ble testet. Massivtregulvet var hevet 5 cm opp fra betonggulvet i testhallen.

- Vegg 1 - Langvegg mot nabo 1
- 100 mm massivtre (5x20 mm lameller)
 - 10 mm hulrom
 - 50 mm steinull mellom 75 mm stålstendere
 - 13 mm standardgips
 - 15 mm branngips

- Vegg 2 - Yttervegg
- 13 mm standardgips
 - 100 mm massivtre (5x20 mm lameller)
 - 200 mm steinull
 - Kledning er ikke tatt med

Vegg 3 Langvegg mot nabo 2

- 15 mm branngips
- 13 mm standardgips
- 50 mm steinull mellom 75 mm stålstendere
- 10 mm hulrom
- 100 mm massivtre (5x20 mm lameller)

Vegg 4 Vegg mellom baderom og nabo 2

- 100 mm massivtre (5x20 mm lameller)

Vegg 5 Vegg mellom baderom og hybel

- 13 mm standardgips på en side av 75 mm stålstendere

Vegg 6 Vegg mellom baderom og korridor

- 100 mm massivtre (5x20 mm lameller)

Vegg 7 Vegg mellom hybel og korridor

- 13 mm standardgips
- 100 mm massivtre (5x20 mm lameller)

Vegg 8 Vegg i korridor

- 100 mm massivtre (5x20 mm lameller)

Gulv i hybel og korridor

- Linoleum
- 40 mm påstøp A-plan
- 30 mm trinnlydplate
- 100 mm massivtre (5x20 mm lameller)

Underkant gulv var hevet ca. 5 cm opp fra betonggulvet i forsøkshallen.

Gulv i baderom

- 30 mm trinnlydplate
- 100 mm massivtre (5x20 mm lameller)

Gulvet i baderommet manglet påstøp som skal være i den endelige hybelenheten

Hele taket (hybel, baderom og korridor, nedenfra og opp)

- 100 mm massivtre (5x20 mm lameller)
- 30 mm trinnlydplate
- 40 mm påstøp A-plan

Korridor

- A-himling festet med bæreskiner langs vegg og på tvers i korridor.

V1 – Vindu

1,2 x 1,6 m brystning 1,13 m

3 lags glass

D1 – Dør til korridor

0,9 x 2,0 m

40 dB

EI30 S_a (satt i åpen stilling med kile på begge testene)

D2 – Dør til baderom

Standard innerdør

0,8 x 2,0 m

Lukket ved begge testene

Produktinformasjon

Isolasjon innvendig:	Rockwool Stålstenderplate 50mm
Isolasjon utvendig:	Rockwool 200 mm
Stendere:	Alle vegger var bygget med 75 mm stålstendere cc 450 mm.
Gips:	Alle vegger er bygget med 900 mm brede gipsplater fra Gyproc
Trinnlydplater:	Paroc Trinnlydplate 30 mm

Det ble ikke påsatt kledning utenpå isolasjonen på utsiden da det ble antatt ikke ha noen innvirkning på brannen inne i hybelen. Ventilasjonsskanaler, sjakter eller andre gjennomføringer i vegger, tak og gulv ble utelatt fra modellen brukt i forsøket da dette ville ha ubetydelig innvirkning på brannforløpet inne i hybelen. Flere bilder av oppsettet finnes i vedlegg A.

2.4 Brensel

Rambøll Norge AS beregnet typisk brannlast i en hybelenhet inkludert fast og variabelt inventar (eksklusiv bidraget fra massivtreveggene/-taket) til å være 8735 MJ. Denne beregningen fins i notatet *Estimert karakteristisk brannbelastning i studenthybel* fra Rambøll Norge AS [1]. Dette ble representert på følgende måte i testoppsettet:

Brensel	Brannlast	Antall	Sum brannlast
Skumgummi madrass ¹	170 MJ/stk	4 stk	680 MJ
Pult av tre	17,5 MJ/kg	28,4 kg	497 MJ
Seng av tre	17,5 MJ/kg	23,6 kg	413 MJ
Heptan	30 MJ/L	5 l	150 MJ
Europaller av tre	394 MJ/stk ²	12 stk	4728 MJ
Trekrybber ³	112 MJ/stk	20 stk	2240 MJ
SUM			8708 MJ

En oversikt over hvordan brenselet ble fordelt i hybelen er vist i Figur 2.6 og et bilde av antennesstedet under pulten (arnestedet) er vist i Figur 2.7. Karet med heptan var 0,1 m² med en trekrybbe oppå. Dette gir en brann i tilsvarende størrelse som en papirkurv.

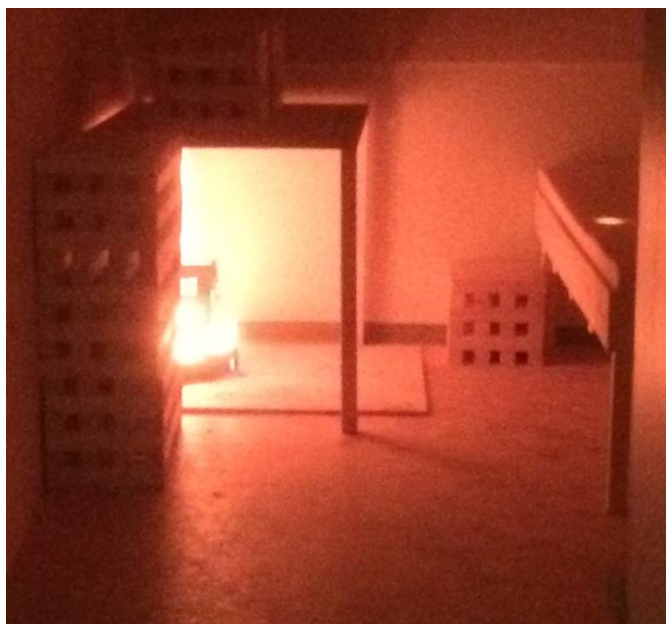
¹ Madrassen var i henhold til spesifikasjonene i IMO Res. 265(84)[2].

² Gjennomsnittlig vekt 22,5 kg/palle og 17,5 MJ/kg.

³ Krybbene var laget tilsvarende de i IMO 1165 og FM 5560 G og en krybbe veide 6,4 kg [3,4].



Figur 2.6 Oversikt over plassering av brensel i testen. Brannen startet under pulten i et kar med heptan med en trekrybbe over.



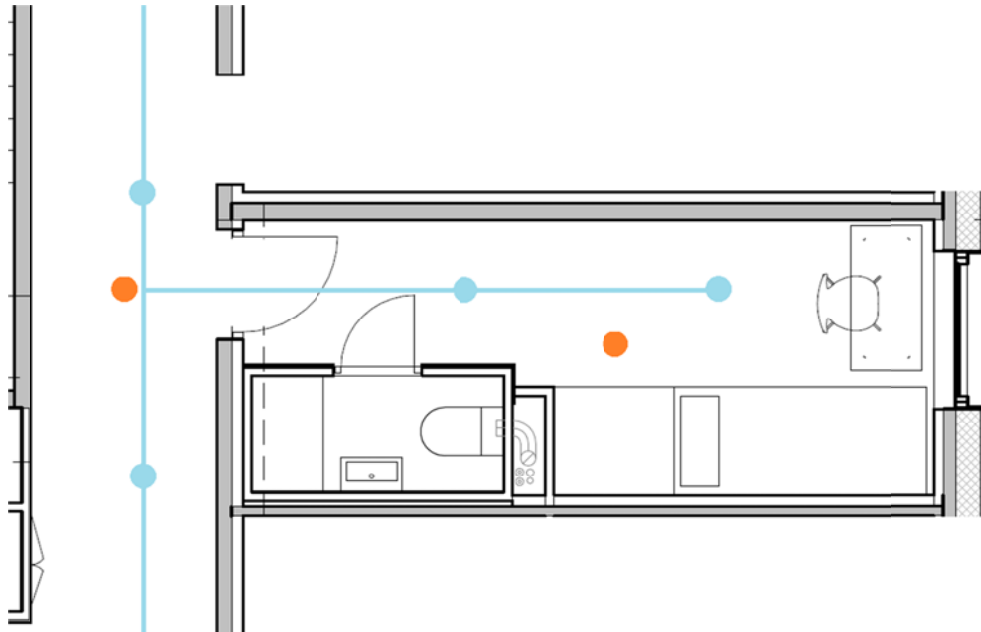
Figur 2.7 Oversikt over brenselet rundt antennesesstedet under pulten, rett etter karet med heptan er tent.

2.5 Sprinkleranlegg

Sprinkleranlegget ble installert i henhold til NS-EN 12485[5] OH1 sprinkler.

Sprinklerhodene var av typen *Viking VK432* $k=5.5$ med en k -faktor på $79 \text{ l/min} \cdot \text{bar}^{\frac{1}{2}}$. Det var installert 2 sprinklerhoder i hybelen, 2 sprinklerhoder i korridoren under himlingen og 2 sprinklerhoder i korridoren i taket over himlingen. Avstanden mellom hodene var 3 meter. Etter NS-EN 12845 avsnitt 13.4.4 skal dysene minimum ha et trykk på 0,35 bar og

dette ble derfor valgt som dysetrykk. Dette gir en vannstrøm på 46,7 l/min og en vanntetthet på 5,2 mm/min om det hadde vært installert i et uniformt grid. Tettheten i hybelen og korridoren blir høyere da hver dyse dekker et mindre areal enn 9 m². En oversikt over plassering av dysene er vist på Figur 2.8.



Figur 2.8 Oversikt over plassering av sprinklerhoder i blått. I korridoren er det sprinklerhoder både over og under himlingen i samme posisjon. Avstanden mellom dysene er 3 m. De oransje merkene viser hvor røykvarslerne var plassert.

2.6 Røykvarslere

Det var installert en optisk røykvarsler av typen Deltronic PHR-1211 i hybelen og en i korridoren som vist på Figur 2.8. Røykvarsleren ble ikke benyttet aktivt til annet enn varslings.

2.7 Måling og instrumentering

2.7.1 Temperatur

Alle termoelement ble logget på SP Fire Researchs loggesystem med en frekvens på 1 Hz.

For å måle gasstemperatur ble det benyttet kapslete termoelement av type K med diameter 0,5 mm. Det ble målt gasstemperatur midt i hybelen 10 cm under taket og helt inntil taket, midt i baderommet 10 cm under taket, over himlingen midt i korridoren rett utenfor dør inn til hybel, 10 cm fra taket og på samme punkt 10 cm under himlingen.

Gasstemperaturen ble målt nær taket i tilsvarende høyde som sprinkleren for å gi en indikasjon på hvilken gasstemperatur denne løste ut på. For å måle gasstemperaturen er tynne kapslete termoelement det beste å benytte. Denne typen termoelement måler temperaturer opp til 1370 °C, men brekker lett ved mekanisk belastning.

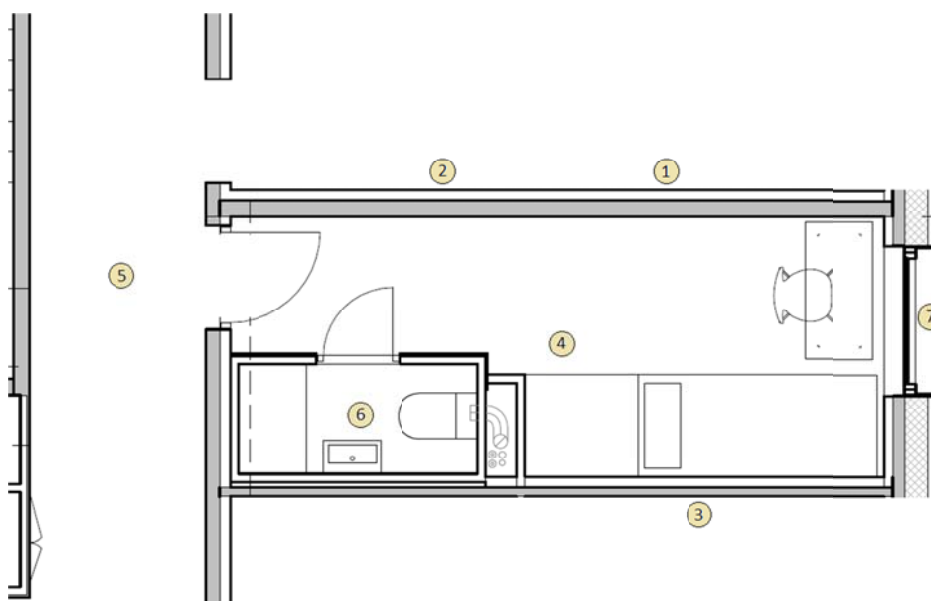
Temperaturen inne i gulv/tak/vegger ble målt med kapslete termoelement av type K med diameter 1,5 mm. Det var en temperaturmåler i gulvet midt i rommet under trinnlydsplatene og på samme posisjon i massivtretaket, men her i tre dybder (2,5 cm, 5,0 cm og 7,5 cm).

På den veggen med gipsplater (vegg 3 på Figur 2.4) som beskyttet massivtreet ble termoelement montert i to dybder inne i massivtreet (2,5 cm og 5 cm) og på overflaten av massivtreet rett bak steinullisolasjonen. På den veggen med ubeskyttet massivtre (vegg 1 på Figur 2.4) ble det målt temperaturer på to steder (1/3 lengde fra hver endevegg). Hvert av stedene hadde ulik høyde (1/3 høyde fra gulv og 1/3 høyde fra tak). Her ble det også målt i tre dybder i massivtreet (2,5 cm, 5,0 cm og 7,5 cm).

I tillegg ble romtemperaturen i hybelen målt med et platetermoelement tilsvarende det som er beskrevet i standarden *NS-EN 1363-1:2012 Prøving av brannmotstand* [6]. Platetermoelement består i utgangspunktet av et termoelement av type K med diameter 1,5 mm montert mellom en stålplate og en isolerende plate. Disse termoelementene er trege i forhold til de som brukes for å måle gasstemperaturen, og måler i større grad strålingen.

Temperaturen på utsiden av vinduet ble målt med et termoelement for *ueksponert side*, beskrevet i *NS-EN 1363-1:2012 Prøving av brannmotstand* [6].

En oversikt over plasseringen til termoelementene fins i Figur 2.9.



Figur 2.9 Oversikt over plassering av termoelement. Posisjon 1 er 1,86 m over gulvet på ubeskyttet vegg, posisjon 2 er 0,93 m over gulvet på ubeskyttet vegg, posisjon 3 er 1,4 m over gulvet på beskyttet vegg, posisjon 4 er midten av rommet der det er plassert termoelement i gulv, tak og gasstemperaturen måles i to høyder, posisjon 5 er der gasstemperaturen måles i korridoren over og under himlingen, posisjon 6 er der gasstemperaturen blir målt på badet og posisjon 7 er der temperaturen blir målt på utsiden av vinduet.

2.7.2 Vanntrykk

Vanntrykket ble avlest manuelt på et manometer rett ved uttaket for vann.

2.7.3 Bilder og video

Bilder og video ble tatt der det var relevant for dokumentasjon av forsøkene.

3 Testprosedyre

3.1 Test 1 – med aktivert sprinkler i hybelen

3.1.1 Avvik

Den ubeskyttede massivtreveggen (vegg 1 på Figur 2.4) ble kledd med finerplater i tilsvarende materialer for å beskytte veggen under test 1 (som forberedelse for test 2). I test 1 med sprinkler er det kun overflatematerialet som deltar i brannen og det antas at dette avviket har marginal betydning for testresultatet. Vinduet ble også beskyttet med en gipsplate under denne testen. Brenselet ble plassert som beskrevet i avsnitt 2.4, men alle trepallene og 10 av trekrybbene som stod lengst unna ble ikke plassert ut da det ble antatt at disse ikke ville bli antent. Dette ble bekreftet med at det kun var brenselet rett rundt pulten (arnestedet) som ble antent i testen. Det ble kun benyttet 1 liter heptan i dette forsøket da det ble antatt at det ville forbrenne mindre enn dette i løpet av hele forsøket.

3.1.2 Gjennomføring

Karet med heptan som er plassert under pulten ble antent samtidig som klokkene ble startet. Testen ble gjennomført med døren mellom hybelen og korridoren åpen. Tiden det gikk før hver enkelt røykvarsler og sprinklerhode løste ut ble notert. Sprinkleranlegget ble skrudd av og resterende brann ble slokket manuelt ved hjelp av brannslange etter at brannen hadde stabilisert seg.

3.2 Test 2 – med deaktivert sprinkler i hybelen

3.2.1 Gjennomføring

Karet med heptan under pulten ble antent på samme måte som i test 1 og klokkene ble startet ved antennelse. Testen ble gjennomført med døren mellom hybelen og korridoren åpen. Tid til utløst detektor, sprinkler i korridoren og andre relevante observasjoner ble registrert. I denne testen var sprinkler deaktivert inne i hybelen. Testen var forutsatt avsluttet når brannen sloknet av seg selv eller veggene var gjennombrudd (sammenbrudd av tak eller vegger).

4 Resultater

4.1 Test 1 – med aktivert sprinkler i hybelen

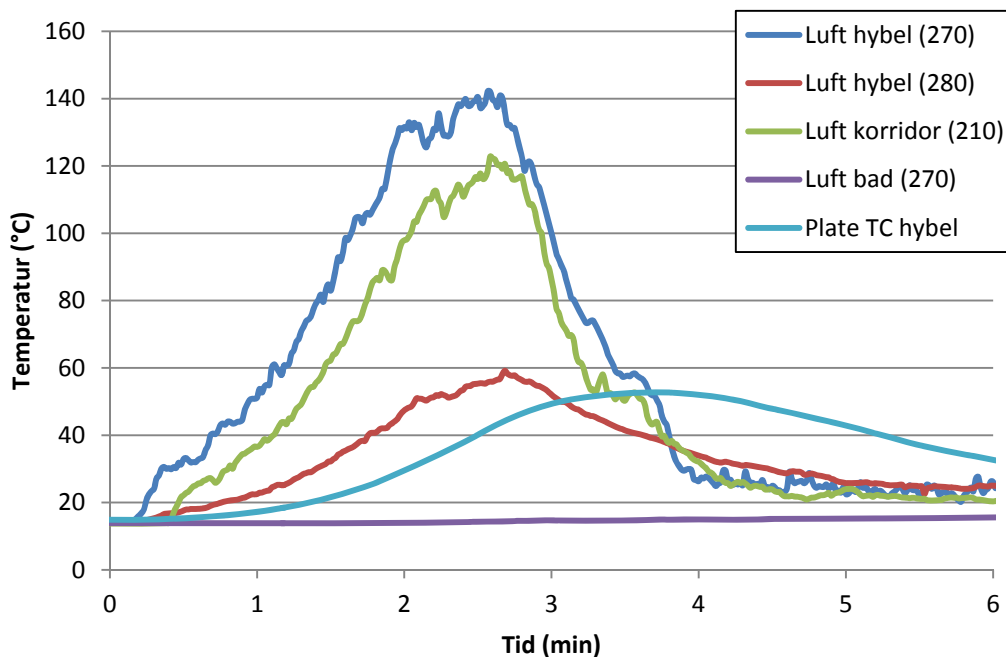
Alle observasjoner og registreringer fra målesensorer under testen (inklusive temperaturene i luften) er oppsummert i Tabell 4.1 og Figur 4.1. Temperaturene som ble målt i gulv, vegg og tak viste ingen endring gjennom testen. Disse resultatene er derfor ikke presentert grafisk.

Det første sprinklerhodet nærmest brannen løser ut etter ca. 2 minutter (1:59). Da var lufttemperaturen i området rundt sprinklerhodet ca. 130 °C. I det samme øyeblikket det første sprinklerhodet løses ut, stopper temperaturøkningen i rommet og gassene kjøles nok til at det andre sprinklerhodet ikke løser ut i testen. Ca. 40 sekunder etter at sprinkleren er løst ut faller temperaturen og det brenner kun i trekrybben og heptankaret

under pulten der sprinklervannet ikke oppnår direkte treff. Etter 9 minutter blir testen avbrutt og den resterende brannen under pulten blir slokket manuelt.

Tabell 4.1 Tabellen viser oversikt over hendelser observert under test 1.

Hendelse	Tidspunkt	Temperatur i hybel (°C)
Røykvarsler i hybelen aktiveres	1:06	61
Røykvarsler i korridoren aktiveres	1:10	58
Sprinkler nærmest brannen i hybel løser ut	1:59	131
Sprinkler stengt av	9:00	22
Resterende brann slokket	9:30	51



Figur 4.1 Figuren viser temperaturene i luften i hybelen, badet og korridoren og platetermoelementet som er montert inne i hybelen. Tallene i parentes er høyden i cm over gulvet termoelementet er plassert.

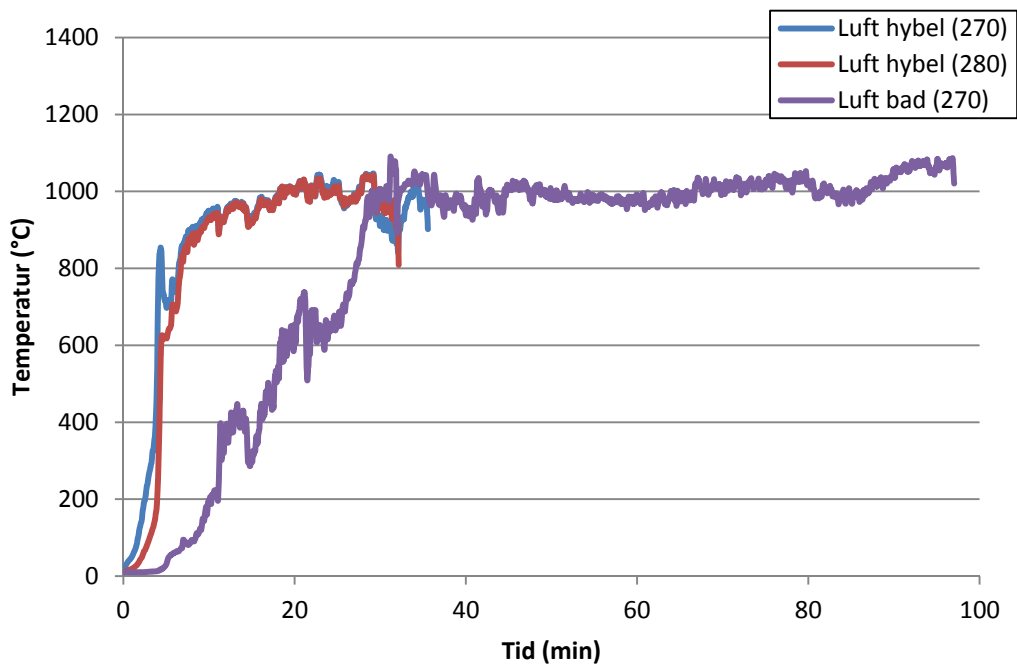
4.2 Test 2 – med deaktivert sprinkler i hybelen

Observasjoner under testen og temperaturene i luften er oppsummert i Tabell 4.2 og Figur 4.2 til Figur 4.8. Etter ca. 8 minutter og 30 sekunder (8:30) har brannen spredt seg til korridoren og himlingen faller ned. Det står flammer ut av åpningen på korridoren og trykket på sprinkleranlegget blir økt til ca. 2 bar etter ca. 12 minutter for å slå ned brannspredningen i korridoren. Dette hadde lite virkning og manuell påføring av vann i korridoren ble startet opp. Under den resterende delen av testen ble manuell vannpåføring gjennomført jevnlig i intervaller.

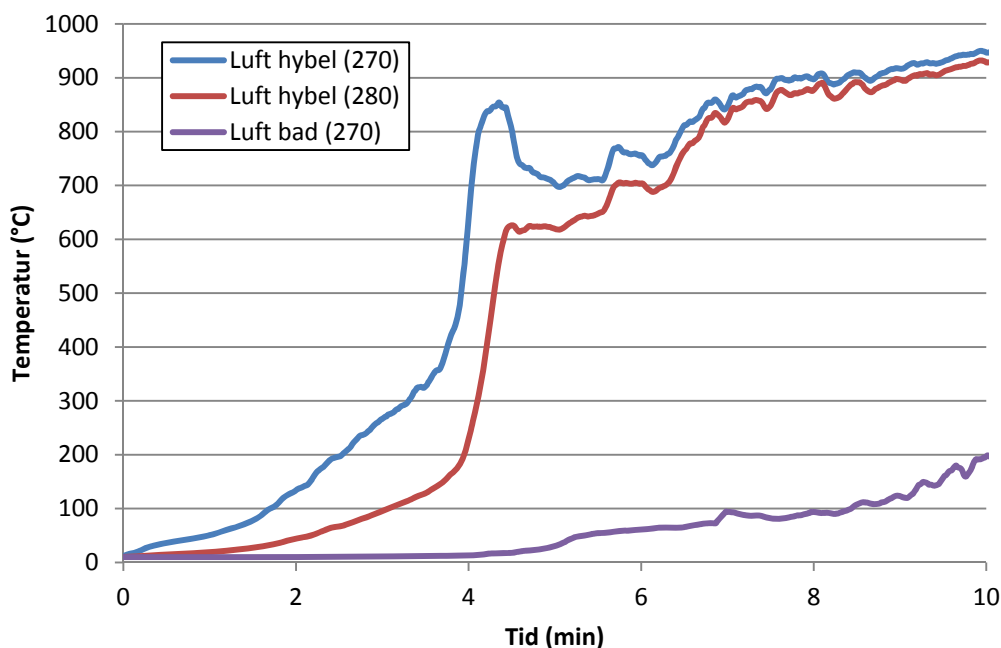
Tabell 4.2 Tabellen viser oversikt over hendelser observert under test 2.

Hendelse	Tidspunkt	Temperatur i hybel (°C)
Røykvarsler i hybelen aktiveres	1:10	59
Røykvarsler i korridoren aktiveres	1:24	71
Første sprinkler i korridor under himling løser ut	2:50	243
Andre sprinkler i korridor under himling løser ut	4:00	638
Overtenning i hybel	4:10	822
Første glass av vinduet knuser	4:30	803
Andre glass av vinduet knuser	4:55	712
Tredje og siste glass i vinduet knuser – flammene slår ut av rommet	5:45	770
Første sprinklerhoder over himling løser ut	6:05	741
Andre sprinklerhoder over himling løser ut (usikker på tid)	6:05-8:30	
Himlingen i korridoren faller ned	8:30	891
Trykket på sprinkleranlegget blir økt til ca. 2 bar (110 l/min/dyse)	12:00	947
Manuell innsats starter for å hindre spredning i korridoren	12:30	960
Gipsen rundt badet faller av	25:00	1000
Første observasjon av at deler av den beskyttede veggen brenner.	47:00	1025
Observasjon viser gjennombrenning mellom gulv og vegg på badet ⁴	1:00:00	975
Første observasjon på gjennombrenning på den ubeskyttede massivtreveggen nærmest vinduet.	1:10:00	1025
Observasjon viser at store deler av den ubeskyttede massivtreveggen er gjennombrent	1:25:00	980
Taket kollapser	1:36:00	1072
Slokkeinnsatsen intensiverer	1:36:10	
Brannen er sløkket	1:45:00	
Gipsvegg utenfor ubeskyttet vegg faller ned	1:55:00	
Etterslokking avsluttes	8:00:00	

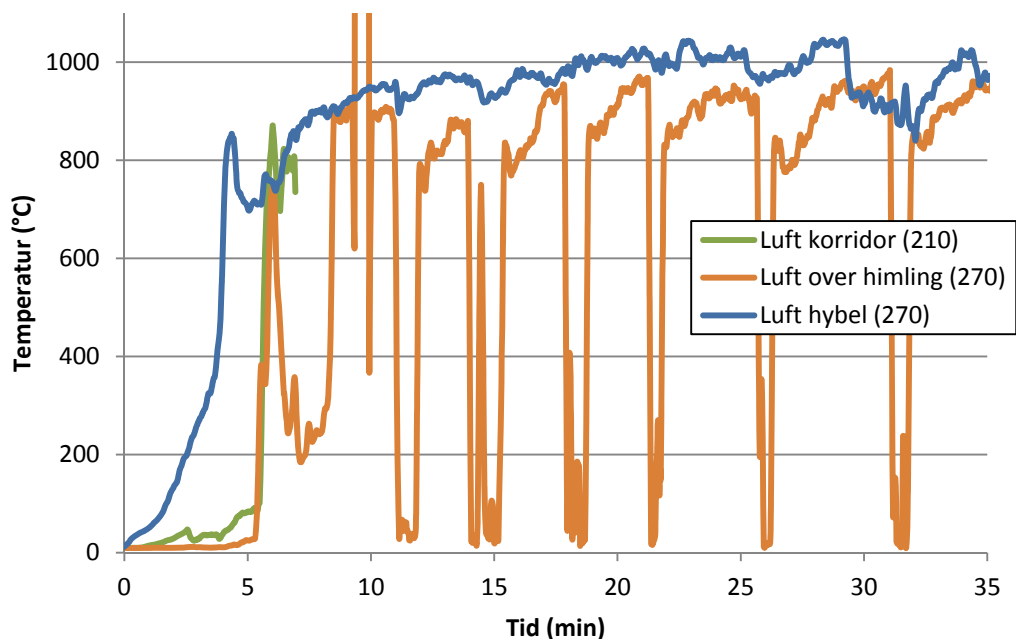
⁴ I baderommet var det ikke støpt A-plan



Figur 4.2 Figuren viser romtemperaturene målt i luften i hybelen og på baderommet. Tallene i parentes er høyden over gulvet termoelementet er plassert. Termoelementene i hybelen viser store hopp i målingene etter ca. 30 minutter. Målepunktene etter dette er utelatt da det er usikkert om termoelementene fungerer som de skal eller om det har endret posisjon på målepunktet.

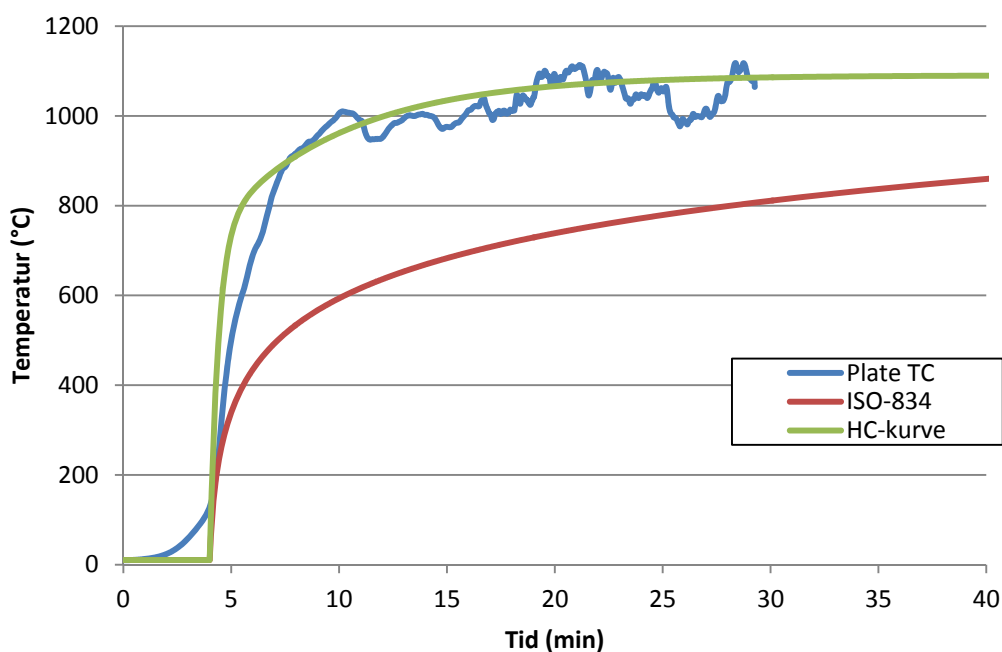


Figur 4.3 Figuren viser romtemperaturene målt i luften i hybelen og på baderommet de 10 første minuttene. Tallene i parentes er høyden over gulvet termoelementet er plassert. Termoelementet på 280 cm høyde er plassert helt inntil taket og blir derfor påvirket av temperaturen på overflaten av taket.

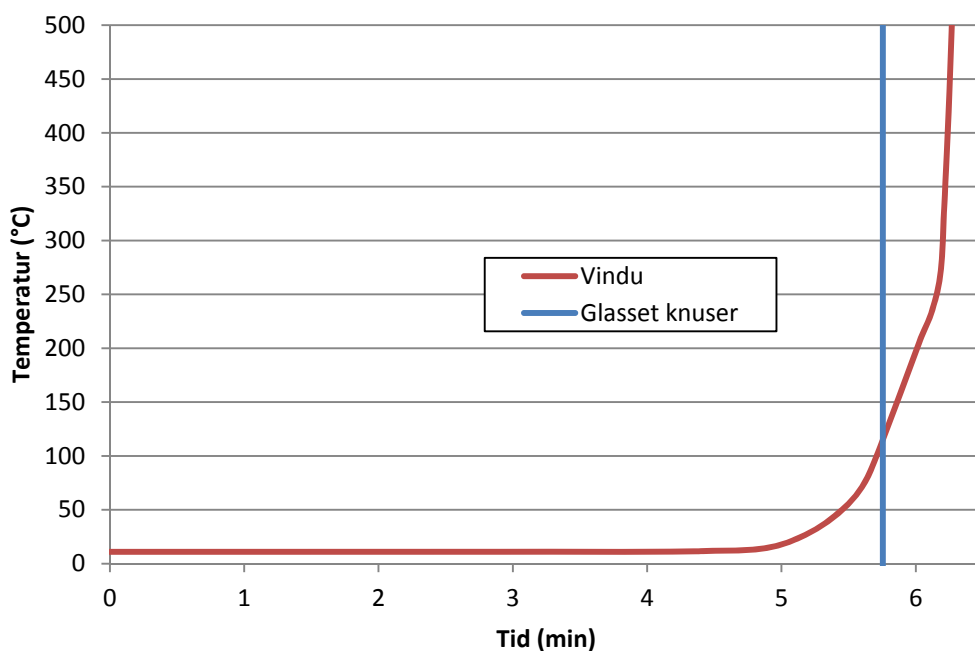


Figur 4.4

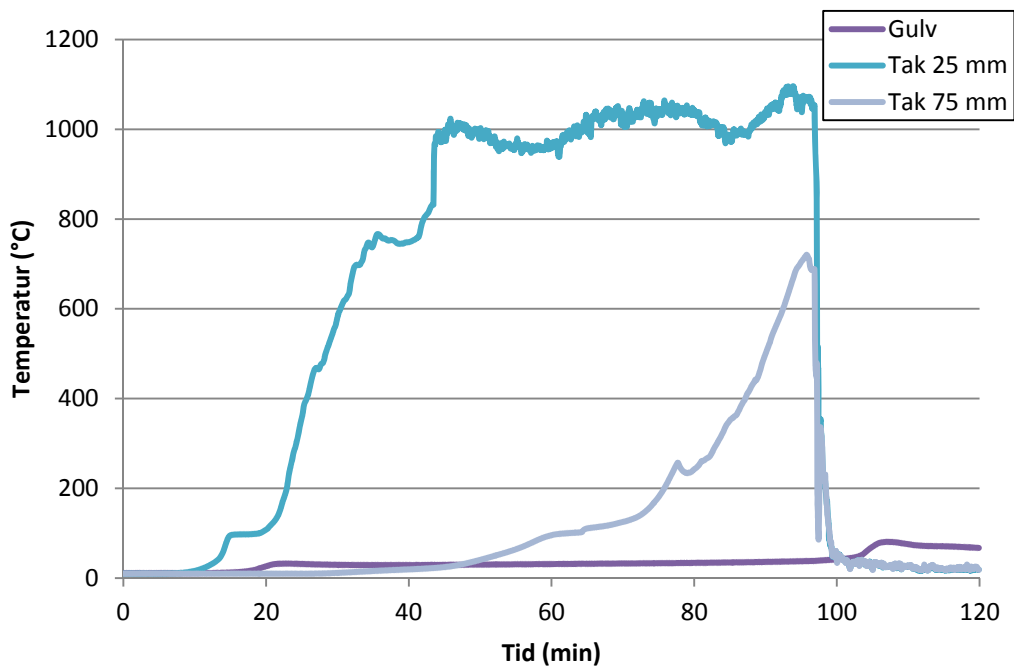
Figuren viser temperaturene målt i korridoren over og under himlingen sammenliknet med temperaturen i hybelen. Den ujevne temperaturen er trolig forårsaket av at termoelementet blir truffet direkte av vann under den manuelle påføringen. Temperaturen målt mellom disse droppene vil være en indikasjon på gasstemperaturen i korridoren. Tallene i parentes er høyden i cm over gulvet termoelementet er plassert. Himlingen detter ned etter ca. 8 minutter og 30 sekunder. Målingene som er plassert under himlingen er utelatt etter dette



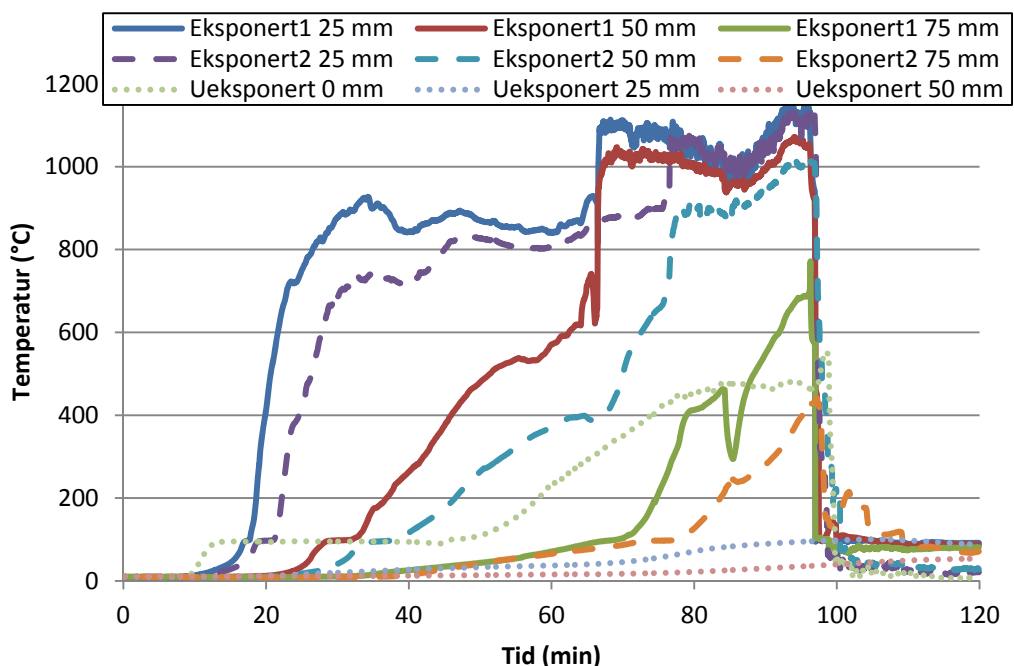
Figur 4.5 Figuren viser temperaturene målt med platetermoelementet i hybelen og sammenlikner med ISO-834 og HC-kurve. Temperaturen minker etter ca. 30 minutter. Dette indikerer at platetermoelementet har falt ned og målingene etter dette er utelatt fra grafen.



Figur 4.6 Figuren viser temperaturen målt på utsiden av vinduet fram til det ytre glasset knuser.



Figur 4.7 Figuren viser temperaturene målt i gulvet og 25/75 mm inn i massivtreet i taket i hybelen. Temperaturhoppet etter ca. 45 minutter opp til ca. 1000 °C indikerer at termoelementet er fullstendig eksponert for brannen.



Figur 4.8 Figuren viser temperaturene målt i forskjellige tverrsnitt i massivtreet i veggene i hybelen. Temperaturhoppet etter ca. 65 minutter opp til ca. 1000 °C indikerer at termoelementet er fullstendig eksponert for brannen. At termoelement i to forskjellige dybder på samme punkt blir eksponert samtidig indikerer at termoelementtråden holder flakene av kull fast på veggen.

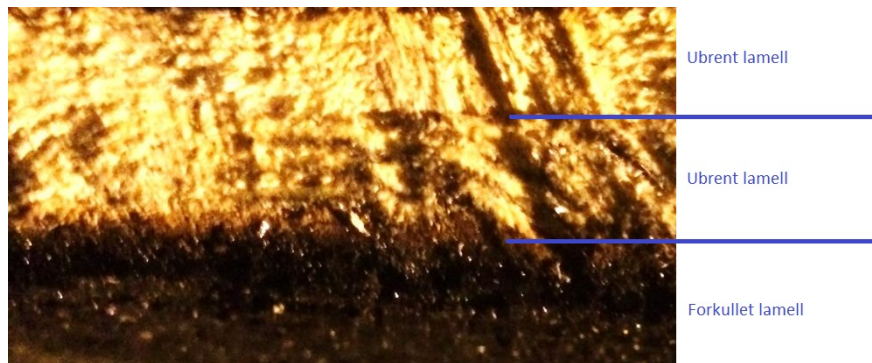
4.2.1 Innbrenning

Innbrenningsdybden ble målt på enkelte punkter etter testen på de veggene som stod igjen. Endeveggen mot yttervegg (vegg 2 på Figur 2.4) og den ubeskyttede massivtreveggen (vegg 1 på Figur 2.4) var gjennomtrengt på store deler av arealet, se Figur 4.9. Taket kollapset og det ble ikke funnet noen rester etter dette. For veggen mot korridoren (vegg 6 og 7 på Figur 2.4) var forkullingsdybden gjennomsnittlig 6 cm, men denne ble kjølt fra utsiden av både sprinkler og vann som kan ha påvirket forkullingshastigheten. For den gipskledde (beskyttede) veggen (vegg 3 på Figur 2.4) var forkullingsdybden gjennomsnittlig 2 cm inn i massivtreet med maksimalmåling på 6 cm langs et vertikalt tverrsnitt tatt midt mellom yttervegg og vegg til baderommet. Innbrenningen var størst høyt oppe på veggen.

Under testen ble det observert at kull fra veggflatene falt ned kontinuerlig. Observasjonene etter testen viste at det er ujevn innbrenning langs både horisontale og vertikale tverrsnitt av de gjenværende veggene. Innbrenningen ser ut som den følger lamellene i massivtrekonstruksjonen. Et eksempel på innbrenning er vist i Figur 4.10.



Figur 4.9 Restene av den ubeskyttede veggen etter at gipsveggen på utsiden datt ned.



Figur 4.10 Figuren viser et eksempel på innbrenning på den beskyttede veggen (vegg 3 på Figur 2.4) der det er to lameller som ikke er forkullet, en lamell som er forkullet og de siste to er fullstendig brent opp.

5 Diskusjon

5.1 Test 1 – med aktivert sprinkler i hybelen

5.1.1 Sprinkleranleggets sløkkeegenskaper

Resultatene fra test 1 viser at sprinkleranlegget som var installert kontrollerer brannen på en tilfredsstillende måte og vil kun etterlate små branner fordi disse ikke blir truffet direkte av vannet. Disse små brannene vil ikke utgjøre en fare for spredning i bygningen eller skade på bærende konstruksjoner.

Dersom sprinkleranlegget inne i startbranncellen (en hybel) ikke fungerer, har ikke de øvrige sprinklerhodene i sprinkleranlegget i tiliggende rom (korridoren etc.) noen mulighet til å påvirke brannforløpet inne i startbranncellen (hybelen). Ettersom brannen i startbranncellen (hybelen) går til overtenning og det kommer store mengder uforbrente, varme røykgasser ut fra denne klarer heller ikke sprinkleranlegget å stoppe spredning av brannen ut til tiliggende rom (korridoren etc.). Hvorvidt økt lengde på korridoren ville påvirket det forholdet, at sprinkleranlegget i korridoren hadde klart å begrense brannen til en sektor i korridoren, må testes ytterligere for å dokumentere dette.

5.2 Test 2 – med deaktivert sprinkler i hybelen

5.2.1 Termoelement

Termoelementene som måler temperaturen i luften (se Figur 4.2 og Figur 4.5) er festet i tak og vegger og det er usikkert hvor lenge de har holdt seg i den posisjonen de ble plassert i. Termoelementet under himlingen i korridoren har usikker posisjon etter at himlingen faller ned. Etter 40 minutter viser termoelementet i korridoren over himlingen under 100 °C og holder seg der resten av testen. Dette er ikke reelt ettersom det er synlig brann som blir manuelt sløkket gjennom hele testen etter dette.

Platetermoelementet har en dropp etter 30 minutter og det er sannsynlig at dette faller ned ved dette tidspunktet. Begge termoelementene som måler luften i hybelen passerer 1350 grader i løpet av testen og viser store forandringer på kort tid. At temperaturen endres mye på kort tid indikerer at termoelementet enten kortslutter eller at posisjonen har endret posisjon. På bakgrunn av dette har vi valgt og utelate alle målinger etter at termoelementene viser urealistiske brå forandringer. Alle målinger som er usikre er fjernet fra grafene under resultater.

Det ene termoelementet montert inne i massivtreet i taket slutter å fungere tidlig i testen av ukjent årsak, men resten av termoelementene i gulv, vegg og tak fungerer under hele testen.

5.2.2 Innbrenningshastighet

Innbrenningshastigheten er beregnet fra tidsforskjellen mellom målepunktene inne i massivtreveggene og -taket. På den ubeskyttede veggen (vegg 1 på Figur 2.4) er gjennomsnittlig innbrenningshastighet på de to punktene beregnet til å være ca. 1,4 mm/min mellom de to første målepunktene (25 mm og 50 mm inn i massivtreet) og ca. 0,7 mm/min mellom de neste målepunktene (50 mm og 75 mm inn i massivtreet). I tverrsnittet gjennom massivtreet var innbrenningshastigheten ca. 1,1 mm/min i snitt. I taket var det kun to målepunkter som fungerte tilfredsstillende (25 mm og 75 mm). Innbrenningshastigheten mellom disse (og gjennom hele massivtreet i taket) var ca. 1,0 mm/min. Det er grunn til å anta en tilsvarende utvikling av innbrenningshastigheten som i veggen har forekommet (veldig rask innbrenningshastighet i starten fram til første lamellen er forkullet).

Observasjoner viser at det faller av større flak med trekull fra veggen, noe som med stor sannsynlighet skyldes at massivtreet slipper i lamellene etterhvert og nytt trevirke blir eksponert. På det ene målepunktet i veggen blir termoelement i to forskjellige dybder eksponert samtidig, noe som kan være en indikasjon på at termoelementene forhindrer kullet rundt til å falle av.

Under badet ble det ikke støpt gulv, og der brant det gjennom i overgangen mellom gulv og vegg som vist på Figur 5.1 etter ca. 1 time.



Figur 5.1 Figuren viser at det brant gjennom i overgangen mellom gulv og vegg på badet der det ikke var støpt gulv.

5.2.3 Brannforløpets varighet og spredning

Brannens totale varighet (fullstendig brannforløp) er ikke mulig å bestemme ut fra disse forsøkene ettersom taket i hybelen kollapset og brannen ble slukket manuelt etter dette. Ut fra disse forsøkene er det heller ikke mulig å kunne si noe om hvorvidt massivtre som bærende konstruksjonselement kan dimensjoneres for et fullstendig brannforløp. I test 2 ble det registrert brannspredning ut av hybelen til korridoren. Utvendig kledning var ikke montert, noe som også er et sted brannen kunne ha spredt seg dersom betingelsene hadde vært tilstede.

I løpet av forsøket viste ikke brannen noe tegn på å avta og det blir målt høye temperaturer gjennom hele brannforløpet inne i branncellen. Massivtreveggen isolerer godt så lenge den står, men ettersom det brenner tvers gjennom to av veggene, gjennom taket og gipsveggen og isolasjonen detter av, kan vi med stor sikkerhet anta at gjennombrenningen av den beskyttede veggen (vegg 3 på Figur 2.4) også blir fullstendig og at brannen potensielt spres til andre arealer i bygningen.

Verken hybelen eller den tilliggende korridoren var oppført med naborom så behovet for tiltak i overgangene mellom tak og vegg eller mellom vegg og gulv (skjøteforbindelser i massivtrekonstruksjonen) er ikke dokumentert. Test 2 dokumenterer innbrenningshastigheten i massivtrekonstruksjonen, men dette er ikke en klassifiserende test så den dokumenterer ikke tilstrekkelig andre kritiske parametere knyttet til bruk av massivtrekonstruksjoner brannteknisk.

Døren inn til hybelen er satt i åpen stilling ettersom dette er antatt å være det verste scenarioet. En lukket dør vil kunne hindre brannspredning ut til korridoren for en periode, men kun i det tidsrommet døren er klassifisert for basert på en standard tid/temperaturkurve. Vinduet knuser på et tidlig tidspunkt og vil gi mer enn nok ventilasjon (lufttilgang) til å underholde brannen til alt brennbart materiale er utbrent. Bruk av brannglass kan dempe brannen noe, men dette bør testes nærmere i det videre arbeidet.

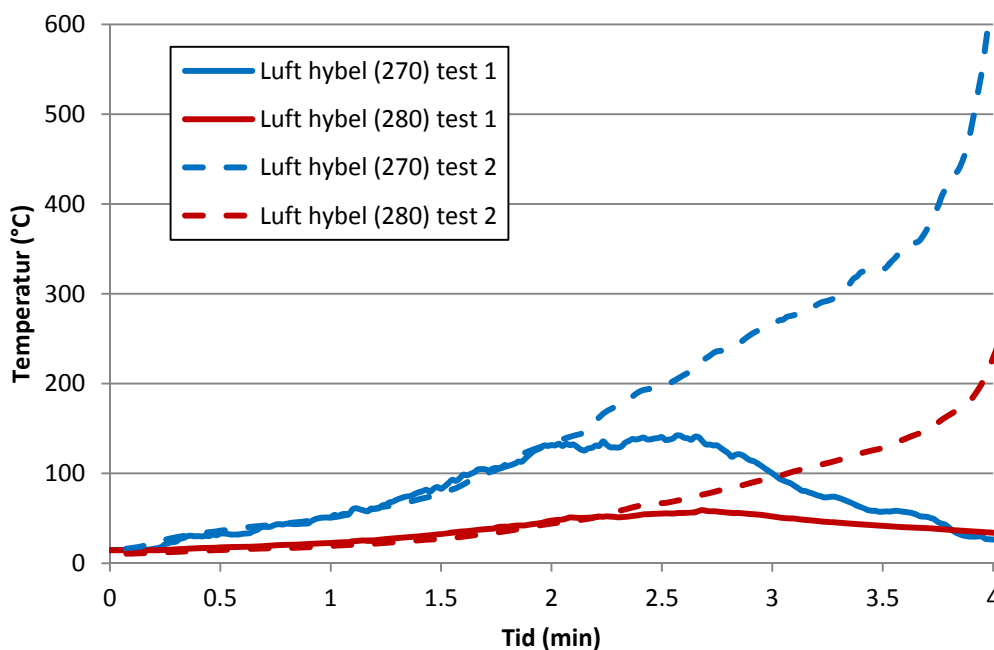
5.2.4 Brannenergi

Figur 4.5 viser temperaturene målt med et platetermoelement på samme måte som det gjøres i standardiserte ovnstester i henhold til NS-EN 1363-1:2012 [6] og sammenlikner dette temperaturforløpet med temperaturkurven i henhold til ISO 834 og hydrokarbonkurven (HC-kurven). For klassifisering av produkter med hensyn på brannmotstand for bruk i bygninger på land i henhold til Plan og bygningsloven med Teknisk forskrift (TEK) med tilhørende Veiledning (VTEK) [7–9], benyttes ISO-834 kurven i de standardiserte ovnstestene. Temperaturmålingene i test 2 utført med bruk av platetermoelementet viser en raskere og kraftigere branneksposering enn hva denne ISO-834 kurven representerer. Brannenergien i Test 2 tilsvarte branneksposeringen fra HC-kurven den første halvtimen før platetermoelementet falt ned. Dette skyldes at massivtreet i skillekonstruksjonene bidrar til økt brannenergi, i forhold til der det er ubrennbar kledning, i tillegg den permanente og variable brannenergien i rommet (stråling fra permanent og variabel brannenergi og fra veggene).

Basert på dette er det nødvendig å kartlegge/dokumentere hvilken reell brannmotstand de klassifiserte produktene (dører, vinduer, tetteprodukter, fugeprodukter, isolasjonsprodukter, etc.) må ha når de skal benyttes i kombinasjon med massivtrekonstruksjoner for å tilfredsstille sikkerhetsnivået som er angitt i Plan og bygningsloven med Teknisk forskrift (TEK) med tilhørende Veiledning (VTEK).

5.3 Sammenlikning test 1 og 2

Figur 5.2 viser en sammenlikning av temperaturene i test 1 og test 2. Disse følger hverandre fram til ca. 2 minutter, som samsvarer med aktiveringstidspunktet på sprinkleranlegget i test 1. Det antas derfor at startbrannforløpet er likt og dette forsterkes gjennom at røykvarslerne aktiveres på tilsvarende tidspunkt i begge testene også.



Figur 5.2 Figuren viser en sammenlikning av temperaturene i test og test 2 inne i hybelen.

6 Konklusjon

6.1 Test 1 – Med aktivert sprinkler i hybelen

Et fungerende sprinkleranlegg i startbranncellen vil kontrollere brannen til et minimum før det blir store brannskader i rommet. De eventuelle brannene som er igjen vil være på steder der sprinkleranlegget ikke treffer direkte med vann. Disse små brannene kan relativt enkelt slokkes med håndslukker eller husbrannslange. Sprinkleranleggets pålitelighet (vannforsyning, trykk, mengde, etc.) vil da være kritisk for å få kontroll på brannen i startbranncellen.

6.2 Test 2 – Med deaktivert sprinkler i hybelen

Om sprinkleranlegget ikke fungerer i et rom vil brannen fort utvikle seg til overtenning og gi store skader i startbranncellen. Et sprinkleranlegg i tilliggende rom(korridor etc.) vil ikke klare å stoppe brannspredning dit ettersom det ikke klarer å dempe brannen i startbranncellen.

En brann i et rom med store brennbare overflater med stor masse/tykkelse vil ha en rask brannutvikling/-spredning og raskt nå høye temperaturer. Forsøkene indikerer at brannenergien vil være større enn hva brannenergien fra ISO-834 kurven representerer.

Massivtreet viser gode isolerende egenskaper og leder varmen dårlig gjennom veggen. Det blir i løpet av testen målt store temperaturforskjeller på korte tverrsnitt i veggene og taket.

Ved deaktivert sprinkler (sprinklersvikt/ikke sprinklede arealer, etc.) i startbranncellen (hybelen) vil den ubeskyttede massivtreveggen og massivretaket oppnå en fullstendig gjennombrenning. Selv om en tildekking av massivtreveggen med gips og isolasjon forsinker at innbrenningen starter, viser testen at gips og isolasjon faller av og om ikke taket i hybelen hadde kollapset ville denne veggen også oppnådd fullstendig gjennombrenning. Brannen viser ingen tegn til å avta i intensitet før taket kollapser og brannen måtte slokkes manuelt.

Innbrenningshastighet i massivtrekonstruksjonene varierte fra 1,4 mm/min til 0,7 mm/min. I tverrsnittet gjennom massivtreet var innbrenningshastigheten ca. 1,1 mm/min i snitt.

7 Forslag til videre arbeid

Forsøkene indikerer at rom med brennbar kledning og overflater med stor tykkelse/dybde (massivtrekonstruksjoner) representerer et betydelig bidrag til brannenergien i et bygg. Bygningselementer og bygningsdetaljer som benyttes i byggverk og som er klassifisert i henhold til de funksjonskrav med tilhørende ytelsesnivåer som er angitt i Teknisk forskrift med Veiledning, er testet med en tid-/temperaturkurve representert ved en standard ISO-834 kurve (se Figur 4.5). Det bør derfor undersøkes nærmere hva en reel tid-/temperaturkurve er for ulike preaksepterte løsninger og hvorvidt bygningselementer og bygningsdetaljer klarer å opprettholde det samme sikkerhetsnivået som forskriften krever når brannenergien i rommet/bygget øker. Dette gjelder spesielt der massivtre i skillekonstruksjoner og bærekonstruksjoner er et fravik fra Veiledningen til Teknisk forskrift.

Hva forskjellige åpning på vindu/dører og hvor stor andel brennbare overflater har å si for brannforløpet er noe som det kan forskes mer på. Videre bør det gjøres flere forsøk for å finne ut innvirkningen av tykkelsen på lamellene i massivtreet. Observasjoner under

forsøket og måling av innbrenningen etterpå indikerer at massivtreet slipper i lamellene. Bruk av tykkere lameller kan derfor vise seg å ha en god innvirkning på innbrenningsforløpet ettersom det da er mulig at laget med kull som oppstår vil nå maksimal innbrenningsdybde før det har brent gjennom hele lamellen. Et tykkere lag med kull, som ikke faller av med en gang, vil kunne isolere treet innover og forsinke innbrenningen.

8 Referanser

1. Magnusson B, Grundstad BH. F-Not-01 (1): Estimert karakteristisk brannbelastning i studenthybel. Rambøll Norge AS; 2014.
2. IMO Res. MSC.265(84) Annex 14 Amendments to the revised guidelines for approval of sprinkler systems equivalent to that referred to in SOLAS regulation II-2/12 (Resolution A.800(19)). International Maritime Organization; 2008.
3. IMO MSC/Circ. 1165 Revised guidelines for the approval of equivalent water-based fire-extinguishing systems for machinery spaces and cargo pump-rooms. International Maritime Organization; 2005.
4. FM 5560 Approval standard for water mist systems. FM Approvals; 2012.
5. NS-EN 12845:2004+A2:2009 Faste brannslukkesystemer - Automatiske sprinklersystemer - Dimensjonering, installering og vedlikehold. Standard Norge; 2009.
6. NS-EN 1363-1:2012, Prøving av brannmotstand - Del 1: Generelle krav. Standard Norge; 2012.
7. Kommunal og moderniseringsdepartementet. Lov 27. juni 2008 nr. 71 om planlegging og byggesaksbehandling (Plan og bygningsloven) [Internet]. LOV-2008-06-27-71 Jun 27, 2008. Available from: http://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71?q=Lov%20om%20planlegging%20og%20byggesaksbehandling*
8. Kommunal- og moderniseringsdepartementet. Forskrift 26. mars 2010 nr. 489 om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK10) [Internet]. FOR-2010-03-26-489 Jul 1, 2010. Available from: <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html>
9. Direktoratet for Byggkvalitet. Veiledning om tekniske krav til byggverk (VTEK10) [Internet]. 2011. Available from: <http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggeregler/Veiledning-om-tekniske-krav-til-byggverk/>

A Bilder



Figur A. 1 Oversikt over hybel og korridor fra utsiden tatt mot den beskyttede veggen (massivtre kledd med isolasjon og gips på innsiden).



Figur A. 2 Oversikt over hybel og korridor fra utsiden tatt mot den eksponerte veggen (massivtre direkte eksponert på innsiden).



Figur A. 3 **Figuren viser bilde av taket i hybelen med plassering av sprinkleranlegg, røykvarsler og termoelement.**



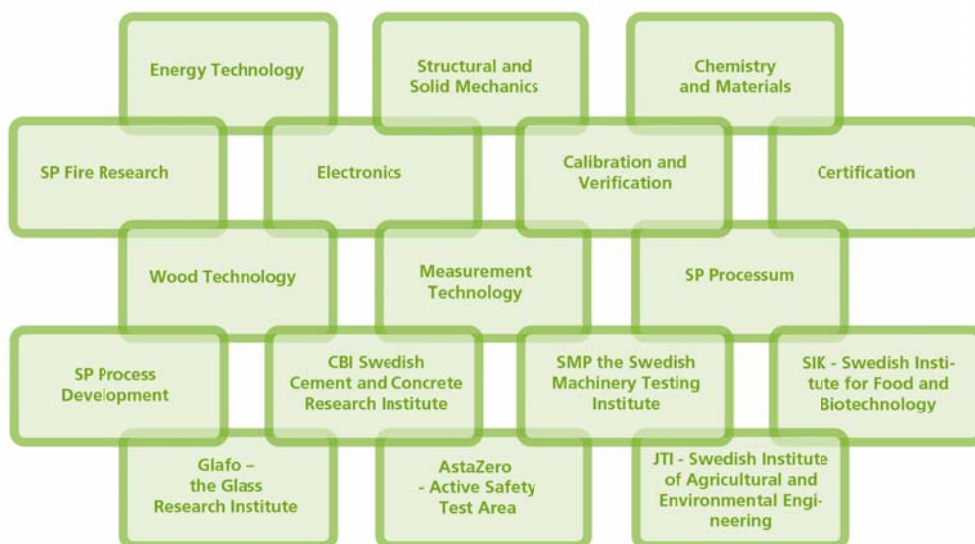
Figur A. 4 **Figuren viser brannspredning i og ut av korridoren før himlingen faller ned.**



Figur A. 5 **Figuren viser den eksponerte massivtreveggen før taket kollapse der man tydelig ser partier som er brent helt gjennom.**

SP Technical Research Institute of Sweden

Our work is concentrated on innovation and the development of value-adding technology. Using Sweden's most extensive and advanced resources for technical evaluation, measurement technology, research and development, we make an important contribution to the competitiveness and sustainable development of industry. Research is carried out in close conjunction with universities and institutes of technology, to the benefit of a customer base of about 10000 organisations, ranging from start-up companies developing new technologies or new ideas to international groups.



SP Fire Research AS

Postboks 4767 Sluppen, 7465 Trondheim

Telefon: 464 18 000

E-post: post@spfr.no, Internett: www.spfr.no

www.spfr.no

SPFR-rapport SPFR A15101

ISBN 978-82-14-00134-1

For mer informasjon om publikasjoner utgitt av SP: www.sp.se/publ