



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Brannteknisk dokumentasjon av gjennomføringer i hulldekker



BachelorOppgave utført ved

Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Sikkerhet, Brannteknikk

Av: Morten Aronsen
Simon Dahl

Kand.nr. 54
Kand.nr. 85



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

SKANSKA

BACHELOROPPGAVE

Studentenes navn:

Morten Aronsen
Simon Dahl

Linje og studieretning:

Brann, sikkerhetsingeniør

Oppgavens tittel:

Brannteknisk dokumentasjon av gjennomføringer i hulldekker.

Oppgavetekst:

Ved gjennomføringer i hulldekker finnes det svært få dokumenterte brannteknisk sikre løsninger. Mange av de løsningene som til dags dato brukes av SKANSKA og andre er basert på modifisering og tilpassing av løsninger for massive betongdekker. Det er etablert en praksis der utstøping av utsparinger er påkrevet for å oppnå et tverrsnitt tilsvarende massiv betong.

Denne oppgaven tar for seg å teste de forskjellige løsninger SKANSKA anser som aktuelle for bruk i hulldekker. Dette skal gjøres ved å designe en fullskala testtrigg og se hvordan disse løsningene fungerer i praksis.

Endelig oppgave gitt:

Fredag 6.mars 2009

Innleveringsfrist:

Fredag 8.mai 2009 kl. 12.00

Intern veileder

Jon Arve Brekken

Ekstern veileder

Bjørn Vik

Godkjent av studieansvarlig:

Dato:



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

SKANSKA

Høgskolen Stord/Haugesund
Studie for ingeniørfag
Bjørnsonsgt. 45
5528 Haugesund
Tlf. nr. 57 70 26 00
Faks nr. 57 70 26 01

Oppgavens tittel Brannteknisk dokumentasjon av gjennomføringer i hulldekker		Rapportnummer
Utført av Morten Aronsen Simon Dahl		
Linje Sikkerhet	Studieretning Brann	
Gradering Åpen/Konfidensiell	Innlevert dato	Veiledere Jon Arve Brekken Bjørn Vik

Ekstrakt

Hulldekker anvendes ofte i bygningsbransjen, men kanalene i hulldekkene står for en risiko i forhold til brann- og røykspredning. Godkjente gjennomføringer i bygg må derfor være utformet i henhold til krav i TEK og VTEK.

De løsningene som tilbys av aktører innen bransjen er ofte dyre og tidskrevende. En optimal løsning for SKANSKA hadde vært å bruke betong som brannetting, noe som vil tilsi at et ledd i arbeidsprosessen kan kuttes ut.

Oppgaven gir en teoretisk innføring i hvordan varme transporteres, derav varmeledning, stråling og konveksjon. Oppgaven gir også eksempler på ulike løsninger som finnes på markedet i dag for homogene hulldekker, samt resultater og analyser av gjennomførte tester.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

SKANSKA

Forord

Denne hovedoppgaven er siste ledd i en treårig utdanning innen brannsikkerhet ved Høgskolen Stord/Haugesund. Oppgaven er utarbeidet i samarbeid med ba8. De har fått i oppdrag å undersøke muligheten for å bruke betong som brannetting i gjennomføringer i hulldekker, der SKANSKA og Betongelementforeningen er pådrivere.

Hovedoppgaven ble valgt fordi den kombinerte teori opp mot praktiske oppgaver. Oppgaven ble presentert av Bjørn Vik, rådgivende ingeniør for ba8. Vårt arbeid gikk ut på å undersøke muligheten for videre forskning på betong som tetningsmasse i hulldekker.

Oppgaven har hjulpet oss videre innen fagfeltet brannodynamikk. Den har gitt oss en forståelse av et brannforløp og hvordan branner oppfører seg i praktisk. Arbeidet med design av test og testrigg har vært meget utfordrende, men givende. Vi tar også med oss nyttige erfaringer fra jobb i prosjekt, og håper og tror dette vil bli vesentlig senere i arbeidslivet.

Samarbeid med ba8 startet desember 2008. Testene ble utført 1-2. April 2009 ved ResQ i Haugesund. Under hvert forsøk ble det brukt omtrent 50 liter med diesel.

Oppgaven har bare vært mulig med stor hjelp fra kyndige og dyktige samarbeidspartnere gjennom semesteret. I den forbindelse vil vi på det varmeste takke alle ved SKANSKA og spesielt Rolf Einar Amdal for hans deltakelse i prosjektet. Stor takk også til John-Erik Reinertsen ved Betongelementforeningen for levering av prøvestykkene, og til vår veileder ved HSH Jon Arve Brekken og vår eksterne veileder ved ba8 Bjørn Vik. En ekstra stor takk rettes til Arjen Kraaijeveld for all hans hjelp ved ResQ.

Dato

Morten Aronsen

Simon Dahl



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

SKANSKA

Nomenklatur liste

TEK		Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven
VTEK		Veiledning teknisk forskrift til plan- og bygningsloven
°C		Grader Celsius
h	[kW/ mK]	Varmeoverføringskoeffisient
J		Joule
k	[kW/ m ² K]	Varmeledningsevne
K		Kelvin
Kg		Kilogram
mm		Millimeter
m ²		Kvadrat meter
q''	[W/ m ²]	Varmestrøm per kvadratmeter
T	[K]	Temperatur
t	[s]	Tid
W	[J/s]	Watt
Ø		Diameter
ρ	[kg/m]	Densitet
ε	[-]	Emissivitet
σ	5,67·10 ⁻⁸ [kW/m ²]	Stefan-Boltzmanns konstant



Sammendrag

Hulldekker anvendes ofte i bygningsbransjen, men kanalene i hulldekkene medfører en risiko i forhold til brann- og røykspredning. Godkjente gjennomføringer i bygg må derfor være utformet i henhold til krav i TEK og VTEK.

De løsningene som tilbys av aktører innen bransjen er ofte dyre og tidkrevende. En optimal løsning for SKANSKA hadde vært å bruke betong som brannetting, noe som vil tilsi at et ledd i arbeidsprosessen kan kuttes ut.

Oppgaven gir en teoretisk innføring i hvordan varme transporteres, derav varmeledning, stråling og konveksjon. Oppgaven gir også eksempler på ulike løsninger som finnes på markedet i dag for homogene hulldekker, og forklaring på hvordan gjennomføringene er testet.

Det blir gjennomført 4 tester der 7 gjennomføringer ble testet med betong som brannetting. Det ble valgt forskjellige typer rør i gjennomføringen, blant annet et ventilasjonsrør, avløpsrør og en del mindre typer rør. Dette ble gjort for å se hvordan betongen oppfører seg som brannetting.

Resultatene av forsøkene viser til tross for fuktige hulldekker, smeltede rør og plastlokk at majoriteten av temperaturmålingene, både ovenpå og i gjennomføringene, har lavere temperaturer enn kravene fra SINTEF. Målinger og observasjoner viser at sprekkdannelsene sannsynligvis skyldes sprekker i kanalene og ikke selve gjennomføringen.

Gjennomføringer med stive rør forårsaket ikke flere sprekker enn fleksible rør. Brannfugemasse i K-rør gav lavere temperaturer i og oppå gjennomføringene enn K-rør uten brannfugemasse. Små sprekker, som sannsynligvis skyldes fuktige hulldekker, var den eneste forskjellen mellom store og små gjennomføringer.

Resultatene fra testene viste at både isolerings- og integritetskravet til gjennomføringene ble tilfredsstilt. Dette indikerer at betong kan brukes som brannisolering ved gjennomføringer i hulldekker dersom rørene som brukes i gjennomføringene er brannsikre.



Innholdsfortegnelse

1.	Innledning.....	1
2.	Teori.....	2
2.1	Generelt.....	2
2.2	Varmeledning	3
2.3	Konveksjon	4
2.4	Varmestråling	5
3.	Godkjente løsninger for gjennomføringer i hulldekker.....	6
3.1	Preaksepterte løsninger	6
3.2	Funksjonsbaserte løsninger.....	6
3.2.1	Gipsmørtel.....	7
3.2.2	Rørmansjett	7
3.2.3	Brannplate	8
3.2.4	MCT Brattberg/ Roxtec.....	8
4.	Regelverk og krav	9
4.1	Regelverk	9
4.2	Krav.....	9
4.2.1	Integritet.....	9
4.2.2	Isolasjon.....	9
4.3	Spesielle krav for gjennomføringene	10
4.3.1	Temperatur i brannrom.....	10
5.	Metode.....	11
5.1	Hulldekker	11
5.2	Gjennomføringer	12
5.2.1	Ventilasjonsrør	12
5.2.2	Soilrør	13
5.2.3	Geberit Silent 4"	14
5.2.4	Korrugert el-rør (K-rør).....	15
5.2.5	Vannrør.....	16
5.3	Betong	17
5.4	Rockwool	17
5.5	Glava.....	18
5.6	Testoppsett.....	19
5.6.1	Testtrigg	19
5.6.2	Måleutstyr	19



6.	Resultater	21
6.1	Test 1 – Ventilasjonsrør	22
6.1.1	Generelt.....	22
6.1.2	Visuelle observasjoner	22
6.1.3	Temperaturmålinger	24
6.2	Test 2 – Ventilasjonsrør	26
6.2.1	Generelt.....	26
6.2.2	Visuelle observasjoner	26
6.2.3	Temperaturmålinger	27
6.3	Test 3 – Soilrør og Geberit Silent 4”	28
6.3.1	Generelt.....	28
6.3.2	Visuelle observasjoner	28
6.3.4	Temperaturmålinger for Soilrøret.....	30
6.4	Test 4 – Vannrør, K-rør m/brannfugemasse og K-rør u/brannfugemasse	32
6.4.1	Generelt.....	32
6.4.2	Visuelle observasjoner	32
6.4.3	Temperaturmålinger for vannrøret.....	33
6.4.4	Temperaturmålinger for K-rør m/brannfugemasse	34
6.4.5	Temperaturmålinger for K-rør u/brannfugemasse	34
7	Diskusjon	36
7.1	Sprekkdannelse	36
7.2	Røykspredning	38
7.3	Temperaturer	39
8	Konklusjon	41
8.1	Integritet.....	41
8.2	Isolasjon.....	41
8.3	Sluttkonklusjon	41
8.4	Videre undersøkelser	41
8.5	Feilkilder	42
9	Referanser	43
10	Vedlegg	44



Figurliste

FIGUR 1, VARMELEDNING	3
FIGUR 2, KONVEKSJON	4
FIGUR 3, VARMESTRÅLING	5
FIGUR 4, PRAEKSEPTERT LØSNING I HENHOLD TIL BYGGDETALJER 520.342	6
FIGUR 5, GIPSMØRTEL FRA PROTECTA.....	7
FIGUR 6, RØRMAJETT FRA PROTECTA	7
FIGUR 7, BRANNPLATE FRA PROTECTA	8
FIGUR 8, (A) MTC BRATTBERG, (B) ROXTEC	8
FIGUR 9, ISO-834 KURVET BRANN HENTET FRA NS-EN 1263-1	10
FIGUR 10, PRØVESTYKKE (HD265) MED MÅL I MM	11
FIGUR 11, VENTILASJONSØRET (A) SETT OVENFRA (B) SETT FRA UNDERSIDEN.....	12
FIGUR 12, SOILRØRET (A) SETT OVENFRA (B) SETT FRA UNDERSIDEN	13
FIGUR 13, GEBERIT SILENT 4" (A) SETT OVENFRA (B) SETT FRA UNDERSIDEN	14
FIGUR 14, K-RØR, (A) M/BRANNFUGEMASSE SETT OVENFRA (B) M/BRANNFUGEMASSE SETT FRA UNDERSIDEN (C) PROTECTA BRANNFUGEMASSE (D) U/BRANNFUGEMASSE SETT OVENFRA (E) U/BRANNFUGEMASSE SETT FRA UNDERSIDEN	15
FIGUR 15, VANNRØRET (A) SETT OVENFRA (B) SETT FRA UNDERSIDEN.....	16
FIGUR 18, ROCKWOOL I KANALENE	17
FIGUR 16, DESIGN AV TESTRIGG MED MÅL	19
FIGUR 17, BESKRIVELSE AV GJENNOMFØRINGER SAMT Plassering AV MÅLEUTSTYR.....	20
FIGUR 19, BESKRIVELSE AV KANALENE I HULLDEKKET SETT FRA VENSTRE MOT HØYRE,	21
FIGUR 20, TEMPERATUR/TID GRAF INNE I ROMMET FOR TEST 1, MED EN BEREGNET MIDDELTEMPERATUR	22
FIGUR 21, FLAMMER UT AV TESTROMMET, OG TIL HØYRE VISES HVORDAN BRENNENDE DIESEL RANT UTOVER LECA BLOKKENE	23
FIGUR 22, SPREKKDANNELSE VED VENTILASJONSØR, TEST 1	23
FIGUR 23, TEMPERATURMÅLINGENE I KANALENE, OVER GJENNOMFØRINGEN OG INNE I GJENNOMFØRINGEN FOR TEST 1	24
FIGUR 24, TEST 1 DA PLASTLOKKET OVER GJENNOMFØRINGEN SMELTET OG BEGYNTE Å BRENNER	24
FIGUR 25, VENTILASJONSØRET OG HULLDEKKET ETTER ENDT TEST	25
FIGUR 26, TEMPERATUR/TID GRAF INNE I ROMMET FOR TEST 2, MED EN BEREGNET MIDDELVERDI	26
FIGUR 27, VENTILASJONSØRET OG HULLDEKKET ETTER ENDT TEST	27
FIGUR 28, TEMPERATURMÅLINGENE I KANALENE, OVER GJENNOMFØRINGEN OG INNE I GJENNOMFØRINGEN FOR TEST 2	27
FIGUR 29, TEMPERATUR/TID GRAF INNE I ROMMET FOR TEST 3, MED EN BEREGNET MIDDELVERDI	28
FIGUR 30, TEST 3 (A) DET SMELTEDE GEBERIT RØRET BRENNER PÅ BAKKEN (B) LYS OG GUL RØYK UT AV SOILRØRET	29
FIGUR 31, TEMPERATURMÅLINGENE I KANALENE, OVER GJENNOMFØRINGEN OG INNE I GJENNOMFØRINGEN FOR GEBERIT SILENT 4" 29	
FIGUR 32, TEST 3 (A) GEBERIT SILENT 4" HAR FALT NED OG BRENNER (B) SMELTEDE GEBERIT SILENT 4" PÅ OVERSIDEN (C) GEBERIT RØRET SMELTET OVER TERMOELEMENTET SLIK AT DET BLE FORSKJØVET.....	30
FIGUR 33, TEMPERATURMÅLINGENE I KANALENE, OVER GJENNOMFØRINGEN OG INNE I GJENNOMFØRINGEN FOR SOILRØRET	30
FIGUR 34, SYNLIGE FLAMMER UT AV SOILRØRET UNDER TEST 3	31
FIGUR 35, TEMPERATUR/TID GRAF INNE I ROMMET FOR TEST 3, MED EN BEREGNET MIDDELVERDI	32
FIGUR 36, TEST 4 (A) RØYK UT AV K-RØR U/BRANNFUGEMASSE (B) FLAMMER I KANAL 1	33
FIGUR 37, TEMPERATURMÅLINGENE I KANALENE, OVER GJENNOMFØRINGEN OG INNE I GJENNOMFØRINGEN FOR VANNRØRET	33
FIGUR 38, TEMPERATURMÅLINGENE I KANALENE, OVER GJENNOMFØRINGEN OG INNE I GJENNOMFØRINGEN FOR K-RØR M/BRANNFUGEMASSE	34
FIGUR 39, TEMPERATURMÅLINGENE I KANALENE, OVER GJENNOMFØRINGEN OG INNE I GJENNOMFØRINGEN FOR K-RØR U/BRANNFUGEMASSE	34
FIGUR 40, STEINSKUDD UNDER TEST, RINGET INN I HVITT	37
FIGUR 41, BOBLLENDE VANN OBSERVET FRA ARMERINGEN	37
FIGUR 42, FUKT OBSERVET I SPREKKER FRA OVERSIDEN	37
FIGUR 43, TEMPERATURER OVENPÅ GJENNOMFØRINGENE	39
FIGUR 44, TEMPERATURENE 130 MM NED I GJENNOMFØRINGEN	40



Tabelliste

TABELL 1, TERMISKE EGENSKAPER FOR ENKELTE MATERIALER [DRYSDALE TABLE 2.1]	3
TABELL 2, DE VANLIGSTE VARMEOVERFØRINGSKOEFFISIENTENE VED NATURLIG OG TVUNGEN KONVEKSJON.....	4
TABELL 3, VERDIER FOR EMISSIVITET	5
TABELL 4, OVERSIKT OVER DIVERSE TILGJENGELIGE LØSNINGER FOR GJENNOMFØRINGER HOS LEVERANDØRER	6
TABELL 5, GJENNOMFØRINGENE MED STØRRELSE PÅ UTSPARINGENE	12
TABELL 6, SPESIFIKASJONER FOR ROCKWOOL	17
TABELL 7, SPESIFIKASJONER FOR GLAVA	18
TABELL 8, VISUELLE OBSERVASJONER FOR TEST 1.....	22
TABELL 9, VISUELLE OBSERVASJONER FOR TEST 2.....	26
TABELL 10, VISUELLE OBSERVASJONER FOR TEST 3.....	28
TABELL 11, VISUELLE OBSERVASJONER UNDER TEST 4.....	32
TABELL 12, OVERSIKT OVER SPREKKER SETT FORFRA, RØD TEKST INDIKERER EN GJENNOMFØRING GIKK IGJENNOM KANALEN (HØYRE SIDE).....	36
TABELL 13, OVERSIKT OVER SPREKKER SETT FORFRA, RØD TEKST INDIKERER EN GJENNOMFØRING GIKK IGJENNOM KANALEN (VENSTRE SIDE).....	36
TABELL 14, MAKSIMAL RØYKTEMPERATUR I KANALENE VED TEST 1 OG 2	38
TABELL 15, MAKSIMAL RØYKTEMPERATUR I KANALENE VED TEST 3 OG 4	38
TABELL 16, SLUTTTEMPERATURER OVENPÅ GJENNOMFØRINGENE I TEST 1 OG 2	39
TABELL 17, SLUTTTEMPERATURER OVENPÅ GJENNOMFØRINGENE I TEST 3 OG 4	40



1. Innledning

Hulldekker brukes i byggebransjen og regnes for å være økonomiske og miljøvennlige, men kanalene i hulldekkene kan medføre brann- og røykspredning. Til dags dato finnes kun én preakseptert løsning for gjennomføringer i hulldekker, og et antall eksisterende funksjonsbaserte løsninger som ofte er både dyre og krever eksterne aktører.

Betong og sement er brannsikkert og finnes tilgjengelig ved de fleste byggarbeidsplasser. Dersom betong kunne bli brukt som brannetting, skulle dette spare både tid og penger for SKANSKA.

Oppgaven gir et innblikk i teorien bak varmetransport og tanken bak eksisterende løsninger. Videre presenteres og analyseres syv gjennomføringer der betong brukes som brannetting. Det undersøkes hvordan betongen i gjennomføringen påvirkes av

- *Store og små gjennomføringer:*
Påvirkes betongen annerledes med tanke på utsparingenes størrelse?
- *Stive og fleksible rør:*
Ekspanderer betongen mer eller mindre enn hulldekket, og påvirker dette rørene?
- *Rør med og uten brannfugemasse:*
Gir små utsparinger forskjell i temperatur eller sprekkdannelse?



2. Teori

Teoridelen gir en innføring i hvordan varme transporteres for å gi en oppfatning av hvordan gjennomføringer og hulldekker blir påvirket av varme. [1]

2.1 Generelt

Alle faste materialer har en indre energi avhengig av molekylers og atomers svingninger i materialet. Denne indre energien er forbundet med materialets temperatur, der høyere frekvens på svingningene gir høyere temperatur. Denne energien måles i joule (J). Definisjonen av én joule er energien som kreves for å varme en liter vann 1 °C.

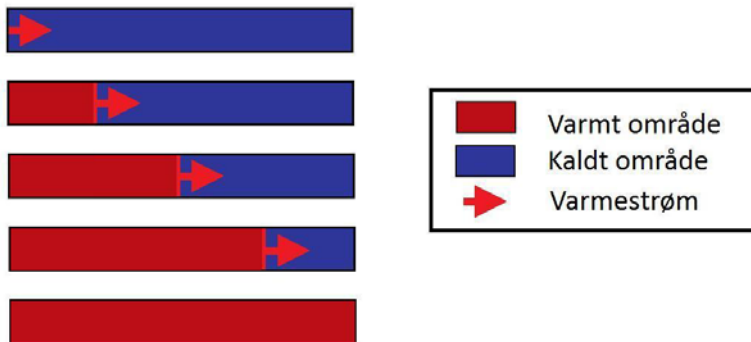
Når to områder med ulik temperatur (indre svingninger) står i kontakt med hverandre, påvirker atomer og molekyler hverandre til både svingningene og temperaturen i materialet er lik. Dette kalles varmeoverføring.

Ifølge termodynamikkens første lov, transporteres varme fra et varmere til et kaldere område helt til temperaturen på begge områdene er den samme. Ved varmestrømmer er det interessant å måle energien som strømmer gjennom materialet til enhver tid, derfor måles varmestrømmer i joule/sekund (J/s) som gir watt (W). Ved branner transporteres store mengder energi, noe som gjør at det i branndynamikken er vanlig å måle branner og energistrømmer i kW eller MW.

Det finnes tre ulike muligheter for energi å transporteres; varmeledning, stråling eller konveksjon.

2.2 Varmeledning

Varmeledning beskriver varmetransport gjennom et fast materiale der en del av en fast gjenstand blir oppvarmet og varme transporteres gjennom gjenstanden. I prosessen transporteres varme gradvis til temperaturen er lik i hele gjenstanden, som kan ses i Figur 1. Varmeledningen har stor betydning for flammespredning og antenning av ulike materialer.



Figur 1, Varmeledning

Muligheten for å transportere varme er ulik for ulike materialer og beskrives av varmeledningsevnen, som er et mål på varmestrømmen (W) som transporteres gjennom et homogent materiale med et tverrsnitt på 1 m² og tykkelse på 1 m når temperaturforskjellen er 1 K. Varmeledningsevnen oppgis i W/mK.

Varmeledningsevnen avhenger i stor grad av molekyltettheten i materialer, jo høyere molekyltetthet et material har desto større varmeledningsevne har materialet. Dette betyr at metaller stort sett har en veldig høy varmeledningsevne, mens porøse materialer har lav varmeledningsevne. Dette benyttes i stor grad i isolasjonsmaterialer der isolatoren tilvirkes porøst og hult for å maksimere mengden luft eller gass inne i materialet og dermed minimere varmestrømmen gjennom materialet. Tabell 1 viser ulike kjente materialers varmeledningsevne.

Tabell 1, Termiske egenskaper for enkelte materialer

Material	Varmeledningsevne k [W/m.K]	Densitet ρ [kg/m ³]
Kopper	387	8940
Stål (mild)	45,8	7850
Betong	0,8 – 1,4	1900 -2300
Gips	0,48	1440
Luft	0,026	1,1

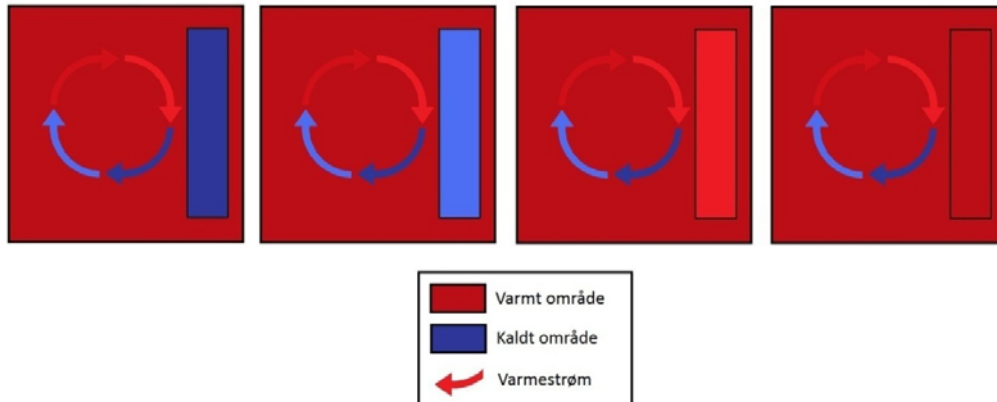
Varmestrømmen gjennom en gjenstand avhenger av lengden på gjenstanden, varmeledningsevnen til gjenstanden og varmedifferensen. Dette uttrykkes ved følgende formel

$$q'' = -k \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Varmeledning påvirker varmetransporten gjennom hulldekkene og gjennomføringen. Dette vil gi temperaturøkninger inne i og oppå gjennomføringene.

2.3 Konveksjon

Konveksjon er strømmer som transporterer energi i fluider og beskriver varmetransporten fra et fluid til et fast materiale, for eksempel mellom luft og en vegg. Den varme fluid varmer opp overflaten til det kalde og faste materialet der den avgir sin varme og blir til et kaldt fluid. Den kalde fluid synker deretter nedover til den igjen varmes opp og stiger. Dette skaper en roterende strøm som fortsetter slik til det faste materialet oppnår samme temperatur som omgivelsen.



Figur 2, Konveksjon

Hvor stor varmemstrømmen blir ved konveksjon avhenger av varmeoverføringskoeffisienten h . Denne verdien beskriver fluidenes egenskaper, geometrien til materialet og hvor strømmingene skjer (naturlig eller tvunget). Typiske verdier for naturlig og tvungen konveksjon vises i Tabell 2.

Tabell 2, De vanligste varmeoverføringskoeffisientene ved naturlig og tvungen konveksjon

Konveksjonstype	Varmeoverføringskoeffisienten h [W/m ² K]
Naturlig	5- 25
Tvungen	10- 500

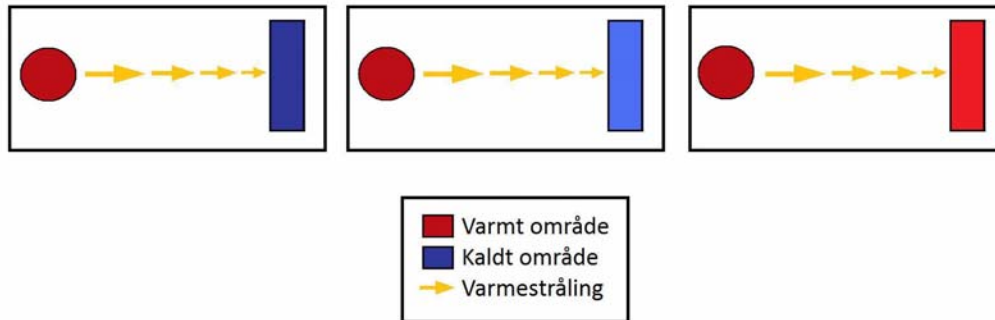
Det matematiske uttrykket for konveksjon er

$$q'' = h \cdot \Delta T \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

Konveksjon vil først og fremst påvirke varmespredningen i kanalene under testene. Konveksjon vil også kunne påvirke temperaturen noe oppå gjennomføringene.

2.4 Varmestråling

Som figur 3 viser, avgir alle legemer elektromagnetisk stråling til omgivelsene i form av varmestråling. Energien som avgis fra legemet avhenger av hvilken temperatur legemet har, og hvilken emissivitet legemet har. Emissivitet er et mål på hvor effektiv flaten er når det gjelder å stråle varme. Den teoretisk mest effektive stråler er en "svart kropp" som avgir mest mulig energi fra flaten, der verdiene for emissivitet kan ses i tabell 3.



Figur 3, Varmestråling

Tabell 3, Verdier for emissivitet

	Emissivitet ϵ
Svart kropp	1
Hvit kropp	0

Varmestråling behøver ikke noe medium for å overføres fordi den transporteres via elektromagnetiske bølger (f eks solen).

Den totale varmestråling som et legeme avgir, kan beskrives med formelen

$$q'' = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^2 \quad [\text{W/m}^2]^1$$

For strålingen på et spesifikt punkt brukes en konfigurasjonsfaktor ϕ som tar hensyn til avstand og geometrien til et strålende legeme. Dermed blir formelen for stråling

$$q'' = \phi \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot T^2 \quad [\text{W/m}^2]$$

Varmestrålingen er den dominerende varmeavgivelsen for branner som er større enn 0,3 m i diameter eller som er varmere enn 400 °C. Ved mindre eller kaldere branner skyldes varmeavgivelsen konveksjon.

Varmestråling vil være den dominerende form av varmetransport under forsøkene. Gjennom testene vil det dannes sot på undersiden av hulldekkene. Den svarte soten vil gi en større påvirkning av stråling.

¹ $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} [\text{kW/m}^2]$ (Boltzmanns konstant)

3. Godkjente løsninger for gjennomføringer i hulldekker

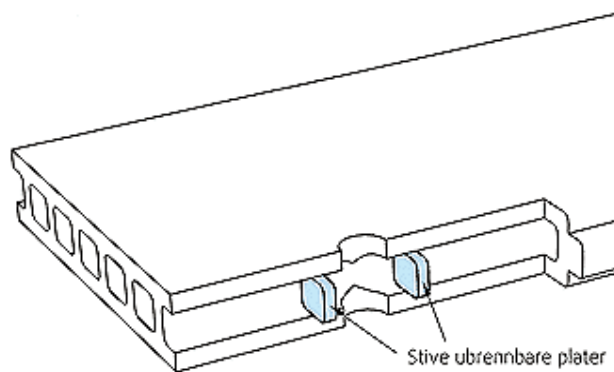
På markedet i dag finnes ulike pakkeløsninger for gjennomføringer i homogene betongelement, både vertikale og horisontale. For gjennomføringer i hulldekker finnes det i dag få produkter. I stedet brukes ofte løsningene for homogene løsninger på både over- og undersiden av hulldekkene. [Vedlegg A]

3.1 Preaksepterte løsninger

Per dags dato finnes det bare én preakseptert løsning for gjennomføringer i hulldekker som er godkjent av SINTEF. (Denne ønsker dog SINTEF å revidere). I løsningen monteres plater av ubrennbart materiale i kanalene for å hindre røykspredning, som vist i Figur 4. I tillegg brannettes gjennomføringen slik at røykspredning vertikalt hindres.

Utsparing for vertikal gjennomføring i hulldekke[2]

Hullene kan transportere røyk og branngasser mellom bygningsdelene. Hullene må derfor forskales før gjennomføringen monteres og tettes med brannmørtel hvis ikke annet er angitt i monteringsanvisningen. Det er svært vanskelig å tette i ettertid i hulldekker. Stive mineralullplater er et egnet produkt for forskaling.



Figur 4, Preakseptert løsning i henhold til Byggetaljer 520.342

3.2 Funksjonsbaserte løsninger

Funksjonsbaserte løsninger er sikre løsninger som er godkjente etter utallige tester eller etter forskning. Det savnes per dags dato produkter for gjennomføringer i hulldekker som er godkjente av SINTEF. Det er derfor godkjent å bruke ubrennbar mineralull i tillegg til tosidig tetting for hulldekker. [Vedlegg A]

Videre presenteres ulike løsninger fra forskjellige aktører som tilfredsstillende kravene satt av SINTEF. Tabell 4 viser noen aktører og deres utvalg av produkter.

Tabell 4, Oversikt over diverse tilgjengelige løsninger for gjennomføringer hos leverandører

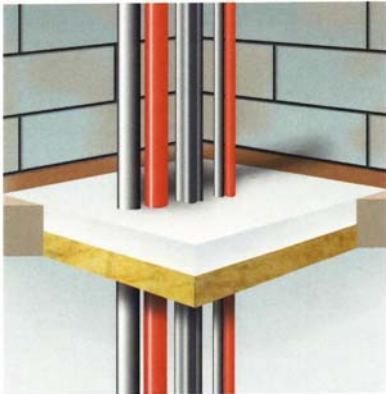
Bedrift	Rørmansjett/Rørstruper	Brannplate	Gipsmørtel	Spesialløsning
Firesafe AB	Ja			
MCT Brattberg	Ja			Ja
Firesafe	Ja			
Protecta AS	Ja	Ja	Ja	
Roxtec	Ja			Ja

3.2.1 Gipsmørtel

Et tørt hvitt pulver fylles opp i forskaling. Pulveret 1-2 % når det blandes med vann og danner en herdet termisk branntettingsmasse. Ved montering gjennom hulldekker skal det enten dyttes steinull inn i kanalene med dybde lik dekkets tykkelse, alternativt isoleres med steinull fra oversiden og rundt gjennomføringen hele veien ned til branntettingen. Eksempel på gipsmørtel vises i Figur 5.

Ved kanal på 1000 mm x 1000 mm skal 50 mm gipsmørtel anvendes.

[Vedlegg B]



Figur 5, Gipsmørtel fra Protecta

3.2.2 Rørmansjett

En rørmansjett er et grafittbasert svellende materiale som reagerer på varme og tetter hulrom etter smeltende ledninger. Ved montering gjennom hulldekker skal det enten dyttes steinull inn i kanalene med dybde lik dekkets tykkelse, alternativt isoleres med steinull fra oversiden og rundt gjennomføringen hele veien ned til mansjettten, eller så kan det installeres en rørmansjett på hver side. Denne type gjennomføring kan brukes for rør opptil 160 mm i diameter. Figur 6 viser en montert rørmansjett.



Figur 6, Rørmansjett fra Protecta

[Vedlegg C]

3.2.3 Brannplate

Plater i steinull med påført dekkmalning fra Protecta fungerer som motstandsdyktig brannskille og hindrer temperaturøkning i steinull samt tekniske gjennomføringer. Ved montering i hulldekker, med tanke på fare for brannspredning, må det først dyttes steinull inn i kanalene med dybde lik hulldekkets tykkelse. Deretter monteres brannplaten fra undersiden. Et eksempel vises i Figur 7.



Figur 7, Brannplate fra Protecta

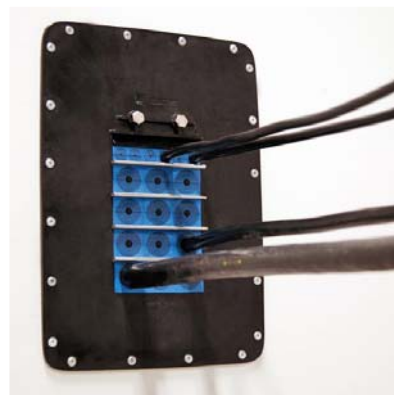
[Vedlegg D]

3.2.4 MCT Brattberg/ Roxtec

MCT Brattberg/Roxtec er en stålramme som presser en formbar masse rundt kabler eller rør. Massen finnes i flere ulike utforminger som oftest basert på et grafittbasert svellende materiale (grafitt, vulkanisert gummi EPDM eller syntetisk halogenfri polymer LYCRON) som reagerer på varme og tetter hulrom. Figur 8 viser to forskjellige typer av denne løsningen. Dette er en sikker og pålitelig løsning som ofte anvendes i båter fordi den også tåler høyt trykk. Ulempen med gjennomføringen er at den er dyr, en gjennomføring kan koste flere tusen kroner.



(a)



(b)

Figur 8, (a) MTC Brattberg, (b) Roxtec

[Vedlegg E og Vedlegg F]



4. Regelverk og krav

4.1 Regelverk

Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (TEK) stiller krav om at:

- byggverk skal oppdeles i brannseksjoner og brannceller slik at brann- og røykspredning inne i byggverket reduseres eller hindres, med mindre andre tiltak forebygger slik spredning
- tekniske installasjoner ikke vesentlig skal øke faren for at brann oppstår eller sprer seg i et byggverk
- installasjoner som er forutsatt å ha en funksjon under brann skal være slik utformet og bygd at deres funksjon opprettholdes i nødvendig tid.

Veiledningen til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (VTEK) angir at gjennomføring i brannklassifisert bygningsdel ikke må svekke konstruksjonens brannmotstand. Utførelsen kan dokumenteres ved prøving eller ved å benytte anerkjente løsninger.

4.2 Krav

For tester av branntekniske gjennomføringer anvendes NS-EN 1366-3. [3]

Ved branntesting brukes europeisk klassifisering av gjenstanders egenskaper for å unngå brann, der gjennomføringen skal oppfylle kravene for integritet (E) og isolasjon (I). Kravene for integritet og isolasjon for gjennomføringer er definert i NS-EN 1363-1.[4]

4.2.1 Integritet

Krav for godkjent integritet [4]

En bomullsdott holdes ved hjelp av rammen som den er montert i, mot prøvelegemets overflate i høyst 30 s eller til bomullsdotten er antent (definert som gløding eller flammning). Forkulling av bomullsdotten uten flammning eller gløding skal overses.

Prøvestykket skal ikke få åpninger eller gjennomtrengning av varme gasser som kan medføre antenning av prøvestykkets ueksponerte side eller tilstøtende materialer.

Kriteriene er følgende[5]

- Antenning eller gløding av bomullsstykket
- Sprekker og åpninger som er større enn 6 mm med lengde 150 mm og \varnothing 25 mm
- Vedvarende flamme (>10 s) på ueksponert side

4.2.2 Isolasjon

Krav til isolasjon [4]

- a) Øker middeltemperaturen over den opprinnelige middeltemperaturen med mer en 140 °C; eller
- b) Øker temperaturen i et hvilket som helst punkt (inklusive det bevegelige termoelementet) over den opprinnelige middeltemperaturen med mer en 180 °C

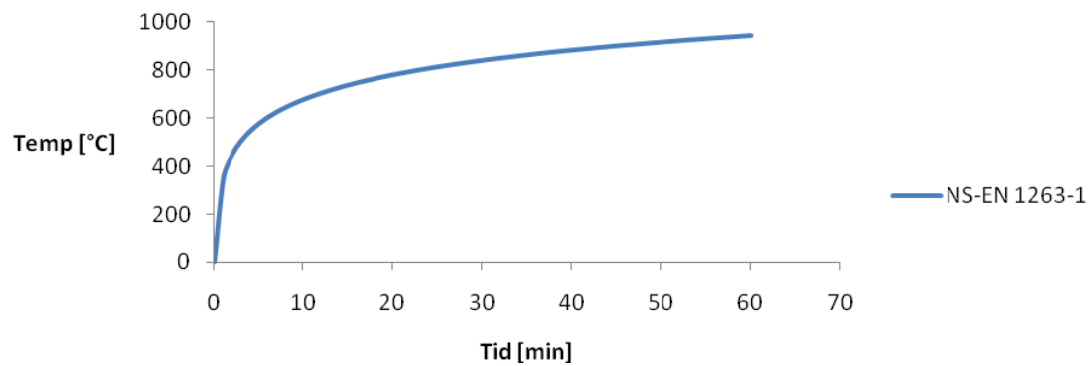
4.3 Spesielle krav for gjennomføringene

Gjennomføringene skal kontrolleres mot EI60. Denne klassifiseringen innebærer at gjennomføringen skal holde integritets- og isolasjonskravene i 60 min.

4.3.1 Temperatur i brannrom

Ifølge NS-EN 1363-1 skal en ovn anvendes slik at temperaturen i testrommet følger ISO-834 kurven, denne temperaturkurven kan ses i Figur 9. Formelen for ISO-834 kurven er følgende

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



Figur 9, ISO-834 kurven hentet fra NS-EN 1263-1

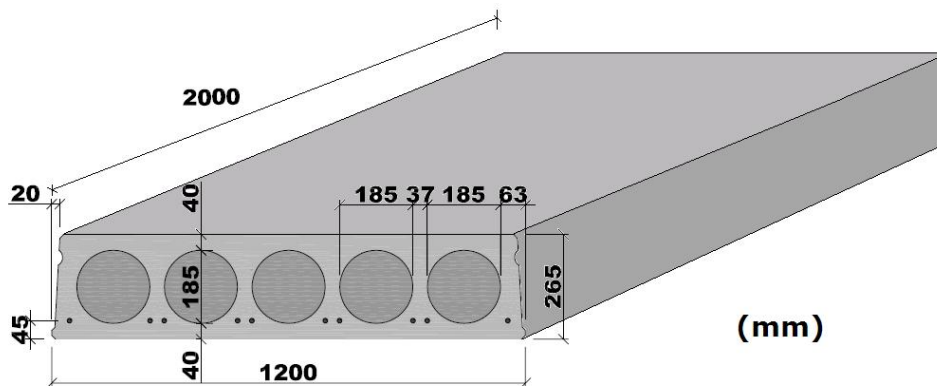
5. Metode

5.1 Hulldekker

Hulldekker er betongdekk med gjennomgående kanaler på tvers gjennom betongdekket. Kanalene gir hulldekker meget gode lydisolerende egenskaper som i kombinasjon med betongens brannisolerende egenskaper gjør hulldekket til et mye brukt bygningsmateriale.

Tykkelsen varierer ut fra profil og profilnummeret tilsvarer høyden til hulldekket i mm. Standard hulldekk er 1200 mm brede, og har store valgmuligheter på spennlengde. Hulldekkets store varierende spennlengde gir et meget fleksibelt bruksområde og hulldekker brukes blant annet i etasjeskiller, mezzanindekk og til takkonstruksjoner.

Kanalene i hulldekker reduserer betongforbruket med ca. 40 %, som igjen reduserer avfallet med 35 %, noe som gjør hulldekker til et økonomisk og miljøvennlig alternativ. Ved å bruke hulldekk kan byggetiden i enkelte tilfeller bli redusert helt opp mot 50 %.



Figur 10, Prøvestykke (HD265) med mål i mm

I forsøkene ble det brukt prøvestykker fra Nor Element AS, profil HD265, som er en av de vanligst brukte hulldekkene. Hulldekkene ble produsert med en spennlengde på 2000 mm og er vist Figur 10. Hulldekkene som ble brukt i testene hadde brannklassifisering REI90 og skal tilfredsstillte integritets- og isolasjonskravet i 90 min. I tillegg hadde hulldekkene krav til bæreevne.

Hulldekkene ble levert 24 dager innen første test og ble lagret utendørs under presenning. Optimalt skulle hulldekkene blitt montert direkte ved levering.

[Vedlegg G]

5.2 Gjennomføringer

I alle gjennomføringene ble betong brukt som branntetningsmasse. Rockwool ble dyttet inn i kanalene i utsparingene, samt i bunnen av gjennomføringen for at betongen skulle kunne fylles på i utsparingen. Ifølge Byggdetaljblad NBI 520.342 skal gjennomføringer i hulldekker med støpbare masser som tetning ha minimum avstand på 30 mm mellom røret og utsparingen på hver side. Betongen vil kunne hindre at varme og røyk spres gjennom gjennomføringen og kanalene i hulldekket. Betong er ikke en godkjent branntetningsmasse, og reagerer ikke på varme på samme måte som branntetningsmasse. De testede gjennomføringene vises i Tabell 5.

Tabell 5, Gjennomføringene med størrelse på utsparingene

	Rørtype	Utsparing [mm]	Øvrig
1	400 mm Ventilasjonsrør	500	
2	400 mm Ventilasjonsrør	500	
3	110 mm Soilrør	170	
4	110 mm Geberit Silent 4"	170	
5	16 mm K-rør	80	Uten brannfugemasse
6	16 mm K-rør	80	Med Brannfugemasse
7	32 mm Vannrør	100	Med vann

5.2.1 Ventilasjonsrør

Ventilasjonsrørene var av typen Spirorør, fremstilt av galvanisert stål. De brukes for fjerne forurensninger, varmeoverskudd og fuktighet. [6] For beskyttelse mot brann ble rørene kledd med et 30 mm tykt lag med "Glava plate/matte 33", rundt og under røret inne i testtrigen. [7] "Glava plate/matte 33" er sertifisert av DNV som et ubrennbart materiale. [Vedlegg H]

Ventilasjonsrørene anvendt i testene ble levert og installert av GK Norge AS. Et installert ventilasjonsrør kan ses i Figur 11.



Figur 11, Ventilasjonsrøret (a) Sett ovenfra (b) Sett fra undersiden

5.2.2 Soilrør

Soilrør var det mest anvendte avløpsrør fram til begynnelsen av 1960-tallet da plastrør kom på banen. Figur 12 viser soilrør som er framstilt i støpejern og har stor resistans mot brann fordi det ikke er brennbart. Det kan anvendes i tilfeller der gjennomføringer går gjennom branncellebegrensende vegger.

Jernet i rørene korroderer med oksygenet i vannet og luften, og det regnes i snitt at rørene korroderer med 1 mm hvert 10. år, med store variasjoner der noen steder kan være upåvirket mens andre områder kan være betydelig påvirket.

Soilrør brukt under testen var helt nytt og upåvirket av korrosjon. For å hindre røyk i å trenge gjennom røret ble et støpejernslokk plassert på undersiden av soilrøret. [8]



(a)



(b)

Figur 12, Soilrør (a) Sett ovenfra (b) Sett fra undersiden

5.2.3 Geberit Silent 4"

Geberit tilbyr avløpsrør fremstilt av det miljøvennlige råstoffet polyetylen som beskytter mot belastninger som blant annet kulde, varme, kjemikalier og aggressivt avløpsvann. Geberit tilbyr tre forskjellige avløpstyper, deriblant Geberit Silent 4".[9]

Geberit Silent 4", som vises i Figur 13, er et lydisolerende avløpsrør av plast. Røret brukes primært i boliger, kontorer, hoteller og sykehus. På grunn av rørenes høye densitet har de svært gode lyddempende egenskaper.

Røret har stor motstandskraft mot både varme og kulde. Det tåler varme helt opp mot 80 °C, og også kokende vann i kortere perioder og holder meget høy slagfasthet helt ned mot -40 °C.

[Vedlegg I]

For å hindre røyk i å trenge gjennom røret ble rockwool dyttet opp i enden av røret.



(a)



(b)

Figur 13, Geberit Silent 4" (a) Sett ovenfra (b) Sett fra undersiden

5.2.4 Korrugert el-rør (K-rør)

Korrugerte el-rør, som også blir kalt K-rør, er fleksible plastrør framstilt av polyvinylklorid (PVC), og er godkjent for bruk alene eller med glatte plastrør. K-rør er både NEMKO-godkjent og CE-merket.[10]

I testene ble det brukt to stykker K-rør. Det ene inneholdt tre elektriske ledninger, mens det andre ble fylt med brannfugemasse fra Protecta. Dette kan ses i Figur 14. [Vedlegg J]



Figur 14, K-rør, (a) m/brannfugemasse sett ovenfra (b) m/brannfugemasse sett fra undersiden (c) Protecta brannfugemasse (d) u/brannfugemasse sett ovenfra (e) u/brannfugemasse sett fra undersiden

5.2.5 Vannrør

I testene ble det anvendt et vannrør fremstilt i polyetylen, vist i Figur 15, som går under kategorien PE-rør.

PE-rør har gode strekkfaste egenskaper og er svært fleksible samt at rørene er korrosjonsbestandige. Dette gjør dem til et svært anvendelig materiale både i vann og på land. Rørene har en antennelsestemperatur på 380 °C, og er sertifisert i henhold til NS 3622. [11]

Røret som ble brukt, var produsert av Brødrene Dahl AS og er ved normaltilfeller fylt med vann. Før testen ble vannrøret fylt med vann og i tillegg ble det etterfylt for å simulere en reell situasjon.



(a)



(b)

Figur 15, Vannrør (a) Sett ovenfra (b) Sett fra undersiden

5.3 Betong

Ved samtlige gjennomføringer ble Maxit tørrbetong B20 brukt som støpemiddel. Maxit tørrbetong B20 er en tørrbetong på sementbasis som benyttes i mindre støpearbeid der det ikke stilles spesielle krav til trykkfasthet eller bestandighet.

Støpingen av gjennomføringene ble gjennomført, 5 dager innen første forsøk, av fagfolk ifølge foreskrift. Ved støpingen var temperaturen utendørs 8°C.

[Vedlegg K]

5.4 Rockwool

Rockwool ble brukt som forskaling og ble plassert i bunnen av gjennomføringen og i kanalene. Rockwool i kanalene kan ses i Figur 16.

Rockwool er et ubrennbart isoleringsmateriale [Vedlegg L] som brukes i blant annet bolig- og industribygg. I Tabell 6 vises de ulike egenskapene for rockwool ved påvirkning av brann.

Tabell 6, Spesifikasjoner for rockwool

Spesifikasjoner	
Brannklasse	A1
Varmeledningsevne	0,037 [W/mK]
Varmeoverføringskoeffisient	0,377 [W/m ² K]
Tykkelse	98 [mm]



Figur 16, Rockwool i kanalene



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

SKANSKA

5.5 Glava

For å unngå utettheter mellom hulldekk og testrigg ble glassull av type Glava brukt som tetting. Glava brukes som varme, lyd og brannisolering av vegger og tak, både i nye og gamle bygg. Teknisk informasjon om den brukte type Glava kan ses i Tabell 7.

Tabell 7, Spesifikasjoner for Glava

Spesifikasjoner	
Brannklasse	A1
Varmeledningsevne	0,037 [W/mK]
Tykkelse	150 [mm]

[Vedlegg M]

5.6 Testoppsett

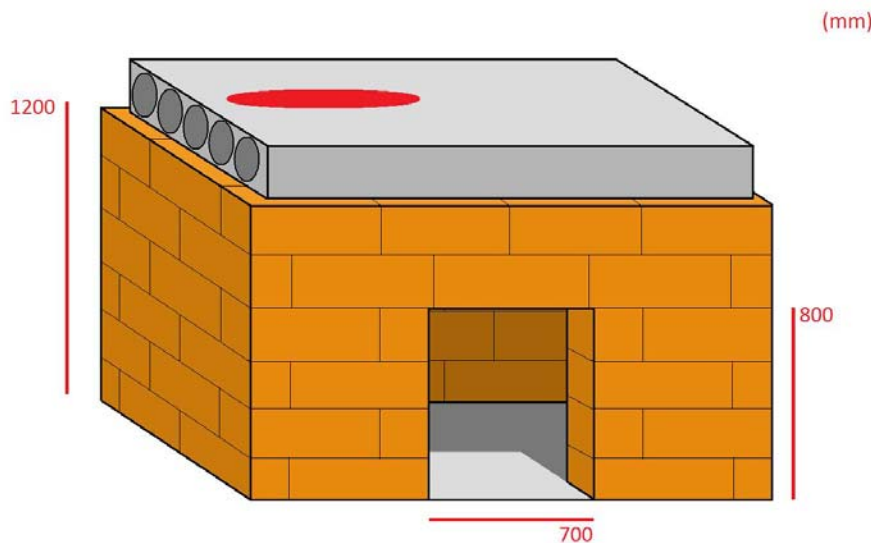
Før testene ble et hulldekk plassert oppå en testrigg av lettbetongblokker. Gjennomføringene gikk gjennom hulldekket på den venstre siden av testriggen, mens et kar med diesel var plassert i midten av den høyre delen av testriggen. Karet ble jevnlig etterfylt med diesel gjennom et rør som gikk igjennom den bakre veggen.

Brannen og gjennomføringene ble plassert på hver side av rommet for å begrense flammepåvirkningen på gjennomføringene.

5.6.1 Testrigg

I testene ble det brukt en testrigg bygd av lettbetongblokker, som vist i Figur 17. Innsiden av rommet målte 1000 mm (B) X 1500 mm (L) X 1200 mm (H). På fremsiden ble det konstruert en ventilasjonsåpning på 700 mm (B) X 800 mm (H), og som gulv ble LECA blokker lagt for beskyttelse av betongen på ResQ.

Hulldekkene ble plassert oppå riggen og dannet taket på testrommet. Mellom hulldekke og testrigg ble det plassert Glava for å begrense spredning av røyk og varme.



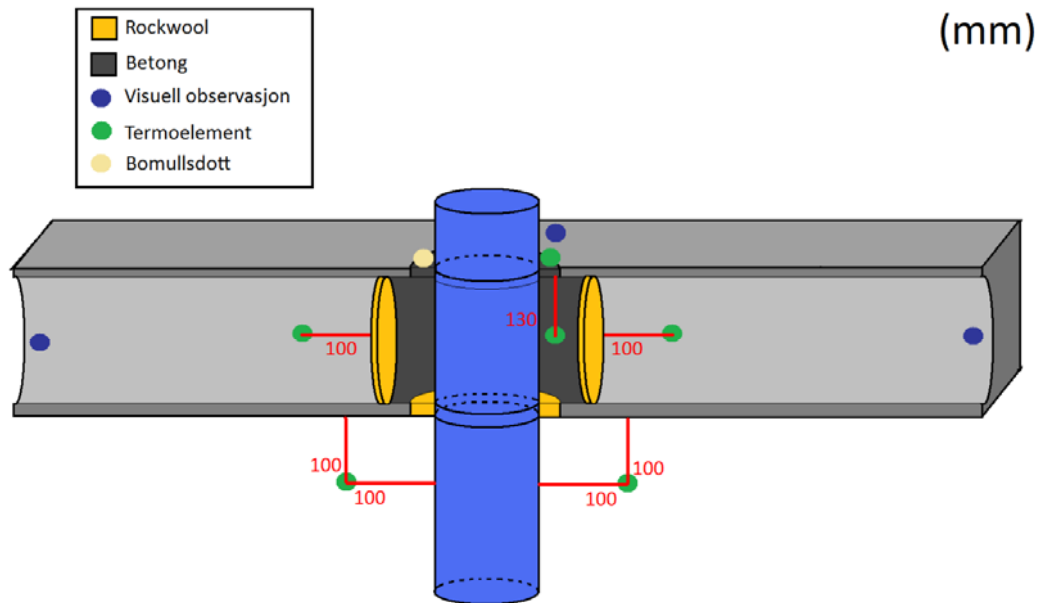
Figur 17, Design av testrigg med mål

5.6.2 Måleutstyr

Integritet

For dokumentering av integritet var kamera plassert slik at gjennomføringene ble observert ovenfra og i kanalene på både høyre og venstre side. Kameraet ovenfra ble brukt for å dokumentere eventuelle sprekker i betongen i gjennomføringene og for å dokumentere hvordan rørene i gjennomføringene oppførte seg. Kameraene ved kanalene ble brukt for å detektere røykspredning gjennom kanalene. Figur 18 viser hvor måleutstyret ble plassert.

Ved integritetstesten ble en bomullsdott holdt mot gjennomføringene ved hjelp av en pinne i 30 s. Denne testen ble gjennomført vært 5 min gjennom hele testen.



Figur 18, Beskrivelse av gjennomføringer samt plassering av måleutstyr

Isolasjon

For hver enkelt gjennomføring ble termoelementer plassert på følgende steder

- Midt i betongen, 13 mm ned i gjennomføring
- Oppå betongen til gjennomføringen (Ved test 1 og 2 anvendes to termoelementer oppå)
- 100 mm til venstre i aktuelle kanaler
- 100 mm til høyre i aktuelle kanaler
- 100 mm til venstre for gjennomføringen i rommet*
- 100 mm til høyre for gjennomføringen i rommet*

*ved test 4 ble kun ett termoelement ved hver gjennomføring.

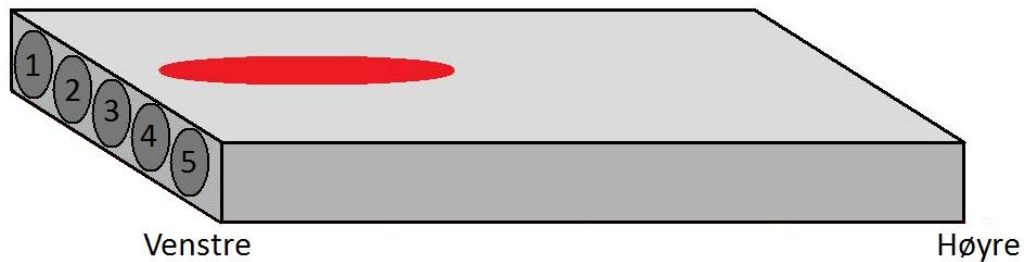
For eksakt plassering av termoelementer se Vedlegg N.

6. Resultater

I dette kapitlet blir det tatt for seg testresultatene fra forsøkene utført ved ResQ i Haugesund. Hver test er oppdelt i en generell del der brannen og hulldekkets oppførsel blir presentert, samt en presentasjon av hver gjennomførings oppførsel og temperatur under testen.

Fra temperaturmålingene i rommet er det beregnet en middeltemperatur og gjennomført en sammenligning mot ISO-834 kurven.

Figur 19 viser hvordan kanalene og sidene vil bli omtalt videre i oppgaven.



Figur 19, Beskrivelse av kanalene i hulldekket sett fra venstre mot høyre,

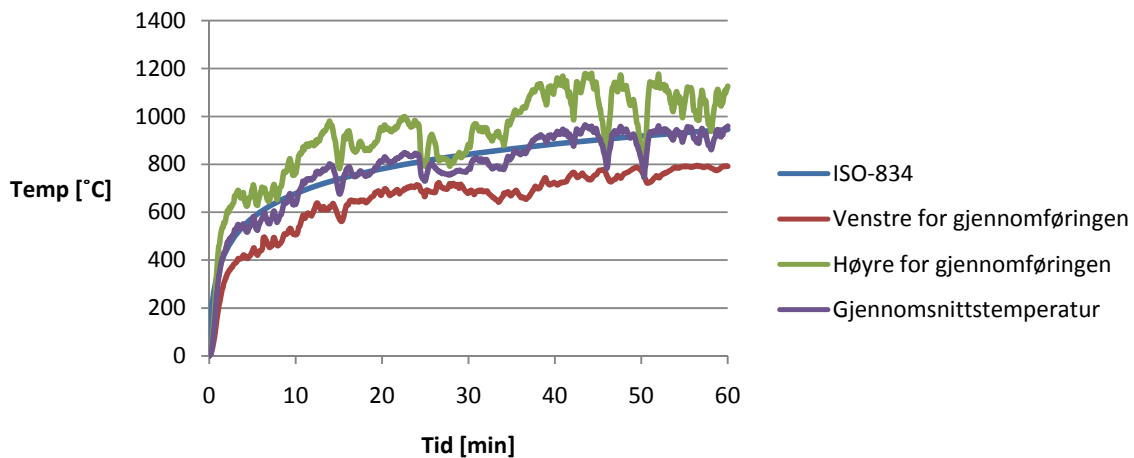
6.1 Test 1 – Ventilasjonsrør

6.1.1 Generelt

Følgende test ble utført med et ventilasjonsrør, diameter på 400 mm, som gjennomføring.

Ventilasjonsrøret gikk gjennom kanalene 2,3 og 4.

Figur 20 viser temperaturmålingene i rommet.



Figur 20, Temperatur/Tid graf inne i rommet for Test 1, med en beregnet middeltemperatur

6.1.2 Visuelle observasjoner

Tabell 8, Visuelle observasjoner for test 1

Tidspunkt	Hendelse
1-10 min	Huldekkets ytre lag sprenger ut fra rommet og bitene lander 5-6 m utenfor testrommet.
7 min	Kanal 3 i huldekket sprekker
14 min	Diesel lekker fra karet, begynner å brenne på bakken utenfor rommet.
15 min	Huldekket har sprukket på begge sider i kanalene
22 min	Plastlokket over ventilasjonsrøret smelter, og faller ned.
24 min	Plastlokket begynner å brenne.

Med fine vær- og vindforhold holdt brannen seg svært stabil under hele testperioden på 60 min, med unntak da en stor bit av betongen falt oppi karet og diesel rant ut på gulvet i rommet og begynte å brenne kraftig. Figur 21 viser denne kraftige flammeøkningen der det begynner å brenne på gulvet.



Figur 21, Flammer ut av testrommet, og til høyre vises hvordan brennende diesel rant utover LECA-blokkene

Det dannet seg synlige sprekker i hulldekket under forsøket, noe som sørget for at store mengder røyk ble spredt gjennom kanalene i hulldekket.

Gjennomføringen viste ingen tegn til belastningskader fra brannen og holdt seg stabil under forsøket. Det ble observert små sprekker i ytterkanten av gjennomføringen mot slutten av forsøket, som fulgte sprekkenes i kanalene. Sprekkenes vises i Figur 22.

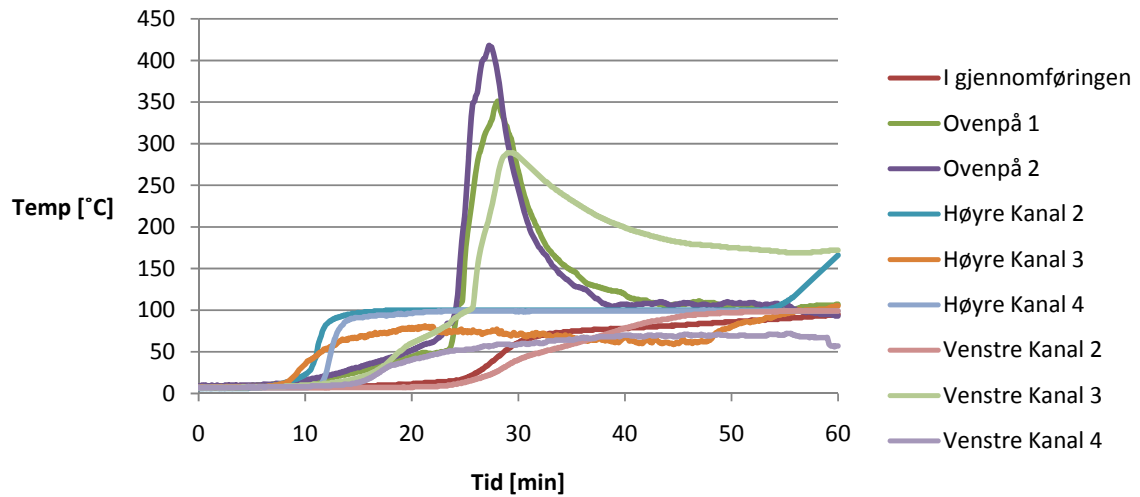


Figur 22, Sprekkdannelse ved ventilasjonsrør, test 1

Integritetstesten der en bomullsdott ble dyttet mot oversiden av gjennomføringen i 30 s holdt gjennom hele forsøket. Det ble observert tegn til forkulling da plastlokket over ventilasjonsrøret tok fyr.

6.1.3 Temperaturmålinger

Figur 23 viser temperatuene som ble målt inne i og på hulldekket



Figur 23, Temperaturmålingene i kanalene, over gjennomføringen og inne i gjennomføringen for Test 1

Målingene viste en kraftig økning etter 25 min ut i forsøket der de to termoelementene plassert over gjennomføringen steg fra rundt 50 °C til over 350 °C på få minutter. I dette tidspunktet smeltet plastlokket og tok deretter fyr. Flammene sto ut av ventilasjonsrøret i et par minutter til lokket hadde brent opp og temperaturen sank deretter ned til omkring 100 °C. Denne prosessen kan ses i Figur 24. I tillegg viste kanal 3 på venstre side en lignende økning på samme tidspunkt med temperaturer i underkant av 300 °C.



Figur 24, Test 1 da plastlokket over gjennomføringen smeltet og begynte å brenne

Resten av målepunktene holdt seg omkring 100 °C med unntak av Høyre Kanal 2 som steg med 75 °C de siste 5 minuttene av testen. Figur 25 viser gjennomføringen etter endt forsøk.



Figur 25, Ventilasjonsrøret og hulldekket etter endt test

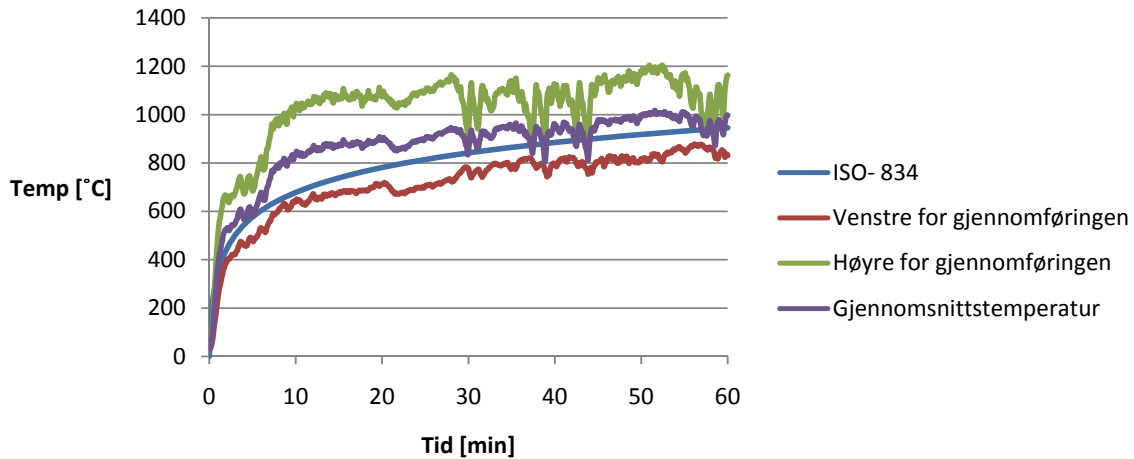
6.2 Test 2 – Ventilasjonsrør

6.2.1 Generelt

I test 2 ble det testet samme type ventilasjonsrør som i test 1. Den eneste modifikasjonen som ble gjort kontra den forrige testen var å fjerne plastlokket over ventilasjonsrøret.

Ventilasjonsrøret gikk gjennom kanalene 2,3 og 4.

Termoelementene ble plassert likt som i det tidligere forsøket, til venstre og til høyre for ventilasjonsrøret. Figur 26 viser temperaturmålingene i rommet.



Figur 26, Temperatur/Tid graf inne i rommet for Test 2, med en beregnet middelverdi

6.2.2 Visuelle observasjoner

Tabell 9, Visuelle observasjoner for test 2

Tidspunkt	Hendelse
1-10 min	Hulldekkets ytre lag sender steinskudd ut fra rommet og de lengste bitene lander 14 m utenfor testrommet.
6 min	Røyk ut av kanaler på venstre side, liten sprekk i hulldekket
10 min	Sprekk i kanalene på høyre side av hulldekket
18 min	Stor sprekk i kanal 1 på høyre side
21 min	Hulldekket sprenger høyt inne i rommet
44 min	Svart røyk ut av kanal 1 på venstre side
50 min	Stor sprekk tvers igjennom kanal 1 på venstre side

Brannen holdt seg stabil og med lite turbulens under hele forsøketiden. De første 10 min sprengte betongens ytterste lag i og utenfor testrommet. Dette skapte noe turbulens i brannen ved at steinskudd traff oppi karet og noe brennende diesel ble sølt ut av karet. Etter ca. 10 min sluttet steinskudd og brannen holdt seg stabil med unntak av et stort smell fra betongen etter 21 min. Etter forsøket ble det observert store flak betong fra hulldekket i testrommet.

Gjennomføringen holdt seg uforandret gjennom forsøket, ingen røyk ble observert i ventilasjonsrøret.

Kanalene i hulldekket sprakk tidlig opp og røyk trengte gjennom hulldekket og ut i kanalene. Mot slutten av forsøket ble det observert en liten sprekk i gjennomføringen, men ingen gjennomtrengning av røyk ble observert. Dette kan ses i Figur 27.

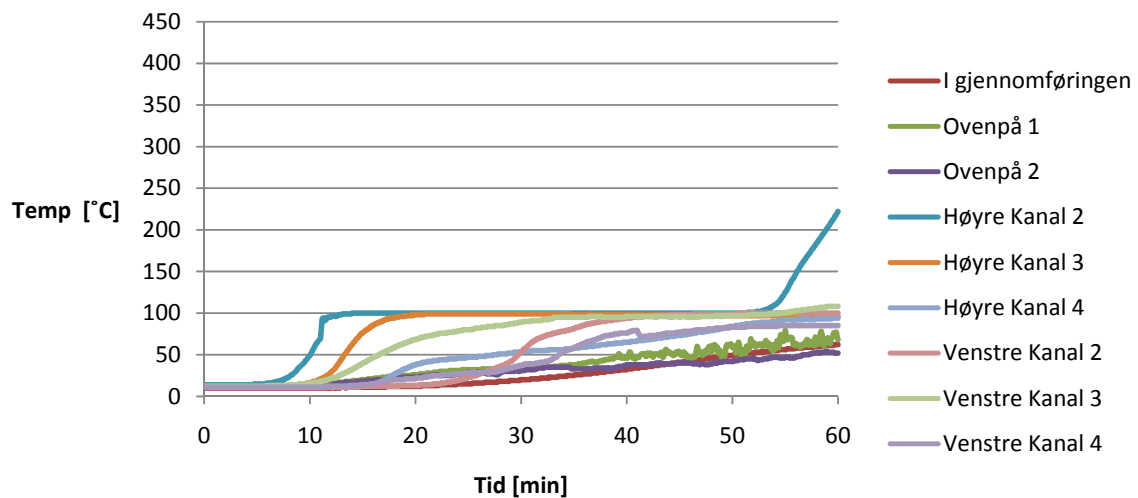
Integritetstesten gjennomført med pinne og bomullsdott var uberørt gjennom hele forsøket. Ingen forkulling av bomullen ble observert.



Figur 27, Ventilasjonsrøret og hulldekket etter endt test

6.2.3 Temperaturmålinger

Figur 28 viser temperatuene målt inne i og oppå hulldekket.



Figur 28, Temperaturmålingene i kanalene, over gjennomføringen og inne i gjennomføringen for Test 2

Målingene viste at etter 10 min hadde temperaturen i høyre kanal 2 steget til omtrent 100 °C. Denne temperaturen holdt seg helt til de siste 10 min da temperaturen steg til over 200 °C. I samme kanal ble det observert en sprekk som utvidet seg gjennom hele forsøket.

Målingen gjort 130 mm ned i gjennomføringen viste en temperaturøkning etter 25 min der temperaturen så vidt oversteg 50 °C. Dette var også tilfellet for begge termoelementene, over gjennomføringen, som viste maksimumstemperaturer i underkant av 75 °C.

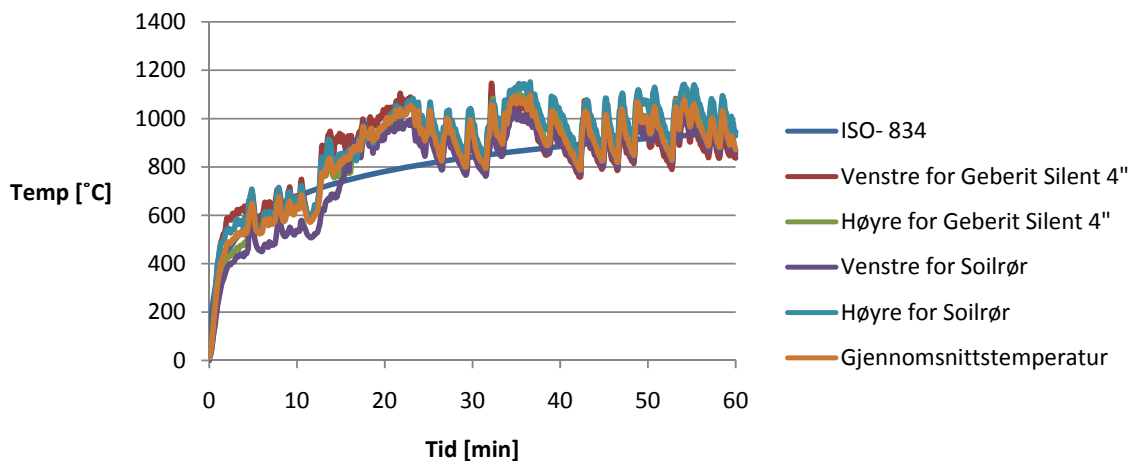
De resterende temperaturmålingene viste resultater der de høyeste temperaturene var i overkant av 100 °C.

6.3 Test 3 – Soilrør og Geberit Silent 4”

6.3.1 Generelt

Forsøket ble utført med to gjennomføringer der begge rørene hadde en diameter på 110 mm. Soilrøret er et ubrennbart avløpsrør mens Geberit Silent 4” har meget gode lydisolerende evner, men er brennbart.

Geberit Silent 4” røret gikk gjennom kanal 4, og soilrøret gjennom kanal 2. Forsøket ble utført med to gjennomføringer og det ble plassert to termoelementer ekstra inne i testrommet, slik at temperatur ble målt på begge sider av hver gjennomføring. Disse temperaturene vises i Figur 29.



Figur 29, Temperatur/Tid graf inne i rommet for Test 3, med en beregnet middelverdi

6.3.2 Visuelle observasjoner

Tabell 10, Visuelle observasjoner for test 3

Tidspunkt	Hendelse
1-10 min	Hulldekkets ytre lag sender lange steinskudd ut fra rommet.
4 min	Geberit Silent 4” smelter på innsiden av testrommet og faller på bakken
4,5 min	Geberit Silent 4” begynner å brenne
5 min	Gul røyk ut av Soilrøret
5,5 min	Hulldekket begynner å slå sprekker i kanalene
8,5 min	Geberit Silent 4” smelter på oversiden
32 min	Kapselen på Soilrøret faller av, flammer og svart røyk observeres
50 min	Synlige flammer ut av kanal 1 på høyre side

Sterkere vind hadde innvirkning på hvor stabilt flammene brant i testrommet. Utstikkende del av Geberit Silent 4” røret smeltet inne i rommet etter 4 min og falt ned på bakken etter 5 min. Røret brant gjennom hele forsøket og fortsatte å brenne etter endt forsøk. Dette kan ses i Figur 30 (a). Med åpent rør ble røyk observert ut gjennom røret over hulldekket. Den observerte røyken stoppet da røret smeltet på oversiden og la seg over utsparingen etter 8,5 min. Dette kan ses i Figur 30 (b). Det smeltede røret blokkerte røyk fra å trenge gjennom under resten av forsøket.



(a)

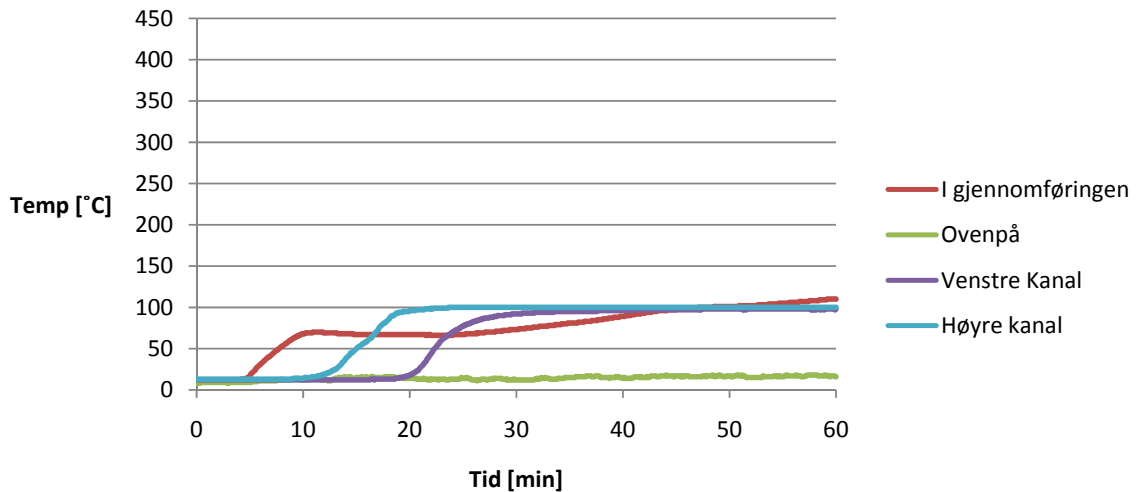
(b)

Figur 30, Test 3 (a) Det smeltede Geberit røret brenner på bakken (b) Lys og gul røyk ut av soilrøret

Det kom tidlig røyk fra soilrøret, røyken var tynn og gul. Dette vises i Figur 30. Det ble observert et fargeskifte på soilrøret da det ble varmere. Etter 32 min falt lokket på undersiden av soilrøret av. Dette lokket skulle beskytte røret mot røyk og flammer. Et par minutter etter at lokket falt av ble det observert flammer ut av soilrøret, samt et raskere fargeskifte og temperaturøkning. I ettertid av testen viste lokket at metallfestet som klemte lokket fast til røret hadde fått en betydelig utvidelse.

Bomulsdotten i integritetstesten var uberørt og viste ikke tegn til forkulling for verken soilrøret eller Geberit Silent 4".

6.3.3 Temperaturmålinger Geberit Silent 4"



Figur 31, Temperaturmålingene i kanalene, over gjennomføringen og inne i gjennomføringen for Geberit Silent 4"

Figur 31 viser at temperatuene i kanalen og inne i gjennomføringen holdt seg rundt 100 °C. Termoelementet lokalisert over gjennomføringen viste minimal temperaturøkning. Da Geberit Silent 4" røret smeltet, sank det over termoelementet og etter testen måtte termoelementet skjæres vekk fra røret. Figur 32 viser hvordan Geberit Silent 4" smeltet, begynte å brenne og la seg over termoelementet.



(a)



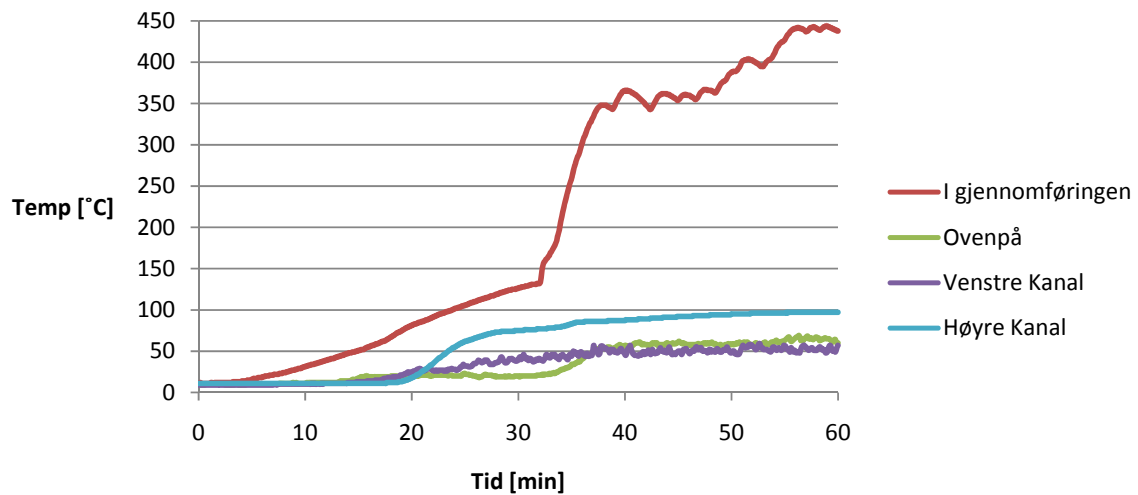
(b)



(c)

Figur 32, Test 3 (a) Geberit Silent 4" har falt ned og brenner (b) smeltede Geberit Silent 4" på oversiden (c) Geberit røret smeltet over termoelementet slik at det ble forskjøvet

6.3.4 Temperaturmålinger for Soilrøret



Figur 33, Temperaturmålingene i kanalene, over gjennomføringen og inne i gjennomføringen for Soilrøret

Figur 33 viser at det ble en tydelig temperaturøkning da lokket på undersiden av soilrøret falt ned. Figur 34 viser soilrøret oppå etter at lokket på undersiden hadde falt av. Det var en jevn temperaturøkning før denne hendelsen.

Termoelementet i gjennomføringen ble varmere enn de andre termoelementene. Disse holdt seg mellom 50 °C og 100 °C og befant seg ved sidene av gjennomføringen.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

SKANSKA



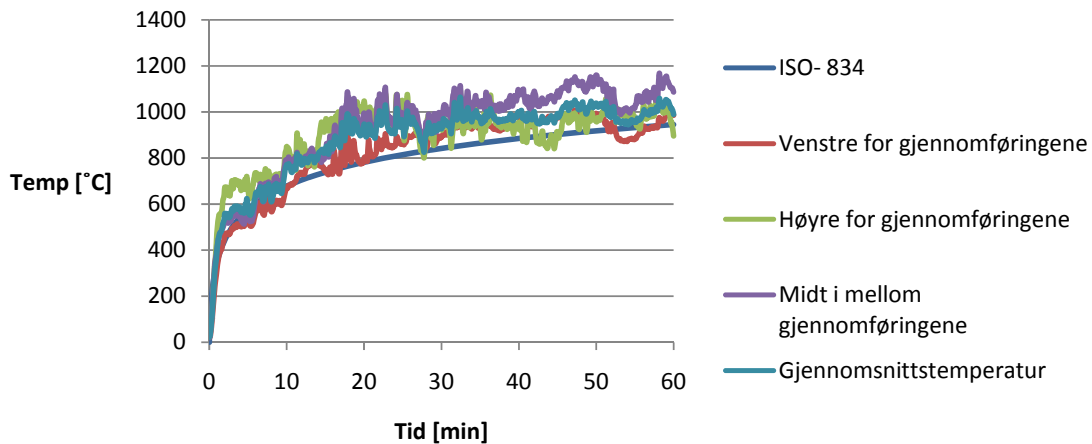
Figur 34, Synlige flammer ut av soilrøret under test 3

6.4 Test 4 – Vannrør, K-rør m/brannfugemasse og K-rør u/brannfugemasse

6.4.1 Generelt

Siste testen ble utført med to typer K-rør, diameter 16 mm, der det ene var tettet med brannfugemasse. Det ble også testet et vannrør av plast, diameter 32 mm, som ble fylt opp med vann for å simulere en realistisk situasjon der røret konstant er fylt med vann. Vannrøret gikk gjennom kanal 3, mens K-rør uten og med brannfugemasse gikk gjennom henholdsvis kanal 2 og 4.

I denne testen ble det valgt å bruke 3 termoelement. Termoelementene ble plassert midt i rommet mot venstre, med en avstand på 300 mm mellom hverandre. Figur 35 viser temperaturene i rommet under test 4.



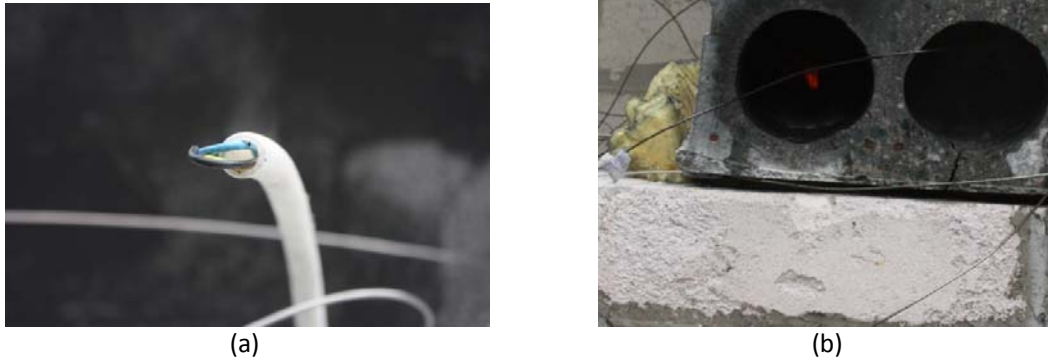
Figur 35, Temperatur/Tid graf inne i rommet for Test 3, med en beregnet middelverdi

6.4.2 Visuelle observasjoner

Tabell 11, Visuelle observasjoner under test 4

Tidspunkt	Hendelse
1 min	Damp ut av vannrøret
1-10 min	Hulldekkets ytre lag sender lange steinsprut ut fra rommet.
2 min	Samtlige rør har falt ned
9 min	Røyk kommer ut av kanalene
45 min	Synlige flammer fra Kanal 1 på høyre side

Kort tid etter testens start smeltet alle rørene og datt ned i rommet. Etter disse hendelsene kom det røyk igjennom K-røret uten brannfugemasse og vannrøret, vist i Figur 36 (a). Alle rørene holdt seg hele på oversiden under hele testen.

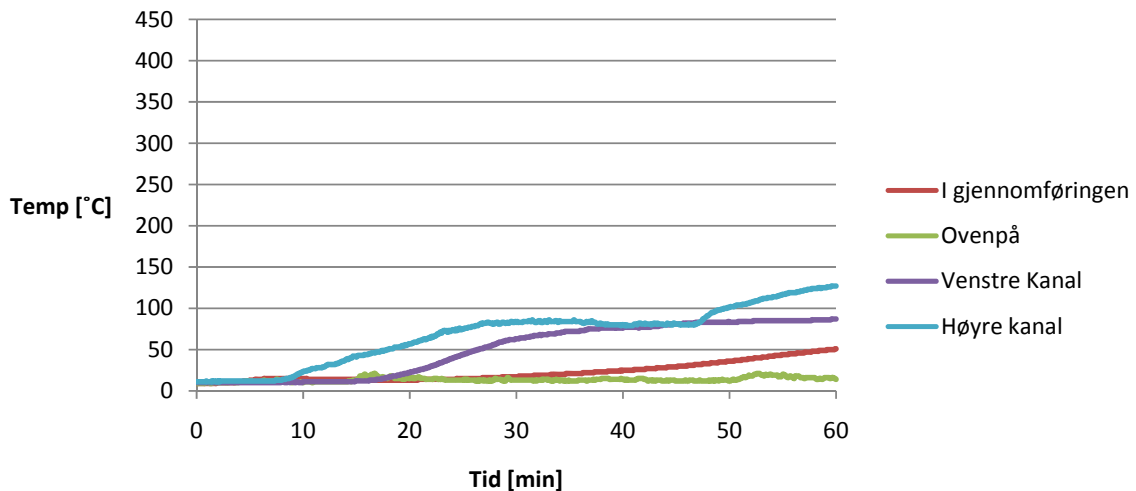


Figur 36, Test 4 (a) Røyk ut av K-Rør u/brannfugemasse (b) Flammer i kanal 1

Kanalene i hulldekket begynte tidlig å slå sprekker. Mot slutten av forsøket ble det observert en stor sprekke på høyre side av kanal 1. Sprekken var så stor at gassene i kanalen tidvis tok fyr, som ses i Figur 36 (b).

Integritetstesten som ble utført hvert 5. min på hver gjennomføring, viste ingen tegn til antenning eller forkulling av bomulldottene.

6.4.3 Temperaturmålinger for vannrøret

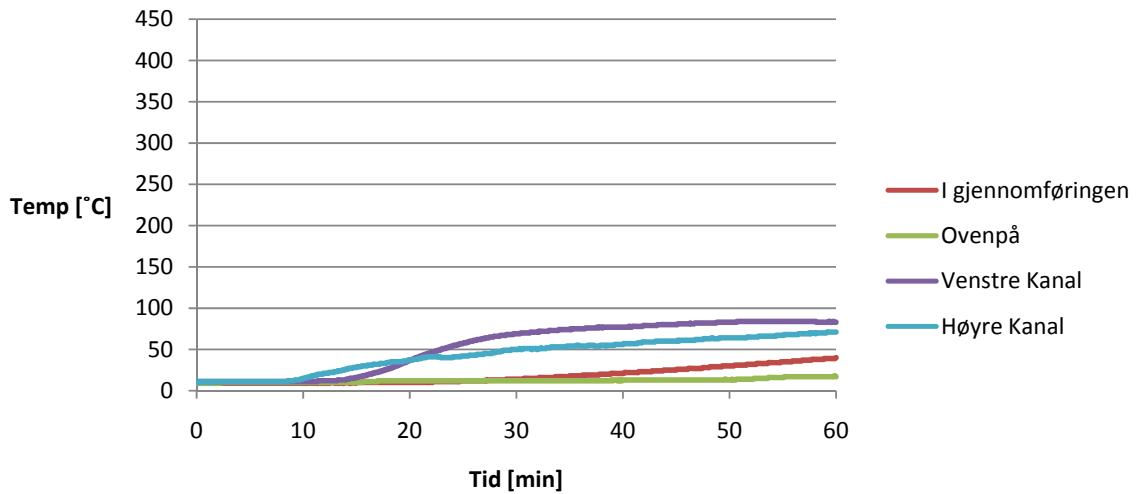


Figur 37, Temperaturmålingene i kanalene, over gjennomføringen og inne i gjennomføringen for vannrøret

Figur 37 viser at det var størst temperaturøkning i kanalene på hver side av gjennomføringen, der temperaturene lå omkring 100 °C. I kanalen hadde det dannet seg synlige sprekker under forsøket.

Termoelementet i gjennomføringen steg til 50 °C mot slutten av testen, men temperaturøkningen begynte ikke før etter ca 30 min. Oppå gjennomføringen viste målingene minimal temperaturøkning gjennom hele testen.

6.4.4 Temperaturmålinger for K-rør m/brannfugemasse

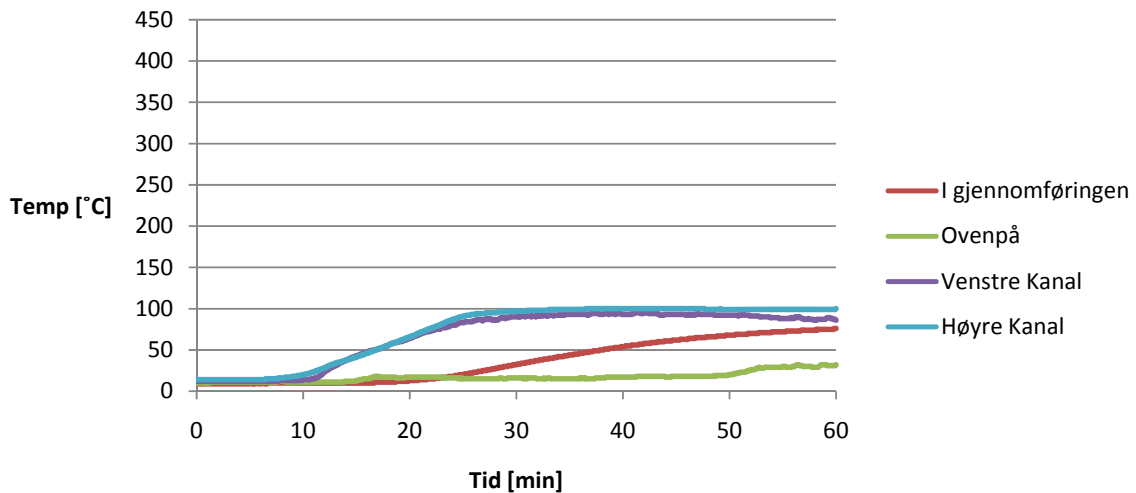


Figur 38, Temperaturmålingene i kanalene, over gjennomføringen og inne i gjennomføringen for K-rør m/brannfugemasse

Figur 38 viser at det var størst temperaturøkning i kanalen, hvor det kun var en økning på drøye 75 °C. Sprekkene i kanalen var mindre enn sprekkene som dannet seg i kanalen til vannrøret.

Videre var det minimal temperaturøkning inne i gjennomføringen. Denne nådde kun 40 °C på sitt høyeste, men holdt seg på initialtemperatur i ca. 30 min. Oppå gjennomføringen var økningen kun et par grader.

6.4.5 Temperaturmålinger for K-rør u/brannfugemasse



Figur 39, Temperaturmålingene i kanalene, over gjennomføringen og inne i gjennomføringen for K-rør u/brannfugemasse



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

SKANSKA

Figur 39 viser temperaturmålingene ved K-rør uten brannfugemasse. Kanalen på begge sider av gjennomføringen viste en økning opp til 100 °C i tidsrommet 10-25 min. Etter denne økningen holdt temperaturene seg stabile.

Termoelementet i gjennomføringen steg til 75 °C mot slutten av testen, noe som var i underkant av 50 °C høyere enn samme gjennomføring med brannfugemasse. Oppå gjennomføringen holdt temperaturen seg svært lik de øvrige gjennomføringene i samme testen, og nådde en maksimum temperatur på rundt 30 °C.

7 Diskusjon

7.1 Sprekkdannelse

Hulldekkene brukt under testene var ifølge leverandøren konstruert for å tilfredsstille REI90. Hulldekket skal med andre ord ikke spreke eller oppnå en overflatetemperatur på over 180°C etter 90 min. Hos SINTEF NBL testes hulldekkene i en varmeovn og lagres innendørs over lang tid for at hulldekkene skal være tørre og akklimatiserte.

Under testene ble det dannet sprekker på langs i samtlige av hulldekkenes kanaler*.

Sprekkdannelsen i hulldekkene kan skyldes at betongen som ble brukt i gjennomføringene ekspanderte og forårsaket sprekker i hulldekket. En annen årsak kan være at hulldekkene, som inneholdt mye fukt, ble utvidet under oppvarmingen.

Tabell 12, Oversikt over sprekker sett forfra, RØD tekst indikerer en gjennomføring gikk igjennom kanalen (høyre side)

Høyre side					
	Kanal 1	Kanal 2	Kanal 3	Kanal 4	Kanal 5
Test 1	Oppe		Oppe	Oppe	
	Nede	Nede	Nede	Nede	Nede
Test 2	Oppe	Oppe		Oppe	Oppe
	Nede	Nede			Nede
Test 3		Oppe			Oppe
	Nede	Nede	Nede	Nede	Nede
	Mot 2 Mot utsiden				
Test 4	Oppe		Oppe	Oppe	Oppe
	Nede	Nede	Nede	Nede	Nede

* Disse sprekkene (bortsett fra kanal 1 i test 3) oppstod ved armeringen samt der hulldekket var tynnest (i bunnen og toppen av kanalene)

Tabell 13, Oversikt over sprekker sett forfra, RØD tekst indikerer en gjennomføring gikk igjennom kanalen (venstre side)

Venstre side					
	Kanal 1	Kanal 2	Kanal 3	Kanal 4	Kanal 5
Test 1	Oppe		Oppe		
	Nede	Nede	Nede	Nede	Nede
Test 2			Oppe		Oppe
		Nede	Nede		Nede
Test 3		Oppe	Oppe		
		Nede	Nede	Nede	Nede
Test 4		Oppe	Oppe	Oppe	Oppe
		Nede	Nede	Nede	Nede

Som Tabell 12 og

Tabell 13 viser ble det ikke dannet sprekker spesifikt i de kanalene som hadde gjennomføringer. Sprekkdannelsen viste ikke tegn til et mønster, men ble dannet tilfeldig i hulldekket.

Testene med ventilasjonsrør var de eneste som viste tegn til sprekker i gjennomføringene innen forflytting. Disse sprekke ble observert sammen med sprekker dannet i hulldekkene. Hadde betongen ekspandert, ville ventilasjonsrørene blitt deformert av den ekspanderende betongen. Dersom betongen hadde ekspandert, ville det oppstått sprekker ved det stive soilrøret og ikke ved det fleksible Geberit Silent 4" røret.

Under testene ble fukt og damp observert rundt sprekke, og boblende vann ble observert ved armeringen i hulldekket. Dette vises i Figur 41 og Figur 42. Som vist i Figur 40, oppstod det steinskudd da hulldekkenes framside kom i kontakt med flammene fra rommet. Dette skyldtes med stor sannsynlighet at hulldekkene inneholdt store mengder fuktighet. Dette kan begrunnes med at hulldekkene ikke ble lagret innendørs.



Figur 40, Steinskudd under test, ringet inn i hvitt



Figur 41, Boblende vann observert fra armeringen



Figur 42, Fukt observert i sprekker fra oversiden

Selv med sprekker i gjennomføringene, var sprekke så små at kravene for integritet ble oppfylt.

Før brenning hadde begge K-rør diameter mindre enn maksimal diameter for sprekke ifølge SINTEF NBL, og ingen forskjell i sprekke dannelse ble oppdaget for gjennomføringene. Verken K-røret med eller uten brannfugemasse sprakk opp, dette indikerer at selv om mindre sprekke oppstår i gjennomføringen, utvides ikke utsparingen under brann.

7.2 Røykspredning

Godkjente integritetskrav tilsier at gjennomføringene ikke skal tilføre røykspredning på overflaten eller i kanalene eller slå sprekker lengre enn 150 mm med 6 mm bredde. Samtlige av gjennomføringene holdt kravet for sprekker, og ingen røyk ble observert.

Sprekker som oppstod i hulldekkene medførte at røyk ble spredt fra rommet opp til kanalene. Dette vanskeliggjorde observasjonene for røykspredning. I de tilfellene sprekker i kanalene ikke ble oppdaget, ble kun lys røyk observert. Lys røyk kan indikere vann og fukt som fordamper fra hulldekket. Tabell 14 og Tabell 15 viser de maksimale temperaturene inne i kanalene for alle testene.

Tabell 14, Maksimal røyktemperatur i kanalene ved test 1 og 2

Maksimal røyktemperatur, test 1 og 2						
	Vent 1			Vent 2		
	Kanal 2	Kanal 3	Kanal 4	Kanal 2	Kanal 3	Kanal 4
Venstre	99 °C	289 °C	57 °C	100 °C	108 °C	85 °C
Høyre	166 °C	105 °C	99 °C	222 °C	96 °C	94 °C

Tabell 15, Maksimal røyktemperatur i kanalene ved test 3 og 4

Maksimal røyktemperatur, test 3 og 4					
	Geberit Silent 4"	Soilrør	Vannrør	K-rør uten brannfugemasse	K-rør med brannfugemasse
Venstre	57 °C	98 °C	87 °C	86 °C	83 °C
Høyre	97 °C	100 °C	127 °C	100 °C	71 °C

Da sprekker ble oppdaget i hulldekkene, kunne en tydelig temperaturøkning i kanalene observeres. Temperaturene steg ved disse tilfellene opp til mellom 50 og 100 °C og holdt seg deretter stabile. Ved begge ventilasjonsrørene steg temperaturene til over 150 °C i enkelte kanaler. Hadde gjennomføringene blitt svekket, burde høyere temperaturer blitt observert i samtlige kanaler. Dette kan indikere utettheter eller sprekker i hulldekkene.

I test 1 ble plastikklokket ovenpå ventilasjonsrøret antent, og en rask temperaturøkning ble observert. Dette påvirket temperaturen i venstre kanal 3 der temperaturen steg til 290 °C samtidig som lokket tok fyr. Etter at lokket hadde brent opp, sank temperaturen til 170 °C.

Røykspredningen gjennom gjennomføringene og ut til kanalene er vanskelig å avgjøre på grunn av sprekke i hulldekket. Etter samtlige tester ble Rockwoolen, som ble brukt som innstøping i kanalene, undersøkt. Ingen av undersøkelsene viste skader eller indikatorer på at røyk hadde blitt spredt ut i kanalene fra gjennomføringene.

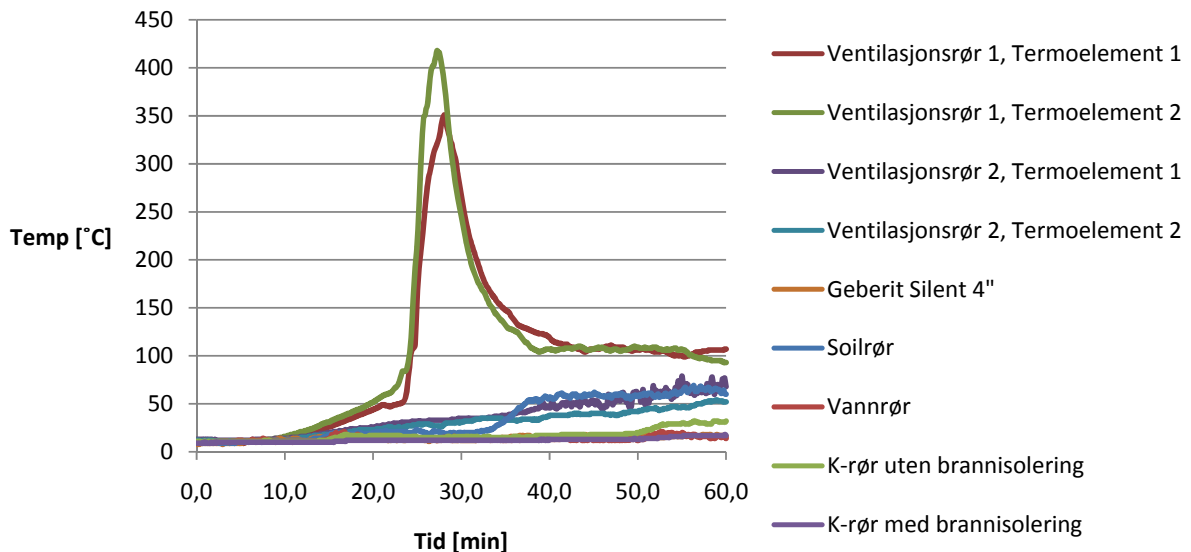
Ved fire tilfeller (Geberit Silent 4", vannrøret og K-rør med og uten brannfugemasse) smeltet røret på undersiden av hulldekket. Den smeltede plastikken kan ha forhindret røykspredning ved å ha tettet rørene.

7.3 Temperaturer

Integritetskravet der bomullsdotten ikke skulle ta fyr, holdt ved samtlige av gjennomføringene. Eneste tegn til forkulling inntraff ved test 1 da lokket tok fyr og varmet opp det tynne ventilasjonsrøret.

For at gjennomføringene skulle være godkjente skulle ikke temperaturen på oversiden overstige med 180 °C. Dette inntraff i ventilasjonsrør 1 der temperaturen på overflaten steg til over 350 °C på begge termoelementene (se Figur 43). Ved dette tidspunktet smeltet plastikklokket ned i røret og tok deretter fyr.

Innen dette inntraff var temperaturen oppå gjennomføringen høyere for test 1 enn test 2. Dette kan skyldes at lokket hindret varmluft ut til omgivelsen.



Figur 43, Temperaturer oppå gjennomføringene

Gjennomføringene med de høyeste temperaturene oppå var ventilasjonsrørene og soilrøret. Årsaken til de høyere temperaturene kan være at rørene i disse gjennomføringene var tilvirket i metall, og metall har god varmeledningsevne.

En annen forklaring kan være størrelsene på utsparingene. Dette var derimot ikke tilfellet for Geberit Silent 4'' som hadde en minimal temperaturøkning over gjennomføringen. Dette kan skyldes at termoelementet ble forskjøvet da røret smeltet.

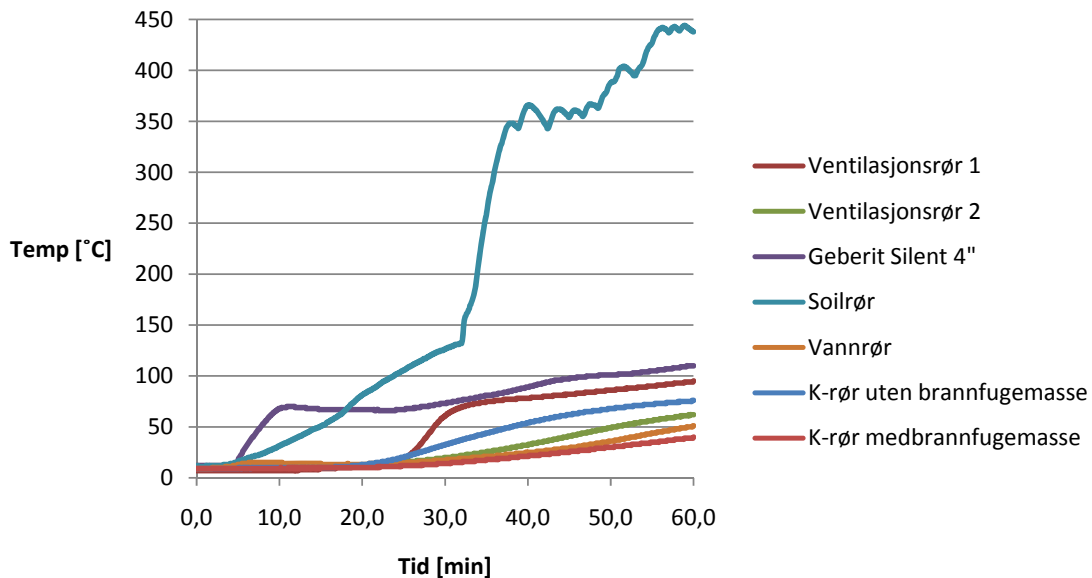
Sammenligner man sluttemperaturer i Tabell 16 og Tabell 17, de store utsparingene mot de mindre utsparingene, ser man en tydelig forskjell i temperatur.

Tabell 16, Sluttemperaturer ovenpå gjennomføringene i test 1 og 2

Sluttemperatur ovenpå gjennomføringer, test 1 og 2			
Ventilasjonsrør 1		Ventilasjonsrør 2	
Termoelement 1	Termoelement 2	Termoelement 1	Termoelement 2
107	93	68	52

Tabell 17, Sluttemperaturer ovenpå gjennomføringene i test 3 og 4

Sluttemperatur ovenpå gjennomføringer, test 3 og 4				
Geberit Silent 4"	Soilrør	Vannrør	K-rør u/brannfugemasse	K-rør m/brannfugemasse
16	60	14	32	17



Figur 44, Temperaturene 130 mm ned i gjennomføringen

Temperaturene inne i gjennomføringene lå under 75°C for de fleste gjennomføringer bortsett fra tre gjennomføringer; ventilasjonsrør 1, Geberit Silent 4" og soilrøret. Dette vises i Figur 44. Samtlige av disse viste tegn til forbrenning inne i røret.

Plastlokket over ventilasjonsrør 1 tok fyr etter 24 min, noe som vises tydelig på temperaturøkningen i gjennomføringen.

Etter 4 min ut i test 3, med Geberit Silent 4", tok den nederste delen av røret fyr.

Temperaturøkningen i gjennomføringen kan da skyldes flammer opp i røret fra undersiden.

Den gradvise oppvarmingen av soilrøret skyldes rørets høye varmeledningsevne. Etter 25 min falt beskyttelseslokket av og flammer kom ut av røret, temperaturen steg da ytterligere.

En liten forskjell i temperaturøkning ble observert mellom K-rør med og uten brannfugemasse, men begge var klart innenfor de gitte kravene, og oppnådde lavere temperaturer på oversiden enn de fleste av de store gjennomføringene. Selv ved mindre utsparinger holdt temperaturen seg langt under de gitte krav.

Forskjell i temperatur ble oppdaget mellom store og små utsparinger, der store gjennomføringer viste høyere temperaturer. Dette skyldes mest sannsynlig større areal av gjennomføringen som påvirkes av stråling fra brannen.



8 Konklusjon

8.1 Integritet

Det ble observert mindre sprekker på de store gjennomføringene, men ingen sprekker ble oppdaget på de små. Sprekkene i gjennomføringen ble observert ved å følge sprekke som ble dannet i selve hulldekket. Det er da store indikasjoner på at de mange sprekke i hulldekket hadde stor påvirkning på sprekke i gjennomføringen, og at det ikke ville blitt dannet sprekke dersom hulldekket hadde holdt.

Sprekkene i gjennomføringen var derimot mindre enn kravet for integritet og utgjorde ingen fare i form av flamme- eller røykspredning.

Bomulldotten ble ikke antent ved noen av forsøkene, men det ble observert en liten forkulling ved ventilasjonsrør 1. Dette skyldes plastlokket over ventilasjonsrøret som tok fyr og sørget for at temperaturen rundt røret steg kraftig.

Selv med denne forkullingen av bomulldotten holdt kravene for integritet.

8.2 Isolasjon

Ventilasjonsrør 1 var den eneste gjennomføringen som ikke holdt isolasjonskravet, i denne testen tok plastlokket oppå ventilasjonsrøret fyr. Ventilasjonsrøret i test 2, uten plastlokk, viste derimot ingen tegn til overskridelse av isolasjonskravene. Det kan da konkluderes med at de høye temperaturene kun skyldtes plastlokket oppå røret som tok fyr. I reelle situasjoner ville ikke ventilasjonsrøret vært tildekket med et plastlokk.

8.3 Sluttkonklusjon

Betong fungerer godt som brann tetningsmasse dersom rørene brukt i gjennomføringene er brannsikre. Det trengs muligens flere forsøk med andre typer rør med forskjellig størrelse. Videre testing av stive og fleksible rør anbefales.

8.4 Videre undersøkelser

For at betong skal godkjennes som brann tetningsmasse kreves testing og godkjenning ved SINTEF NBL. Ved videre undersøkelser anbefales følgende tester

- Fylle utsparingene kun med betong uten å bruke Rockwool som forskaling.
- Fylle utsparingene med ulike mengder Rockwool for å undersøke påvirkninger.
- Testing innendørs med tørre hulldekker.
- Testing av enda større utsparinger.
- Stive og fleksible rørs påvirkning på betongen.
- Påvirkning dersom gjennomføringer går gjennom flere kanaler.
- Testing av ulike typer betong.



8.5 Feilkilder

- Ved SINTEF-testene brukes en varmeovn som tester gjennomføringenes brannmotstand uten åpen flamme
- Hulldekkene var fuktige etter å ha vært lagret utendørs. Ved SINTEF lagres prøvestykker innendørs over lengre tid for at fukt ikke skal påvirke testen
- Ved SINTEF-tester skal starttemperaturen være $10\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$
- Beskyttelseslokket som falt av soilrøret gav en høy temperatur inni og oppå gjennomføringen.
- Plastikklokket som tok fyr ved ventilasjonsrør 1 gav høye temperaturer i gjennomføringen.
- Påvirkningene fra smeltede rør er usikker, men det er mulig at resultatene hadde vært annerledes dersom rørene ikke hadde smeltet.
- Rommet var allerede oppvarmet i test 2 og 4, der raskere oppvarming av rommet kan ha påvirket betongen og påført flere sprekker.
- Forsøkene ble gjennomført utendørs og vind kan ha påvirket røykspredning og temperatur over hulldekkene.
- De eksakte plasseringene av termoelementene ned i gjennomføringene er usikker siden termoelementets endepunkt ikke kunne observeres fra utsiden.
- Eksakt avstand fra Rockwool til gjennomføringene er vanskelig å avgjøre fordi Rockwoolen ble presset sammen og forskjøvet ved fylling av betong i gjennomføringen.
- Deler av betongen fra hulldekket sprakk opp og falt oppi karet med brensel. Dette fikk brensel til å skvette utover gulvet i testrommet. Det antente brenselet forårsaket momentan høyere temperatur.



9 Referanser

- [1] Drysdale, Dougal.
An Introduction to Fire Dynamics - 2nd Edition, Jan 2007 Chapter. 2
- [2] Byggedetaljblad NBI 520.342
- [3] NS-EN 1366-3 (Prøving av brannmotstanden til tekniske installasjoner, del 3: Gjennomføringstetninger).
- [4] NS-EN 1363-1 (Prøving av brannmotstand, del 1: Generelle krav)
- [5] http://nbl.sintef.no/methods/lists/docs/betegnelser_no.html#E
- [6] <http://www.gk.no>
- [7] <http://www.ventilstal.no>
- [8] <http://www.prolineas.no>
- [9] <http://www.geberit.no/Geberit/inet/no/wcmsno.nsf/pages/prod-aflo-sill-2>
- [10] <http://www.pipelife.no>
- [11] Sellevold Plast AS



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

10 Vedlegg

SKANSKA