



SAFETY & TRANSPORT
RISE FIRE RESEARCH



BRAVENT – Delrapport 2 Brannspredning i ventilasjonskanaler

Andreas Sæter Bøe, Christian Sesseng og Kristian Hox

RISE-rapport 2019:12

BRAVENT – Delrapport 2

Brannspredning i ventilasjonskanaler

Andreas Sæter Bøe, Christian Sesseng og Kristian Hox

Abstract

BRAVENT – Sub-report 2 - Fire spread through ventilation ducts

This is sub-report 2 of the BRAVENT project (Fire and smoke distribution in ventilation ducts) which presents results from experiments where the risk of spreading fire and heat in ventilation ducts has been investigated. In the experiments, the effect of fire insulation on the duct, and mixing hot smoke with air at room temperature in the duct (as from adjacent rooms) has been investigated. The ventilation duct was connected to a furnace at one end and a fan at the other end. The furnace was heated to the desired temperature, and hot smoke was drawn through the duct at a certain velocity. Thermocouples measured the temperature both inside the duct (smoke gas temperatures) and on the duct's external surface at different distances from the furnace.

The main results are:

- I. For fire insulated ducts, the smoke gas temperatures and the duct surface temperatures were almost equal and were not significantly reduced at larger distances from the furnace. However, for the uninsulated ducts, there was a significant difference between the smoke gas temperatures and the duct surface temperatures, and both were rapidly reduced with increasing distance from the furnace.
- II. When the duct was insulated, the heat front was moved to the position where the fire insulation ceased. At 1000 °C nominal furnace temperature, the maximum temperature of uninsulated ducts was 644 ± 49 °C at 0.25 m distance from the furnace. For ducts that were partially insulated, corresponding values were measured on the uninsulated duct surface at a point immediately after the end of the fire insulation.
- III. Mixing the hot smoke gases with air at room temperature reduced both the smoke gas temperatures and the material temperatures efficiently. After mixing air with room temperature and hot smoke in a 1:1 volume ratio, the smoke gas temperatures were reduced from a furnace temperature of about 1000 °C to 229 ± 60 °C and 254 ± 42 °C for an uninsulated duct and a duct that was fire insulated at a length of 2.8 m, respectively. This resulting temperature is significantly lower than the calculated mixing temperature of 510 °C from the formula given in SINTEF Building Design Sheet 520.352 describing fire protection of ventilation ducts.
- IV. Insulated ducts were heavily influenced by the hot smoke. The material temperatures were approximately equal to the temperature of the smoke drawn

through the ducts (about 1000 °C). All ducts that were covered with fire insulation were substantially deformed after testing.

- V. For the uninsulated ducts, the surface temperatures were significantly lower than the smoke gas temperatures. The duct material was therefore not exposed to the same heat stress as the insulated ducts, and there were no visible deformations or damage to the ducts.
- VI. Increased duct flow velocity gave increased smoke gas temperatures inside the duct, and increased duct surface temperatures.
- VII. The temperatures were reduced more rapidly with increasing distance from the furnace for the 125 mm diameter ducts compared to the 250 mm diameter ducts.
- VIII. SINTEF Building Detail Sheet 520.352 uses a smoke temperature of 160 °C in the ventilation duct as a lower limit for when the duct must be fire insulated. Calculations show that ventilation ducts can have surface temperatures that are much higher than this without the risk of nearby combustible materials igniting, given that there is a certain distance between duct and combustible material.

Based on the results of the theoretical calculations and experiments, our opinion is that the use of fire insulation on ducts should in general be avoided. It is possible to develop a fire safe ventilation concept without the use of fire insulation.

Suggestions for pre-accepted performances

Several strategies may reduce the need for fire protection measures:

1. Fire insulating of ventilation ducts is generally not recommended because the duct may be deformed or damaged due to heat stress in a fire.
2. Where no combustible materials are present near the duct, there is no need for fire protection measures.
3. In the case of combustible material in the vicinity of the duct, it must be considered whether the material must be protected against heat exposure from the duct (for example by using a radiation screen or by spot insulation).
4. Another approach is to calculate a safety distance to combustible materials from critical heat flux to the materials nearby. No combustible materials must be placed within this safety distance. If, for practical reasons, it is not possible for all combustible materials to be positioned in a sufficiently safe distance to the duct, a solution as specified in point 2 may be chosen.

5. In buildings where active fire protection measures (e.g. sprinkler systems) will keep the temperatures at a low level in a fire, there is no need for further fire protection measures.

Key words: VENTILATION, FIRE, INSULATION

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE-rapport 2019:12

ISBN: 978-91-88907-05-9

Prosjektnummer: 20328

Kvalitetssikret av: Anne Steen-Hansen

Finansiert av: Omsorgsbygg Oslo KF, Hordaland fylkeskommune, Stavanger kommune, Sykehusbygg HF, Trondheim kommune, Undervisningsbygg Oslo KF og Direktoratet for byggkvalitet.

Trondheim 2019

Innhold

Abstract	1
Innhold.....	4
Ordliste	6
Sammendrag	8
Nomenklatur	11
1 Innledning	12
1.1 Bakgrunn	12
1.2 Målsetting	13
1.3 Begrensninger.....	14
2 Teori.....	15
2.1 Temperatur og massetetthet.....	15
2.2 Blanding av to luftstrømmer med ulik temperatur	16
2.3 Kritisk varmekraft	17
3 Metode	19
3.1 Forsøksoppsett.....	19
3.2 Instrumentering.....	24
3.3 Opphengs- og festeanordning.....	26
3.4 Forsøksprosedyre.....	27
4 Resultater	31
4.1 Effekt av brannisolasjon på røyk- og godstemperaturer.....	31
4.2 Innblanding av romtemperert luft.....	36
4.3 Forsøk med ovnstemperatur lik isokurve	40
4.4 Varmepåvirkning på kanalen.....	43
4.5 Effekt av lufthastighet	53
4.6 Effekt av kanaldiameter.....	54
5 Diskusjon.....	55
5.1 Kritisk overflatetemperatur.....	55
5.2 Reduksjon av temperatur ved innblanding av romtemperert luft	56
5.3 Varmepåvirkning på kanaler og komponenter	57
5.4 Effekt av trykket i brannrommet	58
5.5 Behovet for å brannisolere kanaler.....	59
5.6 Mulige løsninger og forslag til preaksepterte ytelser	60
5.7 Metodekritikk	61
6 Konklusjoner	63
Referanser	64

Vedlegg A.	Forsøksmatrise.....	65
Vedlegg B.	CFD-simulering av forsøksoppsett	68
Vedlegg C.	Datablad vifte.....	72
Vedlegg D.	Datablad isolasjon	73

Ordliste

Faguttrykksdatabasen til Kollegiet for brannfaglig terminologi (KBT) [1] er benyttet som hovedkilde for ordlisten under.

Isokurve	Isokurven er her definert som den brannkurven som benyttes ved standardisert testing av brannmotstand for bygningsdeler. Den angir temperaturforløp som funksjon av tid, og er beskrevet i ISO 834 og NS-EN 1363-1. Isokurven er også kalt standardbrann.
Konveksjon	Også kalt varmestrømning: Transport av varmeenergi når væsker eller gasser strømmer.
Konduktivitet	Også kalt varmeledningsevne: Evnen et stoff har til å transportere varmeenergi.
Emissivitet	Emissiviteten (ϵ) eller strålingsevnen til et materiale er mellom 0 og 1 og angir forholdet mellom den energien som blir sendt ut fra et materiale i form av elektromagnetisk stråling (varme- og lysstråling) og den energien et svart legeme ved samme temperatur ville ha sendt ut.
Synsfaktor	Synsfaktoren er et tall mellom 0 og 1, og angir den andelen av varmestrålingen som forlater ett objekt og som treffer et annet objekt. Synsfaktoren avtar med avstanden og vinkelen til det strålende objektet.

Definisjoner

Følgende uttrykk er spesielt definert for denne rapporten:

Isolert kanal	Isolert kanal er definert som en 6,0 m lang ventilasjonskanal der de første 1,0 m, 2,8 m eller hele kanalen er isolert.
Røykgasstemperatur	Temperaturen som måles i røykgassene inne i ventilasjonskanalen.
Godstemperatur	Temperaturen målt på den ytre overflaten av ventilasjonskanalen.
Maksimal godstemperatur (overflatetemperatur)	Maksimal godstemperatur, evt. maksimal overflate-temperatur, er definert som maksimal overflatetemperatur på uisolert del av ventilasjonskanalen.
Massestrømsformel	Formel for blandingstemperaturer når to luftstrømmer med ulik temperatur blandes, som er utledet ved å sette opp en energibalanse basert på massestrøm
Forenklet massestrømsformel	Formelen oppgitt i SINTEF Byggetaljblad 520.352 for blandingstemperatur når to volumstrømmer med ulik temperatur blandes.

Sammendrag

Dette er delrapport 2 i BRAVENT-prosjektet (Brann- og røykspredning i ventilasjonskanaler), og omhandler resultater fra forsøk der det har blitt undersøkt hvorvidt det er fare for spredning av brann og varme i ventilasjonskanaler. I forsøkene har vi sett på effekten av å brannisolere kanalen, samt å blande inn romtemperert luft (som fra tilstøtende rom). Ventilasjonskanalen var koblet til en ovn i den enden og en vifte i den andre enden. Ovnene ble varmet opp til ønsket temperatur, og varm røyk ble så trukket gjennom kanalen med en bestemt hastighet. Termoelementer målte temperaturen både på røykgassen inne i kanalen, og på utvendig kanalgodset ved ulike avstander fra ovnen.

De viktigste funnene er som følger:

- I. For brannisolerte kanaler var røykgasstemperaturen og godstemperaturen nesten like, og ble lite redusert med større avstand fra ovnen. For de uisolerte kanalene var det imidlertid en betydelig forskjell på røykgasstemperatur og godstemperatur, og begge ble raskt redusert med økende avstand fra ovnen.
- II. Når kanalen var isolert, ble varmefronten i stor grad forflyttet til stedet på kanalen der brannisoleringen opphørte. Ved 1000 °C nominell ovnstemperatur ble maksimal godstemperatur på uisolert kanal målt til 644 ± 49 °C for ulike forsøk ved 0,25 m avstand fra ovnen. For kanaler som var delvis isolert, ble tilsvarende verdier ble målt på de uisolerte kanalgodset like etter posisjonen der brannisoleringen sluttet.
- III. Innblanding av romtemperert luft reduserte røykgasstemperaturen og godstemperaturen effektivt. Etter blanding av romtemperert luft og varme røykgasser i et volumforhold 1:1, ble røykgasstemperaturen redusert fra en temperatur tilsvarende ovnstemperaturen på ≈ 1000 °C til 229 ± 60 °C og 254 ± 42 °C for henholdsvis uisolert kanal og kanal med 2,8 m brannisolasjon. Dette er vesentlig lavere enn den beregnede blandingstemperaturen på 510 °C ved bruk av formelen oppgitt for blanding av luft med ulike temperaturer i SINTEF Byggforsks Byggdetaljblad 520.352 *Brannsikring og røyksikring av balanserte ventilasjonsanlegg*.
- IV. Isolerte kanaler ble kraftig påvirket av den varme røyken. Godstemperaturen var tilnærmet lik temperaturen på røyken som ble trukket gjennom kanalen (ca. 1000 °C). Samtlige kanaler som var kledd med brannisolasjon var vesentlig deformert etter test.
- V. For de uisolerte kanalene var godstemperaturen betydelig lavere enn røykgasstemperaturen. Kanalgodset ble derfor ikke utsatt for den samme

varmepåkjenningen som de isolerte kanalene, og det var ingen synlige deformasjoner eller skader på kanalene.

- VI. Økt ventilasjonshastighet ga økte røykgasstemperaturer inne i kanalen, og økte overflatetemperaturer på kanalgodset.
- VII. Temperaturen ble noe raskere redusert med økende avstand fra ovnen for kanalene med 125 mm diameter i forhold til kanalene med 250 mm diameter.
- VIII. SINTEF Byggforsks Byggdetaljblad 520.352 benytter røyktemperatur på 160 °C i ventilasjonskanalen som nedre grense for når kanalen må isoleres. Beregninger viser at ventilasjonskanaler kan ha overflatetemperaturer som er langt høyere enn dette uten at det er fare for at brennbare materialer i nærheten av kanalen antenner, gitt at det er en viss avstand mellom kanal og brennbart materiale.

Basert på resultatene fra de teoretiske beregningene og forsøkene mener vi at bruk av brannisolasjon på kanaler bør unngås. Det er mulig å utvikle et brannsikkert ventilasjonskonsept uten bruk av brannisolasjon.

Forslag til preaksepterte ytelser

Vi ser for oss flere ulike strategier som bidrar til å redusere behovet for brannsikringstiltak:

1. Brannisolering av ventilasjonskanaler i sin alminnelighet anses ikke tilrådelig, fordi kanalen vil kunne deformeres eller skades på grunn av varmepåkjenningen i en brann.
2. Der det ikke finnes brennbare materialer i nærheten av kanalen, er det ikke behov for tiltak mot antennelse.
3. Ved brennbart materiale i nærheten av kanalen må det vurderes om materialet må beskyttes mot varmepåkjenning fra kanalgodset (eksempelvis ved bruk av strålingsskjerm eller ved punktisolering).
4. En annen tilnærming er å beregne en sikkerhetsavstand til brennbart materiale ut fra kritisk varmefluks til materialene i nærheten. Ingen brennbare materialer må plasseres innenfor denne sikkerhetsavstanden. Dersom det av praktiske grunner ikke lar seg gjøre at alle brennbare materialer har tilstrekkelig avstand til kanalen, kan det i slike tilfeller velges en løsning som angitt i punkt 2.

5. I bygg hvor aktive brannsikringstiltak (eksempelvis sprinkleranlegg) vil holde temperaturene på et lavt nivå i en brann, er det ikke behov for ytterligere brannsikringstiltak.

Nomenklatur

Symbol	Enhet	Beskrivelse
ρ	kg/m ³	tetthet

Symbol	Enhet	Beskrivelse
c_p	kJ/kg K	spesifikk varmekapasitet
Δp	Pa	trykkdifferanse
q	m ³ /s	volumstrøm
q_b	m ³ /s	volumstrøm av røykgasser
q_n	m ³ /s	volumstrøm av luft
R	kJ/kgK	den spesifikke gasskonstanten
	J/mol K	den ideelle gasskonstanten
T	K	temperatur
T_b	K	temperatur på røykgasser
T_{bl}	K	temperatur på røykgasser blandet med romtemperert luft
T_n	°C	temperatur på romtemperert luft

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I byggeforskrift av 1985/87 (BF85/87) [3,4] og i byggteknisk forskrift av 1997 [5] og 2010 [6] var funksjonskravet til ventilasjonskanaler som kan utsettes for brann at:

- Kanalgjennomføringene og selve kanalen skal utføres slik at bygningsdelens brannskillende funksjon skal opprettholdes.
- Løsningene som anvendes skal bidra til at det oppnås tilstrekkelig beskyttelse mot spredning av røyk og varme gasser.

Løsningene som ble angitt i veiledningene til forskriftene (Rett og slett [7] og REN-veiledning [8,9]) i perioden fra 1985 til 2003, var konkrete ytelser vist ved figurer og detaljløsninger som i all hovedsak anbefalte å brannisolere ventilasjonskanalene 1,0 m til hver side av brannskillet, eller 2,0 m til den ene siden. I forbindelse med utgivelsen av 3. utgave av veiledningen (REN-veiledning fra 2003) ble alle eksemplene og figurene fra tidligere utgaver av veiledningen fjernet og teksten ble redusert til følgende ordlyd:

- Kanal som føres gjennom brannklassifisert bygningsdel må ikke svekke konstruksjonenes brannmotstand.
- Utførelsen kan dokumenteres ved prøvning eller ved at det benyttes anerkjente løsninger.

I veiledningen til byggteknisk forskrift, 3. versjon, er ordlyden som følger:

- Ventilasjonskanal som føres gjennom en brannskillende bygningsdel, må utføres slik at bygningsdelens brannmotstand blir opprettholdt.
- Innfesting og oppheng for kanaler og ventilasjonsutstyr må utføres slik at forutsatt funksjonstid og brannmotstand blir opprettholdt.
- Kanal som føres gjennom seksjoneringsvegg, må ha lukkeanordning (brannspjeld) med minimum samme brannmotstand som seksjoneringsveggen.

Løsningene som brukes i dag for å oppfylle de preaksepterte ytelsene omfatter i korte trekk å installere brannspjeld der hvor kanaler passerer brannskillende konstruksjon, eller å isolere ventilasjonskanaler i sin fulle lengde. Disse løsningene er i stor grad bygget på beskrivelser i blant annet SINTEFs byggdetaljblad 520.352 (heretter kalt byggdetaljbladet) [10] og BV Netts *Veiledning for brannsikker ventilasjon*, også kjent som BVNett-Veilederen [11]. Den siste tiden er det imidlertid blitt stilt spørsmål ved om spredning av varme og røyk i ventilasjonskanaler medfører en økt risiko for personsikkerhet og materielle verdier.

Å implementere løsningene som presenteres i de nevnte dokumentene øker byggekostnadene. Spesialhelsetjenesten ved Sykehusbygg HF har gjort overslagsberegninger på hva det koster å brannisolere avtrekkskanalen på nytt psykiatribygg på Østmarka i Trondheim (et bygg med grunnflate 4500 m²). Kostnadene

omfatter heving av etasjehøyde og brannisolering av ca. 2500 m avtrekkskanaler. Beregningen indikerer en kostnad på ca. én million kr. Overført til nytt sykehus i Stavanger vil kostnadene til brannisolering utgjøre ca. 45 millioner kroner. Østfoldsykehuset som sto ferdig i november 2015, har fått installert bypass-kanal på 35 ventilasjonsanlegg, til en pris på ca. ti millioner kroner. For en barnehage i Trondheim med grunnflate ca. 700 m² beløp kostnadene med å installere brannspjeld på både avtrekkskanalene og tilluftskanalene der kanalnettet krysser brannskiller seg til ca. 700 000 kroner. I tillegg til installasjonskostnadene kommer årlige drifts- og vedlikeholdskostnader.

Dette temaet ble på nytt aktuelt i forbindelse med revisjon av byggteknisk forskrift (2017-utgaven), da det ble påpekt i høringsuttalelser at de mangelfulle preaksepterte ytelsene når det gjelder brann og ventilasjonsanlegg er problematiske, og at løsningene som skisseres i byggdetaljbladet og BVNett-Veilederen ikke er tilstrekkelig dokumentert.

For å belyse dette temaet, og skaffe til veie vitenskapelig dokumentasjon for i hvilken grad spredning av varme og røyk i ventilasjonskanaler representerer en risiko for personer og verdier, ble BRAVENT-prosjektet (Brann- og røykspredning i ventilasjonskanaler) initiert. Prosjektet er finansiert av Omsorgsbygg Oslo KF, Hordaland fylkeskommune, Stavanger kommune, Sykehusbygg HF, Trondheim kommune, Undervisningsbygg Oslo KF og Direktoratet for byggkvalitet og ledes av RISE Fire Research.

Prosjektet skal undersøke problemstillinger knyttet til varmespredning i ventilasjonskanaler, tetting av filter i ventilasjonsanlegg på grunn av røyk, effekten av steng inne-strategien med hensyn til trykkoppbygging i brannrommet og røykspredning gjennom utettheter i konstruksjonsdeler.

Dette er delrapport 2, som oppsummerer forsøk som er gjennomført for å belyse hvorvidt det er behov for å brannisolere ventilasjonskanaler for å unngå brannspredning som følge av oppvarmet kanalgoods.

1.2 Målsetting

Prosjektets målsetting er å skaffe til veie dokumentasjon for behovet for å brannisolere ventilasjonskanaler, installere brannspjeld og bypass-kanaler. Hensikten er å optimalisere bruken av disse løsningene, og følgelig kostnadene forbundet med dem.

Målsettingen med denne delen av prosjektet var å gjennomføre forsøk for å danne grunnlaget for å kunne besvare følgende forsknings spørsmål:

1. Hvor raskt reduseres røykgasstemperatur og godstemperatur for en uisolert og en isolert ventilasjonskanal?
2. Hvor godt tåler uisolerte og isolerte kanaler den termiske belastningen fra varm røyk som trekkes gjennom kanalen ved en brann?

3. Hvor effektivt er innblanding av romtemperert luft for å redusere røykgass- og godstemperatur?
4. Hva er maksimal godstemperatur for en uisolert og en isolert kanal når luft med temperatur som følger tid-temperaturkurven som beskrevet i ISO 834 og NS-EN 1363-1 (heretter kalt isokurven) trekkes gjennom kanalen?

1.3 Begrensninger

Denne delrapporten omhandler ikke muligheten for røykspredning fra en branncelle til en annen branncelle gjennom et ventilasjonsanlegg. Denne rapporten ser utelukkende på varmetransport i ventilasjonskanaler.

Det er kun utført forsøk med sirkulære kanaler med kanaldiameter 125 mm og 250 mm. Det finnes større kanaldimensjoner, men de valgte størrelsene er vurdert til å være representative for de fleste uttakskanaler i yrkesbygg.

Prosjektet omfatter kun brannisolasjon av komfortventilasjonsanlegg. Kjøkkenventilasjon er ikke inkludert som tema i denne rapporten.

2 Teori

I dette avsnittet presenteres bakgrunnsteori som er relevant for de videre diskusjonene i denne rapporten. Teksten er utdrag fra BRAVENT delrapport 1: «Teori- og kunnskapssammenstilling» [2].

2.1 Temperatur og massetetthet

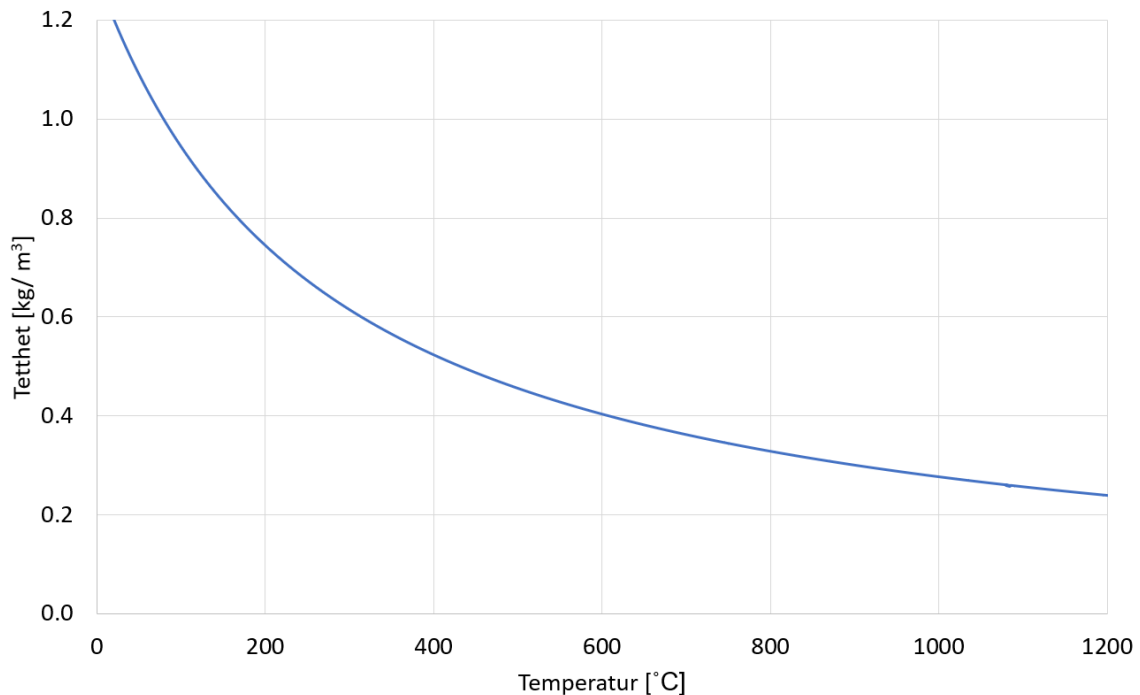
Sammenheng mellom tetthet og temperatur kan utledes fra ideell gasslov, og er som følger:

$$\rho = \frac{\Delta p}{RT} \quad (2.1)$$

Der:

- ρ er tettheten for tørr luft [kg/m^3]
- Δp er lufttrykket [Pa], ved normale forhold er trykket 101 325 Pa.
- T er temperatur [K].
- R er den spesifikke gasskonstanten, lik 287 for tørr luft [$\text{J}/(\text{kgK})$]

Figur 2-1 viser sammenhengen mellom temperatur og tetthet for tørr luft.



Figur 2-1 Sammenhengen mellom temperatur og tetthet for tørr luft.

2.2 Blanding av to luftstrømmer med ulik temperatur

Når to luftstrømmer med ulik temperatur blandes, får den nye luftblandingen en temperatur som her blir kalt blandingstemperaturen. Den teoretiske måten å beregne en blandingstemperatur på, er å sette opp en energibalanse basert på massestrøm. Dette gir formelen presentert i ligning (2.2). Denne formelen omtales heretter som *massestrømsformelen*.

$$T_{bl} = \frac{\rho_1 q_1 T_1 c_{p_1} + \rho_2 q_2 T_2 c_{p_2}}{\rho_1 q_1 c_{p_1} + \rho_2 q_2 c_{p_2}} \quad (2.2)$$

Der

- T_{bl} er lufttemperaturen etter blanding [K]
 - c_p er den spesifikke varmekapasiteten til luft ved konstant trykk [kJ/kg K]
 - q er volumstrøm [m^3/h]
 - T er temperatur i Kelvin [K]
 - ρ er tettheten til luften [kg/m^3]
- subskript 1 og 2 angir egenskaper ved luftmengde 1 og 2

SINTEF Byggedetaljblad 520.352 (heretter kalt byggedetaljbladet) [10] presenterer en forenklet formel for beregning av blandingstemperatur når to luftstrømmer med ulike temperaturer blandes. Denne formelen antar at tettheten og den spesifikke varmekapasiteten for luft er konstant, det vil si uavhengig av temperatur. I denne rapporten omtales denne formelen som *forenklet massestrømsformel*.

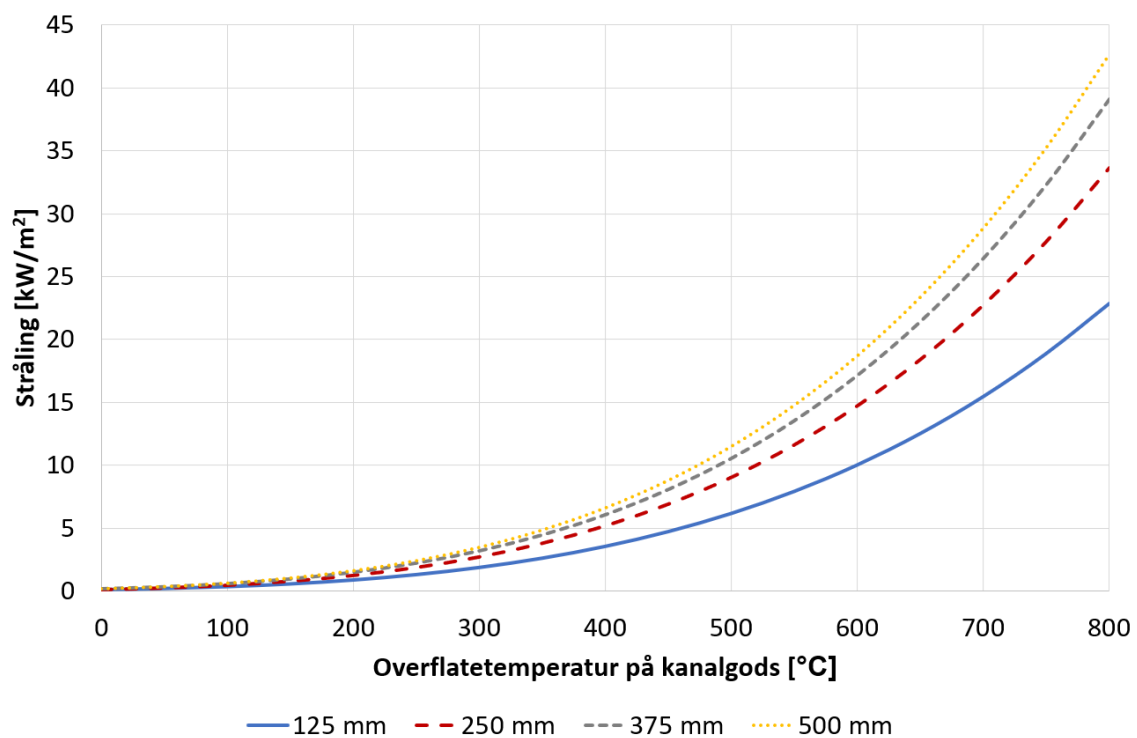
$$T_{bl} = \frac{q_b T_b + q_n T_n}{q_b + q_n} \quad (2.3)$$

Der

- T_{bl} er lufttemperaturen etter blanding [$^{\circ}\text{C}$]
- T_b er temperatur i brannrommet [$^{\circ}\text{C}$]
- T_n er temperatur i øvrige rom (normalt 20°C) [$^{\circ}\text{C}$]
- q_b er volumstrøm fra brannrommet [m^3/h]
- q_n er kald volumstrøm som branngassene fra brannrommet blandes med [m^3/h]
- $q_b + q_n$ er total samlet volumstrøm etter blandingspunktet [m^3/h]

2.3 Kritisk varmekraft

For at brennbart materiale med en viss avstand til en ventilasjonskanal skal spontanantenne på grunn av varmestråling, må den innkommende strålingen til materialet overstige en kritisk varmekraft. Kritisk varmekraft vil variere basert på type materiale og om materialet kan anses som termisk tykt eller tynt, og også med hensyn til testmetoden som er brukt for å finne kritisk fluks [12,13]. Kritisk varmekraft for antenne av brennbare materialer som ofte befinner seg i et bygg er ca. 10 kW/m² eller høyere. Innkommende stråling fra en kanal til et materiale avtar med økende avstand til kanalen, og øker med økende diameter på kanalen. Figur 2-2 viser maksimalt innkommende stråling på et materialelement med 100 mm avstand fra en kanal ved ulike overflatetemperaturer og kanalstørrelser.



Figur 2-2 Stråling på materialelement parallelt med en uisolert kanal. I beregningene er det benyttet en emissivitet lik 0,8 og en avstand på 100 mm, noe som gir synsfaktorer på 0,38 , 0,56 , 0,65 og 0,71 for henholdsvis 125 mm, 250 mm, 375 mm og 500 mm kanaldiameter.

Kritisk varmekraft for antenne for ulike materialer hentet fra Tabell A.35 i SFPE Handbook of Fire Protection Engineering [13], og gjengitt i Tabell 2-1.

Tabell 2-1 Kritisk varmeffluks for enkelte materialer [13]

Material	Kritisk varmeffluks [kW/m ²]
Trevirke	10
Polyetylen	15
Polypropylen	10 - 15
Polystyren	13
Polyuretan	13 - 40
Polykarbonat	15
PVC	13 - 15
Polyester	10 - 15

3 Metode

For å kunne dokumentere hvorvidt det er behov for å brannisolere ventilasjonskanaler, og i så fall i hvilken grad man må isolere, ble det designet et forsøksoppsett som i størst mulig grad skulle være realistisk, repeterbart og relevant for våre forskningsspørsmål. Forsøkene ble utformet for å undersøke hvordan varm brannrøyk avkjøles når den blir trukket gjennom en ventilasjonskanal, og hvordan den varme brannrøyken varmer opp kanalgodset under ulike forhold. Parametere av interesse var opprinnelig røykgasstemperatur, lengde av ventilasjonskanal som var isolert, grad av innblanding av romtemperert luft, og lufthastighet.

CFD-beregninger¹ av forsøksoppsettet ble gjennomført for å undersøke om det var hensiktsmessig utformet med hensyn til våre forskningsspørsmål. En redegjørelse for CFD-beregningene er gitt i Vedlegg B.

Forsøksoppsettet og -prosedyren er beskrevet i detalj i dette kapittelet.

3.1 Forsøksoppsett

3.1.1 Generelt oppsett

Forsøksoppsettet besto i hovedsak av tre komponenter: en ovn, en ventilasjonskanal og en vifte. Skisser av forsøksoppsettet er gitt i Figur 3-1 til Figur 3-5, mens bilder av faktisk oppsett er gitt i Figur 3-11 til Figur 3-15. Ovnene som ble benyttet for å representere et brannrom, var en såkalt pilotovn, som i hovedsak benyttes for testing av brannskillende konstruksjoners brannmotstand. Ovnene har dimensjoner 1,55 m × 1,55 m × 1,55 m, og temperaturen i ovnen ble styrt automatisk i forsøkene.

Ventilasjonskanaler i et bygg deles inn i hovedkanaler, bikanaler og uttakskanaler. Uttakskanaler representerer avgreininger til eller fra det enkelte rom. Uttakskanalene er koblet til bikanaler, som vanligvis er plassert i himlingsrommet over korridorer, mens hovedkanaler gjerne representerer vertikale føringer mellom etasjene. Sirkulære kanaler finnes i dimensjoner med diameter fra 80 mm - 1250 mm. De minste kanaldimensjonene benyttes som uttakskanaler.

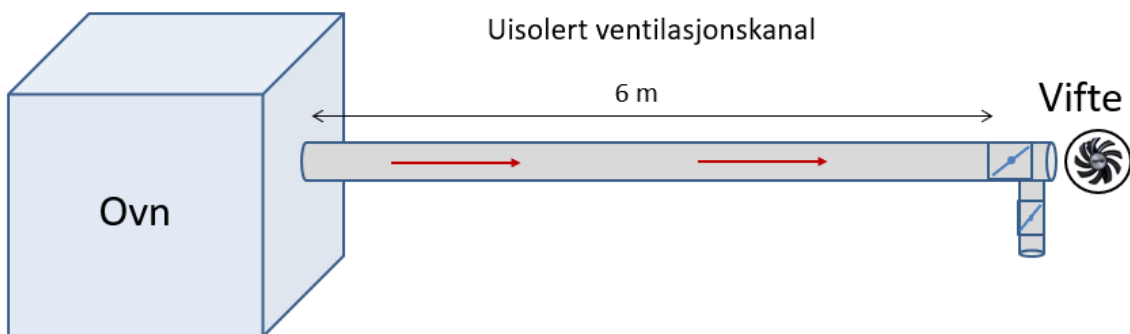
Varm røyk som trekkes ut av et brannrom vil kjøles betydelig når den blandes med luft fra nærliggende rom i bikanalen. Dette innebærer at det er i nærheten av uttakskanaler, normalt med diameter mindre eller lik 250 mm, at faren for antennelse av brennbar materiale er størst. Faren er aller størst når brannrommet befinner seg i enden av bikanalstrekket, ettersom innblandingsforholdet til å begynne med her er mindre [2].

¹ Computational Fluid Dynamics

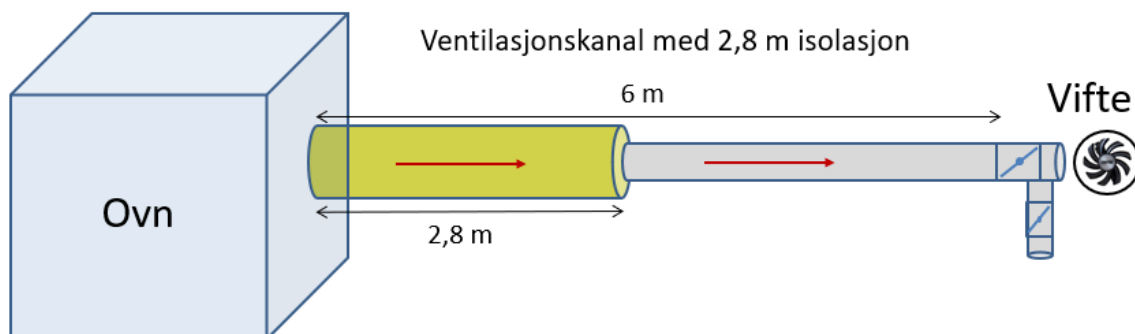
Når det gjelder rektangulære kanaler, vil synsfaktoren (se referanse [2]) være annerledes enn for sirkulære kanaler, men også her gjelder det at synsfaktoren avtar raskt med økende avstand fra kanalen, og man vil få tilsvarende resultater med hensyn til varmestråling fra kanalen som for kanaler med sirkulært tverrsnitt.

Kanalene som er blitt benyttet i forsøkene i dette prosjektet var galvaniserte spirorør som hadde en diameter på henholdsvis 125 mm og 250 mm. Dette vurderes derfor å dekke de mest kritiske kanalene i yrkesbygg med tanke på brannspredning. Ventilasjonskanalene hadde en lengde på 6 m, og var montert til vifta i den ene enden, og til ovnen i den andre enden, slik at varm luft ble trukket fra ovnen gjennom ventilasjonskanalen. Lengden på isolasjonen var i ulike forsøk 0 m (ingen isolasjon), 1,0 m, 2,8 m og 6,0 m. Isolasjonens tykkelse var 80 mm, som tilsvarer tykkelsen beregnet for EI60-beskyttelse. Mer informasjon om isolasjonen er gitt i Tabell 3-1 og Vedlegg D.

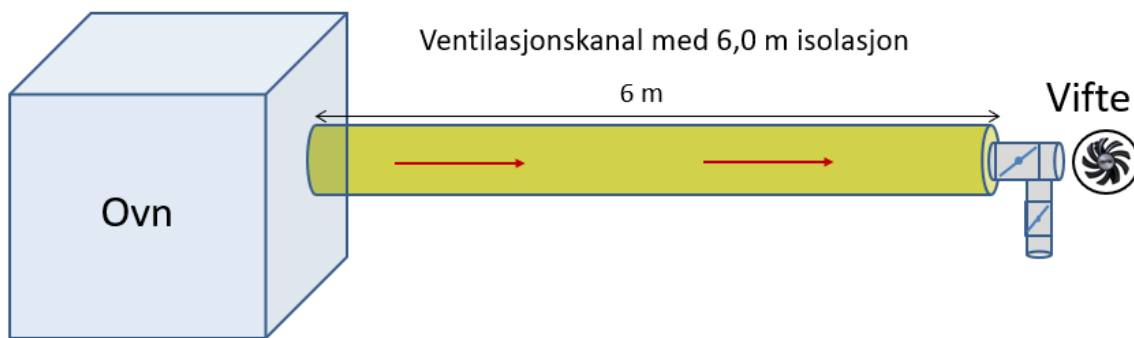
Vifta som ble benyttet kunne styres trinnløst, og tålte en kontinuerlig operasjonstemperatur på 400 °C over en periode på 60 minutter. Et innblandingrør var montert like før vifta for å sikre at lufta som gikk gjennom vifta ikke ble for varm. En fullstendig forsøksmatrise er gitt i Vedlegg A.



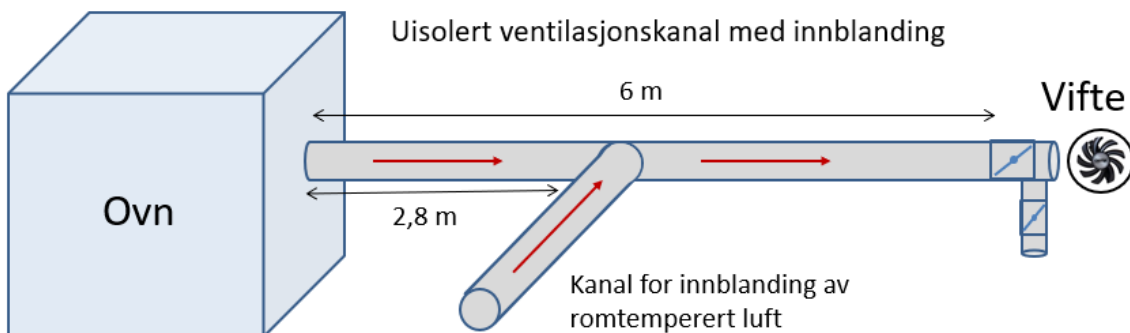
Figur 3-1 Skisse av forsøksoppsett – uisolert kanal.



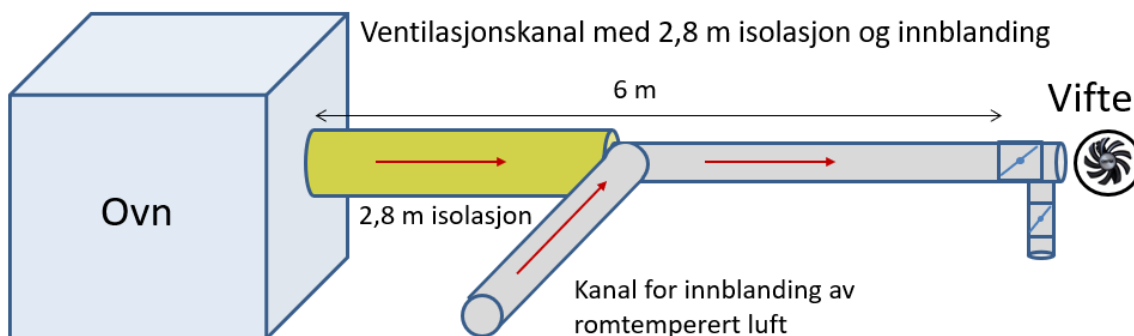
Figur 3-2 Skisse av forsøksoppsett – 2,8 m isolert kanal.



Figur 3-3 Skisse av forsøksoppsett – 6,0 m isolert kanal



Figur 3-4 Skisse av forsøksoppsett – uisolert kanal med innblanding av romtemperert luft. Kanalen for innblanding er plassert 2,8 m fra ovnen.



Figur 3-5 Skisse av forsøksoppsett – 2,8 m isolert kanal med innblanding av romtemperert luft.

Innblanding av romtemperert luft ble utført ved at en ekstra kanal ble koblet til ved 2,8 m avstand fra ovnen (se Figur 3-4 og Figur 3-5). Kanalen hadde samme diameter som kanalen fra ovnen, og en lengde på 2,8 m. Det ble kontrollert at lufthastigheten gjennom begge kanalåpninger var tilnærmet lik før forsøksstart.

En oversikt over utstyr som ble benyttet, med tekniske spesifikasjoner, er gitt i Tabell 3-1.

3.1.2 Test av antennelse ved varmestråling fra kanal

Det ble undersøkt om varmestråling fra en uisolert kanal kunne antenne brennbar materiale i nærheten i løpet av en 60 minutters test med oppvarming av ovnen i henhold til isokurven. Det ble valgt ut to typer representative brennbare materialer som kan finnes i nærheten av ventilasjonskanaler: trevirke i form av 3 mm tykke kryssfinerplater, og en nettverkskabel.

Kryssfinerplatene ble kuttet opp i biter med areal 100 mm x 100 mm. Disse ble så plassert etter hverandre i en avstand på henholdsvis 50 mm og 100 mm fra underkanten av kanalen, og i en avstand på 150 mm fra siden av kanalen (se Figur 3-6 og Figur 3-7). Første kryssfinerplate var plassert 250 mm fra ovnen. Fuktigheten i kryssfinerplatene ble målt til 8,8 %.

Ti lengder av en nettverkskabel ble montert opp i bunter på en kabelbru, og posisjonert vertikalt i avstand 100 mm fra siden av kanalen (se Figur 3-7).



Figur 3-6 Kryssfinerplater ble plassert i en avstand på henholdsvis 50 mm, 100 mm og 150 mm fra kanalen for å undersøke om strålingen fra den varme kanalen var tilstrekkelig til å antenne treverket. På bildet er platene plassert 100 mm fra undersiden av kanalen før test.



Figur 3-7 Kryssfinerplater posisjonert 50 mm fra undersiden av kanalen, og ti lengder med nettverkskabler i bunter posisjonert vertikalt 100 mm fra siden av kanalen før test.

3.2 Instrumentering

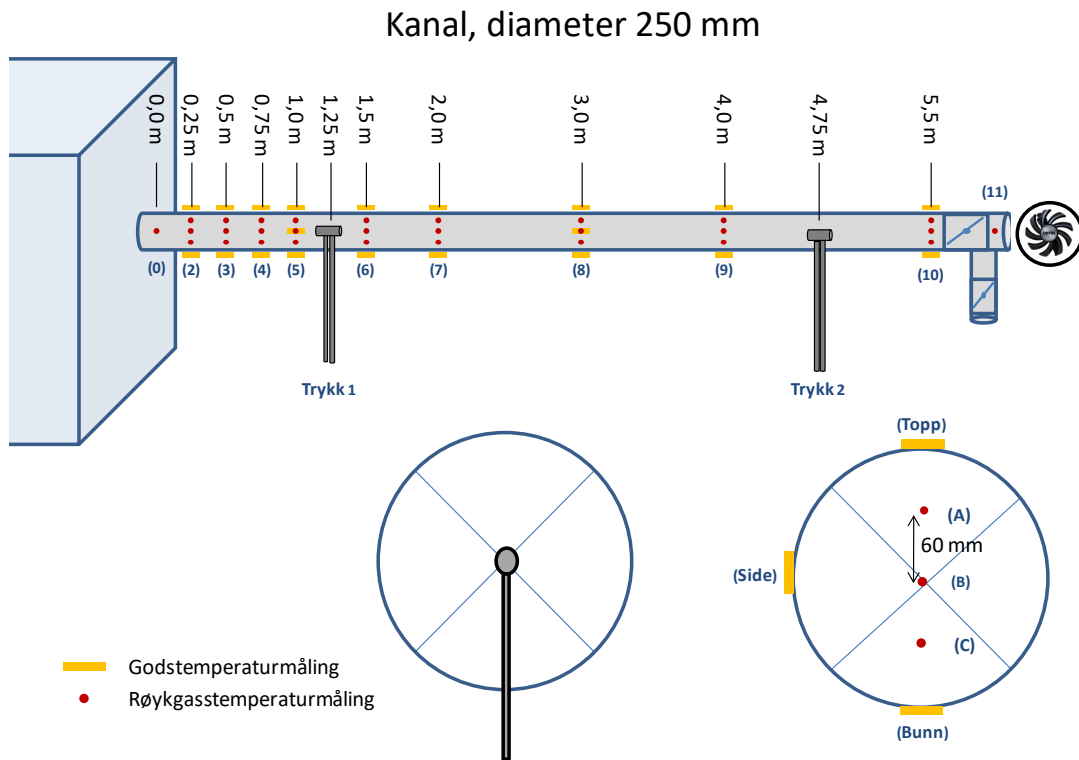
Det ble målt temperaturer både inni kanalen (røykgasstemperatur), og utenpå kanalen (kanalgodsets overflatetemperatur). For hver horisontale posisjon ble det i forsøkene med kanaldiameter på 250 mm målt røykgasstemperaturer i tre posisjoner fordelt på en vertikal akse, i tillegg til overflatetemperaturer på toppen og bunnen av kanalen (se Figur 3-8). I forsøkene med kanaldiameter på 125 mm ble det kun målt én innvendig temperatur for hver horisontale posisjon, og kun overflatetemperatur på toppen av kanalen (se Figur 3-9). Dette ble gjort fordi innledende forsøk viste at det var lite avvik mellom de ulike vertikale innvendige målepunktene for forsøkene med kanaldiameter på 250 mm.

I de første forsøkene ble overflatetemperaturene målt med termoelementer som beskrevet i NS-EN 1363 [14], det vil si ved en sirkulær kobberplate som limes på kanalgodset. Enkelte av disse løsnet under forsøkene, og måtte ofte byttes mellom hvert forsøk. Det ble derfor valgt å punktsveise termoelementene direkte til overflaten av kanalen. Denne løsningen var mer robust, og ga mer pålitelige målinger.

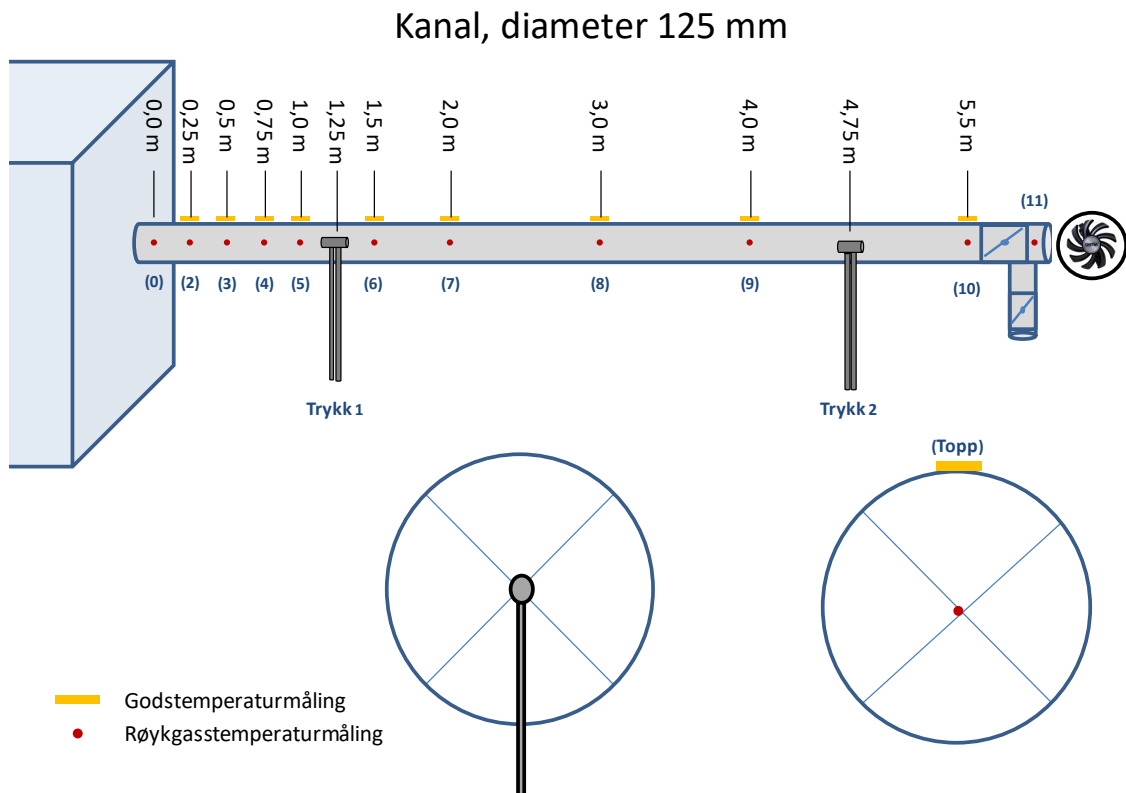
I forsøkene der kanalen var delvis isolert, ble overflatetemperaturene målt under isolasjonen. Enkelte punktmålinger utenpå isolasjonen ble også utført.

Det dynamiske lufttrykket i kanalen ble målt på to punkter ved hjelp av bidireksjonale prober. Dette ble gjort for å kunne måle strømningshastigheten til røyken gjennom forsøkene.

Måledata ble logget hvert sekund, ved hjelp av Agilent Data Acquisition System 34970A, med loggekort av typen 34901A. Dataene ble i ettetid analysert i Microsoft Excel 365.



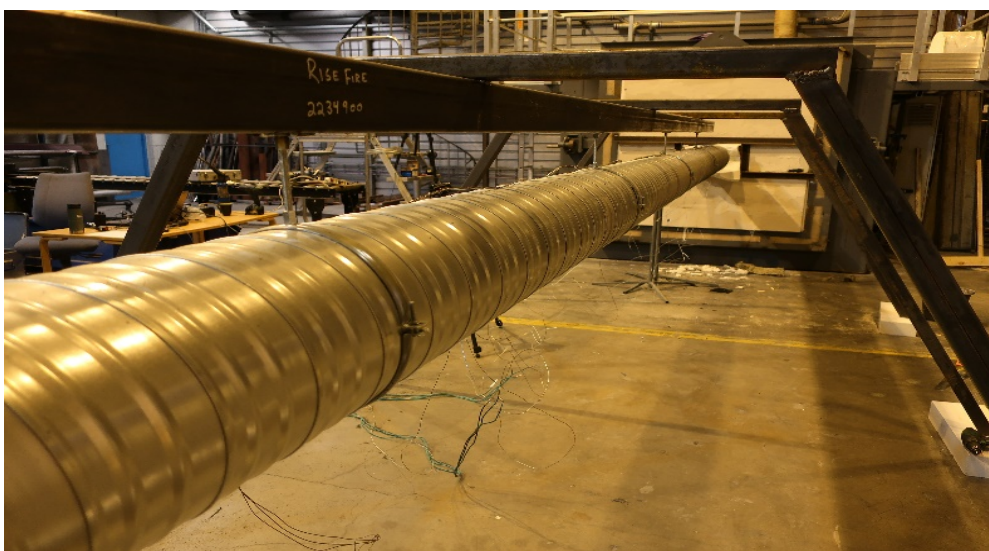
Figur 3-8 Instrumentering av kanal med 250 mm diameter.



Figur 3-9 Instrumentering av kanal med 125 mm diameter.

3.3 Opphengs- og festeanordning

I forsøkene ble det benyttet to ulike måter for å henge opp kanalen. I det ene oppsettet ble kanalen støttet opp med støttebein fra undersiden, mens i det andre oppsettet ble kanalen hengt opp med fester ovenfra, se Figur 3-10. De ulike måtene ble valgt for å undersøke om kanalene fikk ulike typer skader basert på opphengssystemet. Avstanden mellom støttebeina varierte noe fra test til test, men var ikke større enn 1,7 m. Avstanden mellom opphengspunktene var nøyaktig 1,5 m i de testene der kanalen var isolert, etter retningslinjer fra Glava [15]. I testene med uisolerte kanaler varierte opphengsavstanden fra 1,5 – 2,4 m. Dette ble gjort for å undersøke om stabiliteten til kanalen ble påvirket.



Figur 3-10 Ventilasjonskanalen ble hengt opp på to måter: Med støttebein (øverst) og med oppheng (nederst).

3.4 Forsøksprosedyre

For å sikre god repeterbarhet i forsøkene ble følgende prosedyre fulgt.

1. Viftepådraget for de ulike lufthastighetene gitt av forsøksmatrisen i Vedlegg A ble innstilt og kontrollert.
2. Ovnene ble varmet opp.
3. Når ovnen hadde nådd riktig temperatur og hadde et stabilt trykk, ble ventilasjonskanalen koblet til ovnen.
4. Vifta ble startet og stilt inn på riktig hastighet.
5. Når de målte røykgass- og godstemperaturene hadde nådd stasjonær tilstand, ble forsøket enten avsluttet, eller et nytt testscenario i henhold til matrisen ble igangsatt direkte ved at temperatur eller hastighet ble endret.
6. Dersom deler av ventilasjonskanalen var skadet etter forsøket, ble de skadde delene byttet ut til neste forsøk. Det ble anvendt ny isolasjon i hvert forsøk.

I de fleste forsøkene ble ventilasjonskanalen koblet til ovnen etter at den hadde nådd de predefinerte temperaturene. I forsøk 24, 27 og R1 – R5, hvor ovnens temperaturutvikling fulgte isokurven, var ventilasjonskanalen tilkoblet ovnen fra start. Kanalen ble koblet fra etter 60 minutter.

Bilder av forsøksoppsettet er vist i Figur 3-11 til Figur 3-15.



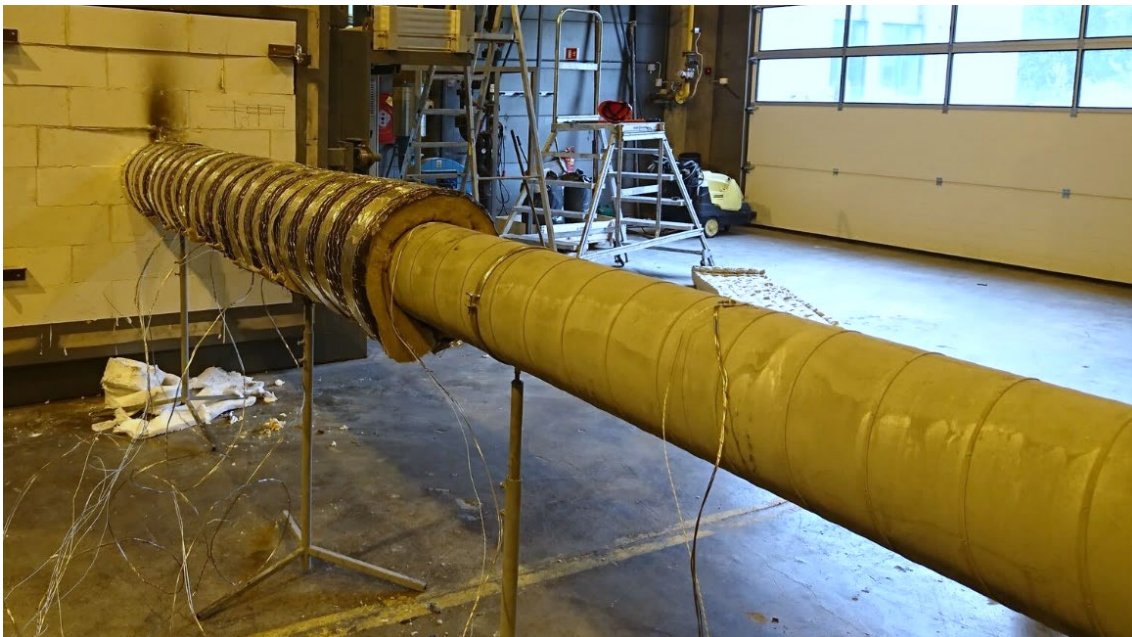
Figur 3-11 Et oversiktsbilde av forsøksoppsettet. Bildet viser en uisolert ventilasjonskanal med 125 mm diameter, uten innblanding av romtemperert luft, som er koblet til ovnen i venstre ende, og vifta i høyre ende. Kanalen er støttet opp med støttebein fra undersiden.



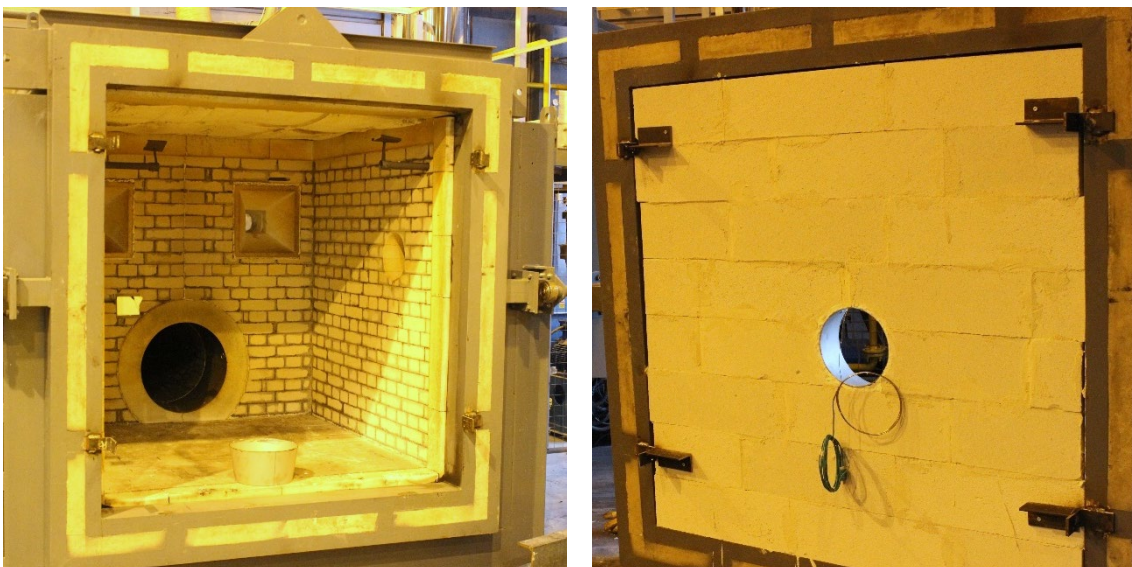
Figur 3-12 Et oversiktsbilde av oppsettet for en uisolert kanal med diameter 250 mm med innblanding av romtemperert luft. Kanalen er støttet opp med støttebein fra undersiden.



Figur 3-13 Kanal med diameter 125 mm kledd med isolasjon i 2,8 m av rørets lengde, og med innblanding av romtemperert luft der isolasjonen tar slutt. Kanalen er støttet opp med støttebein fra undersiden.



Figur 3-14 Kanal med diameter 250 mm kledd med isolasjon i 2,8 m av rørets lengde uten innblanding av romtemperert luft. Kanalen er støttet opp med støttebein fra undersiden.



Figur 3-15 Ovnens uten den simulerte brannveggen på bildet til venstre, og brannveggen på bildet til høyre. Hullet på bildet til høyre ble tettet igjen fram til kanalen ble koblet til. Det ble tettet med isolasjon i åpningen mellom kanalen og hullet etter at kanalen var montert.

Tabell 3-1 Oversikt over utstyr, materialer og instrumenter benyttet i forsøkene

Utstyr	Leverandør	Spesifikasjon
Brannisolasjon	Glava	Type: U PROTECT WIRED MAT 4.0 ALU 1. Tykkelse: 80 mm, som tilsvarer E 160 beskyttelse. Se Vedlegg D for datablad.
Datalogger	Agilent Technologies	34970A Data Acquisition
Nettverkskabel	LinkIT	Type: LinkIT Cat.6A F/FTP Inst.kab LSZH.
Termoelementer	Max- Sievert	Type: K - kapslede 1,5 mm. Type: K - glassfiber isolert 1,0 mm x 1,7 mm.
Trykkmåling	Ellison Sensors International	Protran PR3202. Range 0 - 500 Pa
Ventilasjonskanal	Lindab	SR 125 → 125 mm diameter, 0,45 mm ståltykkelse. SR 250 → 250 mm diameter, 0,5 mm ståltykkelse. Materiale: Galvanisert stål
Vifte	D.L.Bruvik	Remdrevet sentrifugalvifte MT250 med frekvensstyring. Kapasitet: 4000 m ³ /h. Varmebestandighet: 400 °C kontinuerlig drift. Se Vedlegg C for datablad.

4 Resultater

4.1 Effekt av brannisolasjon på røyk- og godstemperaturer

Resultatene fra forsøkene uten brannisolasjon (Figur 4-1 og Tabell 4-1) viser at røykgasstemperaturen raskt ble redusert med økende avstand til ovnen. Røykgasstemperaturen i kanalene med 125 mm diameter ble redusert noe raskere enn i kanalene med diameter 250 mm, og oppnådde også en lavere maksimal overflatetemperatur.

Med brannisolasjon på 2,8 m av kanalen ble røykgass- og kanalgodstemperaturen minimalt redusert for den delen av kanalen som var isolert, mens temperaturen falt raskt fra punktet der brannisolasjonen opphørte, se Figur 4-1 og Tabell 4-2.

Ettersom det nærmeste målepunktet var 0,25 m fra ovnen, vil den maksimale kanalgodstemperaturen ved ovnen være noe høyere enn temperaturen målt i dette punktet.

Tabell 4-1 Gjennomsnitt av stasjonære røykgass- og kanalgodstemperatur for uisolerte kanaler med diameter 125 mm og 250 mm.

Røykgasstemperatur [°C]											
Avstand fra ovn [m]		0,0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,5
Diameter 250 mm	Gjennomsnitt (n=5) ¹	1016	909	877	843	827	784	731	685	606	567
	Standardavvik	13	40	45	38	40	42	35	49	40	43
Diameter 125 mm	Gjennomsnitt (n=3) ²	999	849	811	777	748	697	662	607	545	478
	Standardavvik	8	10	13	15	17	22	23	30	34	37
Kanalgodstemperatur [°C]											
Avstand fra ovn [m]		0,0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,5
Diameter 250 mm	Gjennomsnitt (n=5) ¹	-	644	586	540	511	376	445	420	378	328
	Standardavvik	-	49	34	19	14	189	21	27	35	33
Diameter 125 mm	Gjennomsnitt (n=3) ²	-	552	485	462	432	406	392	387	364	317
	Standardavvik	-	8	8	9	12	16	20	20	27	28

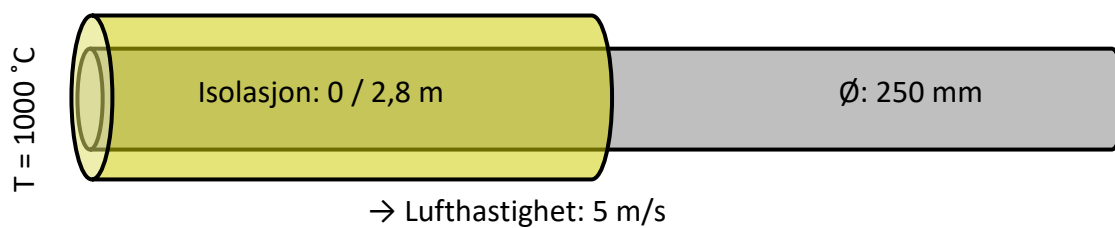
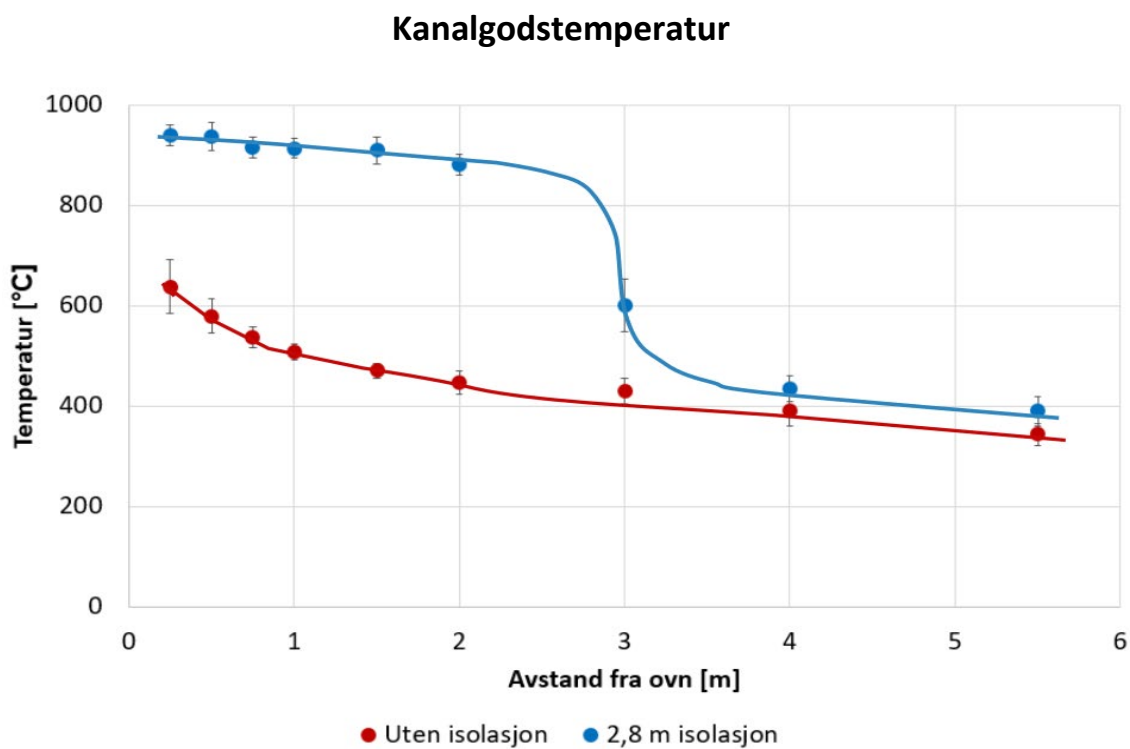
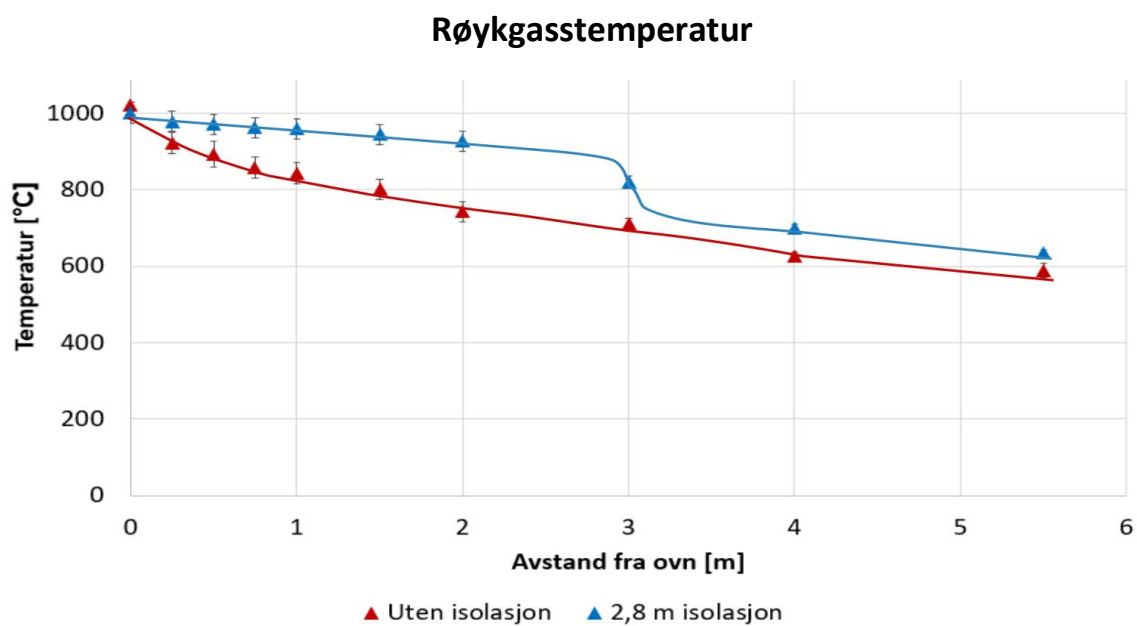
1) Gjennomsnitt er beregnet fra forsøk 3, 4, 9, 13 og 17.

2) Gjennomsnitt er beregnet fra forsøk 21b, 22b og 22c.

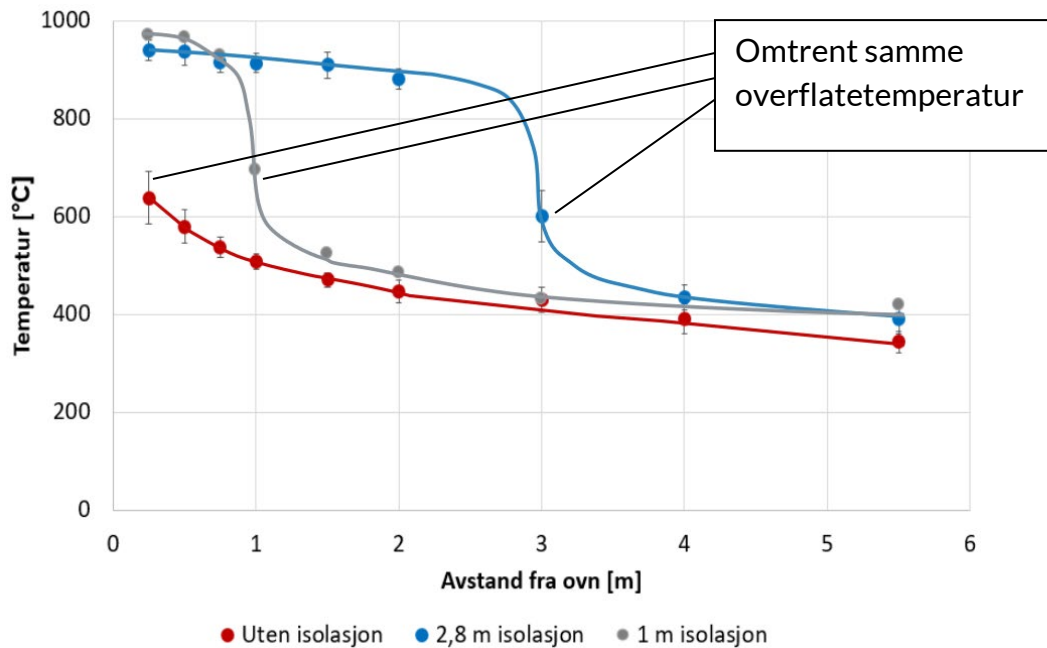
Tabell 4-2 Gjennomsnitt av stasjonære røykgass- og kanalgodstemperaturer for kanaler med diameter 125 mm og 250 mm og med 2,8 m brannisolasjon.

Røykgasstempertur [°C]											
Avstand fra ovn [m]		0,0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,5
Diameter 250 mm	Gjennomsnitt (n = 3) ¹	1002	978	971	962	959	945	927	820	702	635
	Standardavvik	27	27	27	27	26	26	27	16	10	10
Diameter 125 mm	Forsøk 23b	1013	926	917	908	899	882	860	788	626	524
Kanalgodstemperatutur [°C]											
Avstand fra ovn [m]		0,0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,5
Diameter 250 mm	Gjennomsnitt (n = 3) ¹	-	939	937	916	913	910	881	600	435	390
	Standardavvik	-	21	29	20	19	27	21	52	26	29
Diameter 125 mm	Forsøk 23b	.	872	888	884	876	843	816	706	376	372

1) Gjennomsnitt er beregnet fra forsøk 7, 19 og 27.



Figur 4-1 Kanalods- og røykgasstemperatur for 250 mm kanaldiameter med og uten brannisolasjon. Strømningshastighet 5 m/s, nominell ovnstemperatur 1000 °C.



Figur 4-2 Kanalgodstemperatur som funksjon av avstand til ovn, for både uisolert tilfelle, 1 m isolasjon og 2,8 m isolasjon. Godstemperaturen ligger grovt sett mellom 90 – 100 % av den nominelle ovnstemperaturen i de områdene som er isolerte, men synker raskt der kanalen er uisolert.

Maksimal godstemperatur, målt i punktet hvor brannisolasjonen sluttet, var nesten lik for forsøk med henholdsvis 0 m, 1 m og 2,8 m isolasjon, som vist i Figur 4-2 (sorte markører). I dette punktet ligger godstemperaturen mellom 65 - 70 % av nominell ovnstemperatur. 1 m fra dette punktet er godstemperaturen i alle tilfellene mellom 45 – 50 % av nominell ovnstemperatur.

Godstemperaturen målt på toppen av kanalen var på det meste ca. 30 °C høyere enn godstemperaturen målt på undersiden av kanalen ved samme avstand fra ovnen. Den maksimale forskjellen ble målt ved første måling etter ovnen. Forskjellen mellom målingen på oversiden og undersiden var avtagende med økende avstand til ovnen.

4.2 Innblanding av romtemperert luft

Resultatene viser at temperaturen i kanalen ble betydelig redusert ved innblandingspunktet (se Figur 4-3, Tabell 4-3 og Tabell 4-4). Spesielt i forsøkene der kanalen var isolert fram til innblandingspunktet var det en markant nedgang i temperaturen.

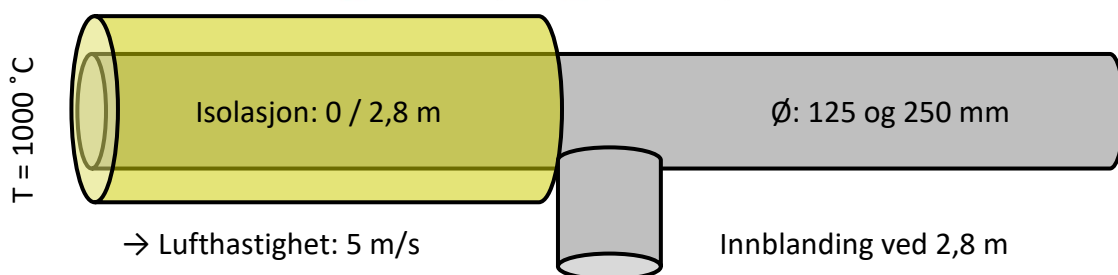
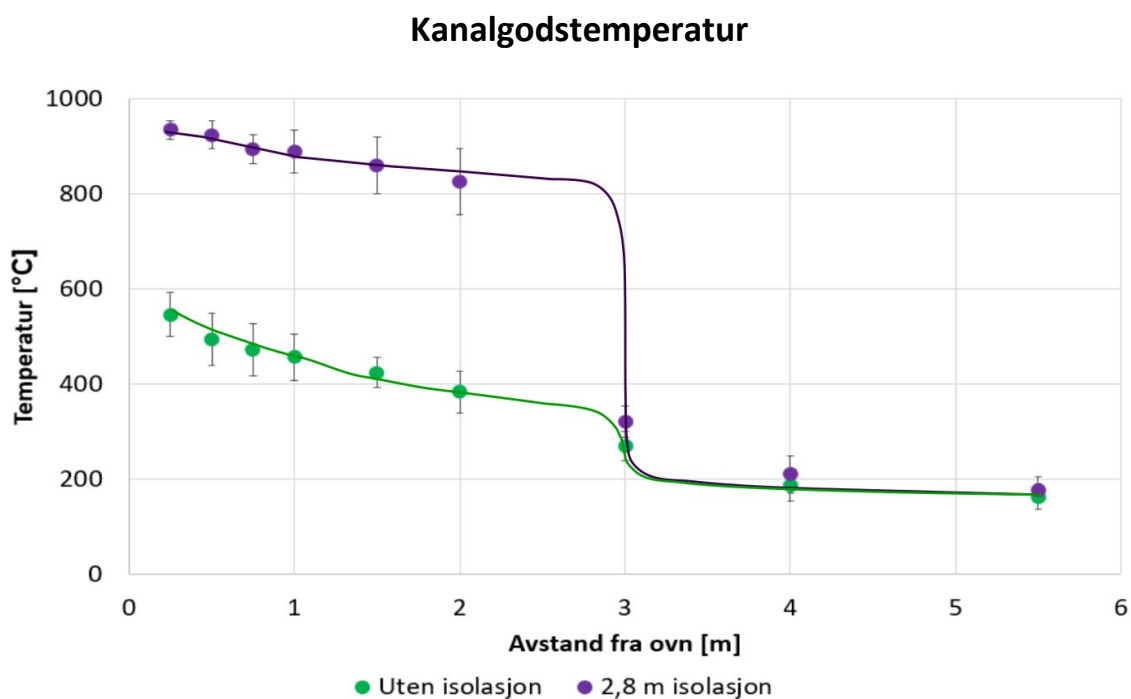
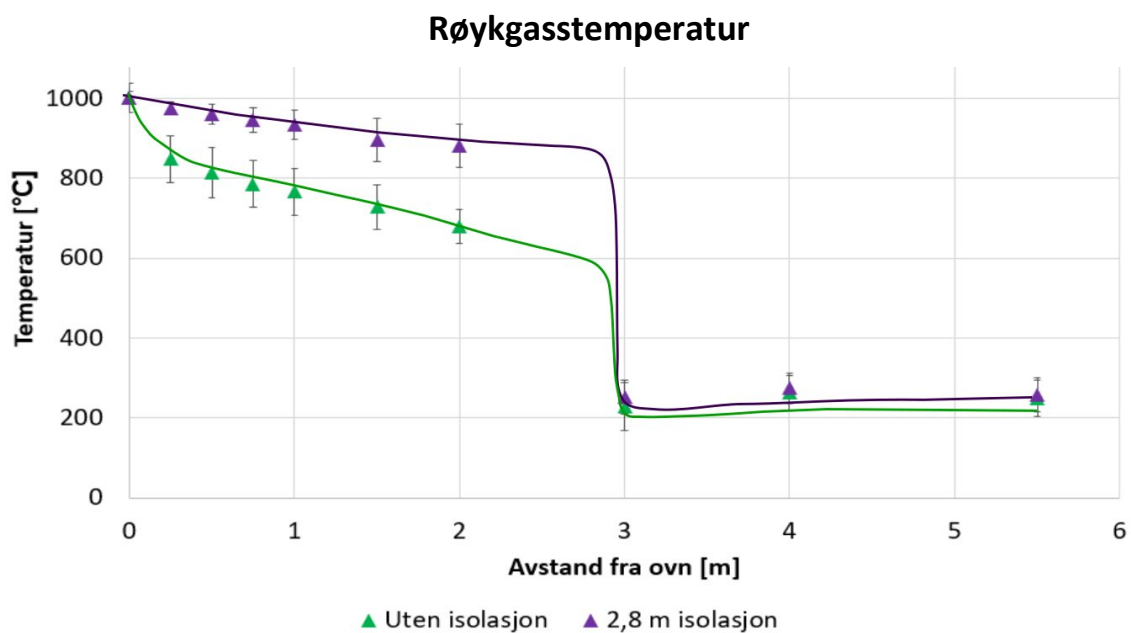
Selv om det er stor forskjell på røykgass- og kanalgodstempertur for uisolert og isolert kanal før innblandingspunktet, blir disse temperaturene nesten like etter innblandingspunktet, som vist i Figur 4-3.

Tabell 4-3 Røykgass- og godstempertur for uisolerte kanaler med 125 og 250 mm diameter med innblanding av romtemperert luft. Gjennomsnitt er beregnet fra forsøk 12, 13,14, 25e og 25f (se Vedlegg A).

Røykgasstempertur [°C]										
Avstand fra ovn [m]	0,0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,5
Gjennomsnitt (n = 5)	1002	849	815	786	766	728	681	229	264	249
Standardavvik	38	59	63	59	58	56	43	60	44	46
Kanalgodstempertur [°C]										
Avstand fra ovn [m]	0,0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,5
Gjennomsnitt (n = 5)	-	546	494	472	457	424	383	269	186	163
Standardavvik	-	46	55	55	48	32	44	31	32	26

Tabell 4-4 Røykgass- og godstempertur for kanal med diameter 125 og 250 mm, 2,8 m isolasjon og innblanding av romtemperert luft. Gjennomsnitt er beregnet fra forsøk 19, 26e og 26f (se Vedlegg A).

Røykgasstempertur [°C]										
Avstand fra ovn [m]	0,0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,5
Gjennomsnitt (n=3)	1001	976	962	946	935	895	881	254	275	258
Standardavvik	15	17	25	32	37	54	54	42	39	43
Kanalgodstempertur [°C]										
Avstand fra ovn [m]	0,0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,5
Gjennomsnitt (n = 3)	-	935	925	895	890	861	825	321	211	178
Standardavvik	-	19	30	31	45	60	70	32	39	27



Figur 4-3 Kanalods- og røykgasstemperatur for 250 mm kanaldiameter, med og uten isolasjon, med innblanding etter 2,8 m. Strømningshastighet 5 m/s, nominell ovnstemperatur 1000 °C.

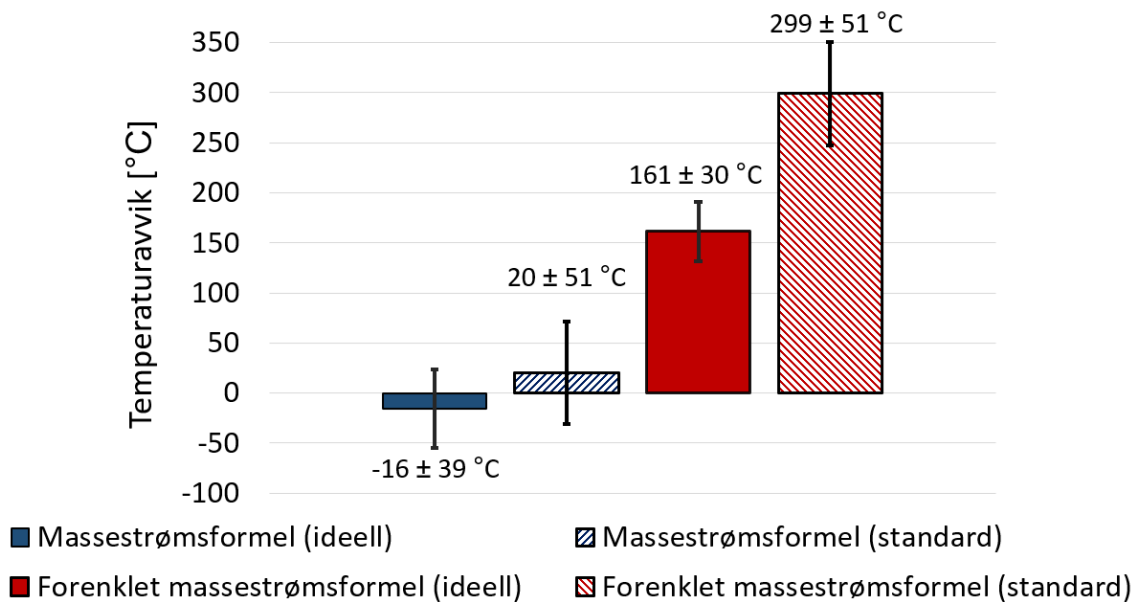
Resultatene for forsøkene med 125 mm kanaldiameter var i stor grad sammenfallende med resultatene for 250 mm kanaldiameter. Tabell 4-5 og Figur 4-4 viser temperaturavvik for beregning av blandingstemperatur ved massestrømsformel (formel (2.2)) og forenklet massestrømsformel (formel (2.3)) i forhold til målte verdier.

Tabell 4-5 Avvik mellom målt blandingstemperatur (ca. 5cm etter innblandingspunktet) og teoretisk blandingstemperatur gitt av massestrømsformel og forenklet massestrømsformel. Temperatur på den varme røyken, målt ved 2,0 m avstand fra ovnen ble benyttet i beregningene.

Forsøk nr.	Kanaldiameter	T_{ovn}	Isolasjons- lengde	Målt blandings- temperatur	Teoretisk blandings- temperatur	Avvik	Teoretisk blandings- temperatur	Avvik
	[mm]				[°C]		[m]	
		[°C]	[m]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
13	250	~1000	0	227	192	-35	353	126
14	250	~1000	0	263	199	-64	368	105
19	250	~1000	2,8	302	222	-80	466	164
25b	125	~800	0	131	173	42	313	182
25c	125	~800	0	185	180	-5	331	146
25e	125	~1000	0	148	181	33	336	188
25f	125	~1000	0	186	191	5	371	185
26b	125	~800	2,8	166	184	18	327	161
26c	125	~800	2,8	252	198	-54	366	114
26d	125	~1000	2,8	200	207	7	419	219
26e	125	~1000	2,8	259	219	-40	465	206

Figur 4-4 viser gjennomsnittlig avvik med standardavvik for beregninger med henholdsvis massestrømsformelen og den forenklete massestrømsformelen i forhold til målte temperaturer. *Ideell* beregning er blandingstemperaturen beregnet ved å benytte røykgasstemperaturen målt like oppstrøms for blandingspunktet (2 m avstand fra ovnen), mens i *standard* beregning er det benyttet en ovnstemperatur på 1000 °C som temperatur på røykgasstemperatur før innblanding. Sistnevnte metode er den metoden som vanligvis vil bli benyttet, ettersom reell temperatur før innblandingspunktet er ukjent. Resultatet viser at ved massestrømsformelen er det liten forskjell mellom standard og ideell metode,

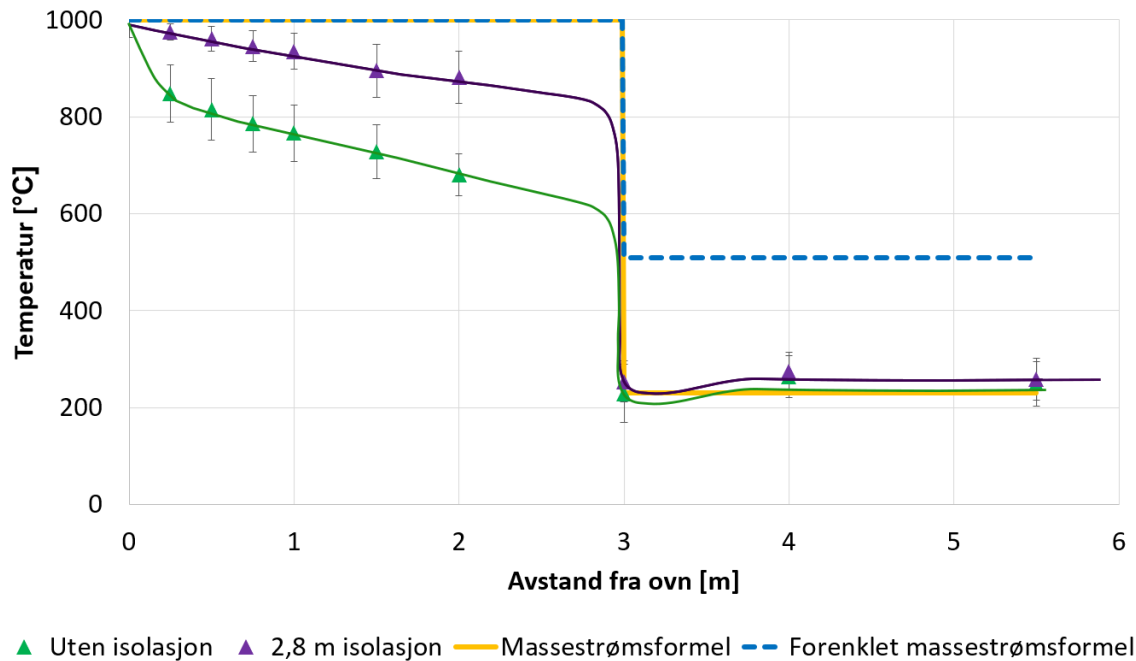
mens for den forenkjede massestrømsformelen er den betydelig. Figuren viser også at den forenkjede massestrømsformelen har et betydelig avvik, selv ved ideell beregning.



Figur 4-4 Gjennomsnittlig temperaturavvik med standardavvik for beregning av blandingstemperatur ved massestrømsformel og forenklet massestrømsformel i forhold til målte verdier. Avvikene for de ideelle beregningene er basert på tallene presentert i Tabell 4-5. Avvikene for standardberegningene er basert på røykgasstemperatur lik ovnstemperatur.

Figur 4-5 viser målte røykgasstemperaturer for tilfellet med innblanding av romtemperert luft, med og uten brannisolert kanal, sammenlignet med teoretiske verdier gitt av henholdsvis den forenkjede massestrømsformelen og massestrømsformelen.

Røykgasstemperatur i kanalen

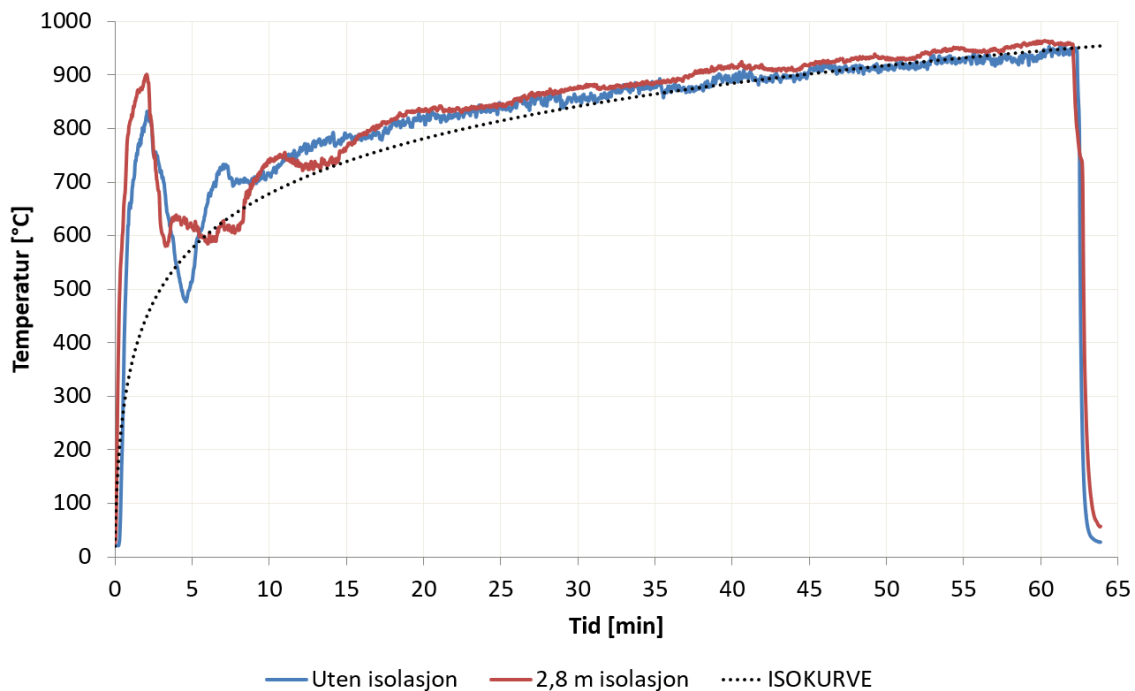


Figur 4-5 Sammenligning av målte røykgasstemperaturer for ventilasjonskanal med diameter 125 mm og 250 mm med temperaturer beregnet ved bruk av den forenklete massestrømsformelen og massestrømsformel. Testene presentert i Tabell 4-4 er presentert i figuren. Den forenklete massestrømsformelen og massestrømsformel er her beregnet basert på en ovnstemperatur på 1000 °C.

4.3 Forsøk med ovnstemperatur lik isokurve

For å undersøke hvordan temperaturene endret seg gjennom et helt brannforløp, ble det i flere forsøk testet med ovnstemperatur i henhold til isokurven i 60 minutter. Forsøkene ble utført på en ventilasjonskanal med diameter på 250 mm, som var henholdsvis uisolert og isolert i 2,8 m og 6,0 m av kanalens lengde (heretter kalt isolert kanal).

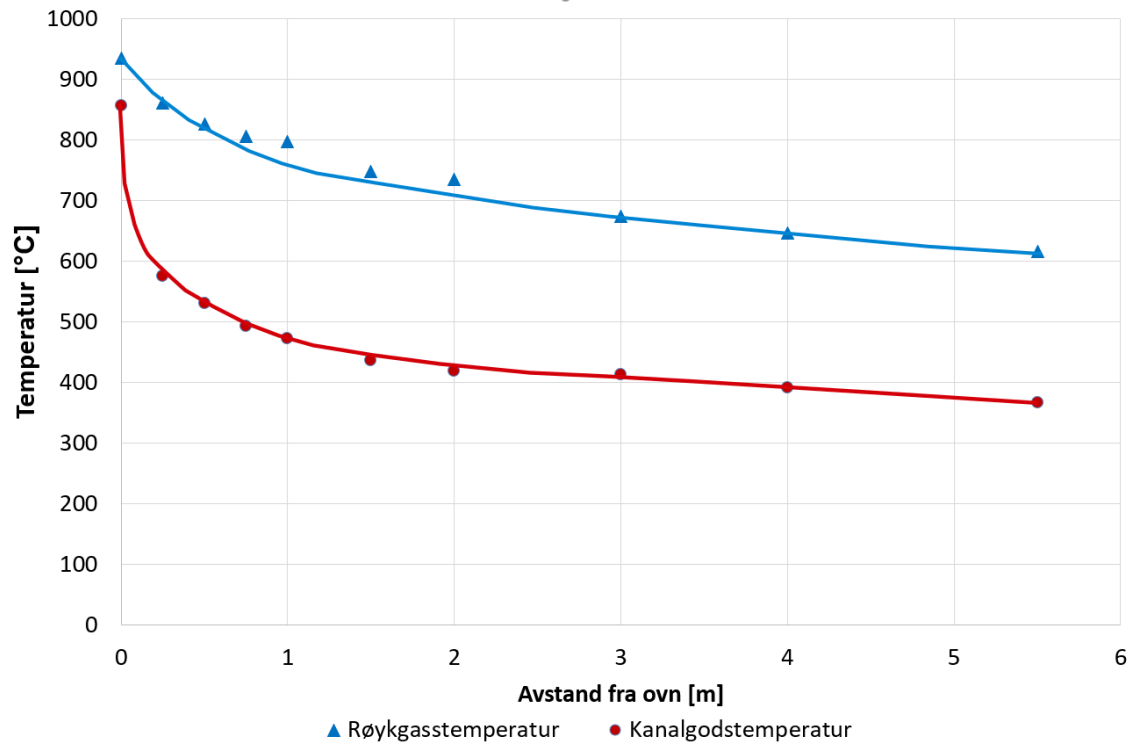
Figur 4-6 viser at bortsett fra noen minutter i starten, samsvarer røykgasstemperaturen målt i inngangen av ventilasjonskanalen godt med den teoretiske kurven.



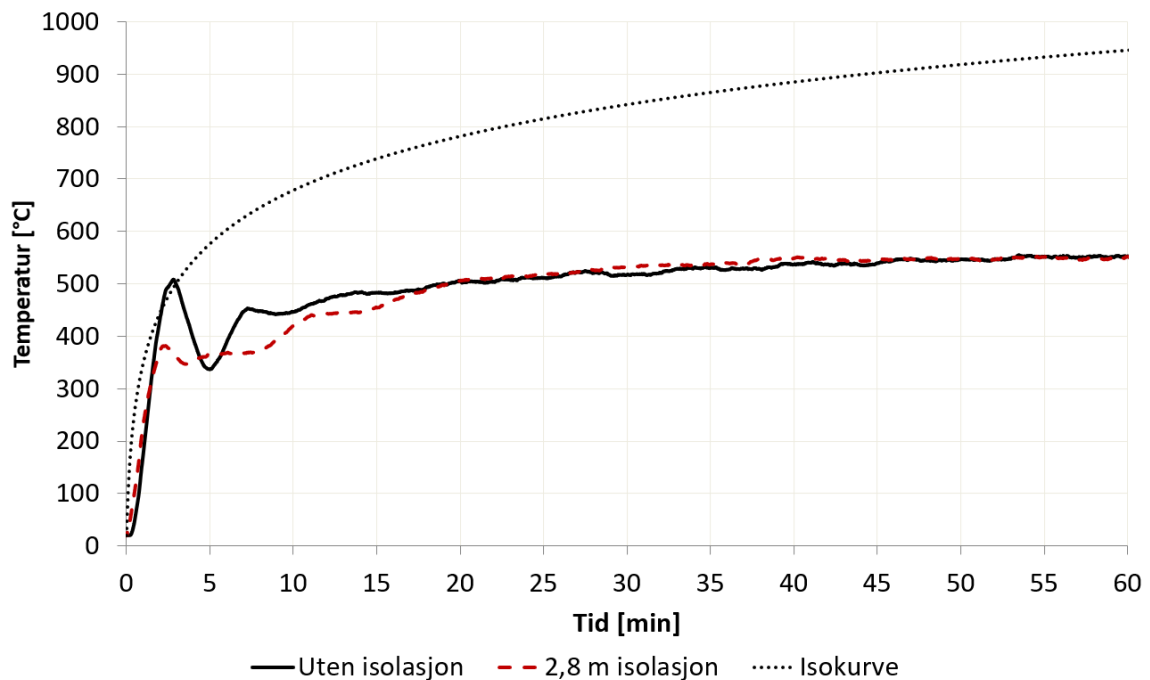
Figur 4-6 Tid- temperaturkurve for uisolert og isolert ventilasjonskanal med diameter 250 mm. Temperaturen er røykgasstemperaturen målt i innløpet av ventilasjonskanalen.

Figur 4-7 viser røykgasstemperatur og godstemperatur for en uisolert ventilasjonskanal etter eksponering av isokurven i 60 minutter. Temperaturen faller fra en temperatur på 858 °C til 576 °C i løpet av de første 0,25 m, og videre til 473 °C ved 1 m fra ovnen. Dette viser at det er et kraftig temperaturfall i løpet av den første meteren av kanalen.

Figur 4-8 viser hvordan godstemperaturen på uisolert del av kanalen endres i løpet av den 60 minutter lange testen. Figuren viser at størsteparten av temperaturøkningen skjer i løpet av de første 15 minuttene. Etter dette tidspunktet var det kun marginal økning av godstemperaturen.



Figur 4-7 Røykgasstemperatur og godstemperatur på uisolert ventilasjonskanal etter eksponering for brannkurve etter isokurve i 60 minutter.

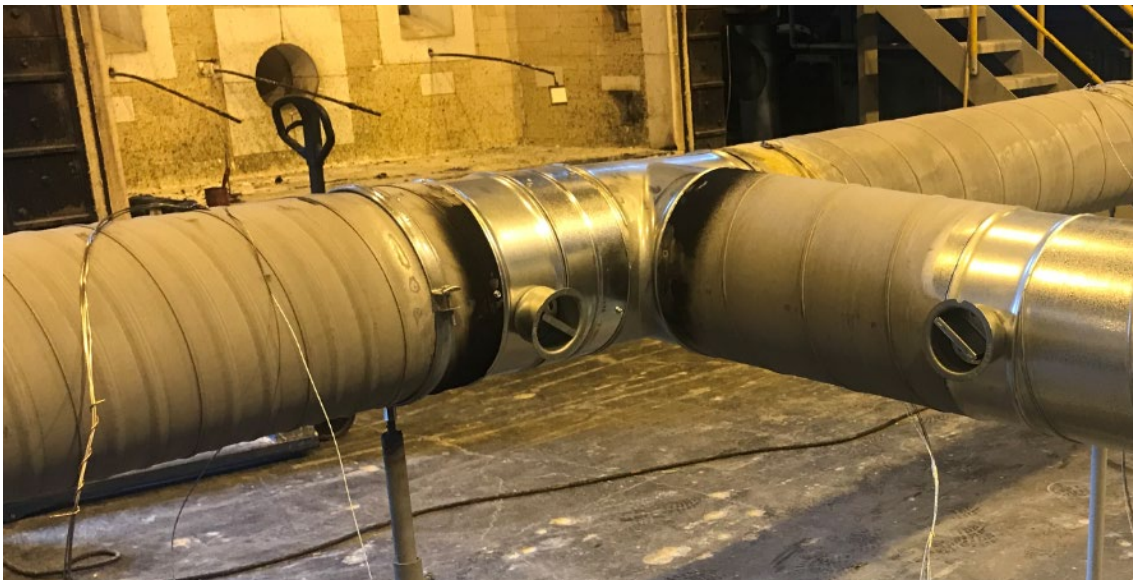


Figur 4-8 Maksimal overflatetemperatur på kanalgodset målt ved 0,25 m og 3 m avstand fra ovnen for henholdsvis uisolert og 2,8 m isolert kanal i en 60 minutters test med ovnstemperatur i henhold til isokurven. Kanaldiameter = 250 mm.

4.4 Varmepåvirkning på kanalen

4.4.1 Uisolert ventilasjonskanal

Etter hvert som de uisolerte kanalene ble utsatt for varm røyk ble de misfarget, etter hvert på store deler av overflaten. Dette kommer av at galvaniseringen ble varmet opp og fordampet, se Figur 4-9. Ut over dette ble det ikke observert noen øvrige skader på ventilasjonskanalene. Kanalene ble brukt i flere forsøk med temperaturer opp mot 1200 °C, uten at dette ga noen tegn på brudd eller deformasjon. For uisolert kanal var det ingen synlig forskjell på om kanalen ble støttet opp fra undersiden eller hengt opp ovenfra. I testene med opphengt kanal var avstanden mellom opphengspunktene på 2,4 m, og dette førte ikke til noen synlige skader på kanalen, se Figur 4-10.



Figur 4-9 Varmen fra røyken har fordampet galvaniseringen på kanalen, og overflaten er blitt matt. Kanalen på bildet er satt sammen av brukte kanaler og et nytt T-stykke.



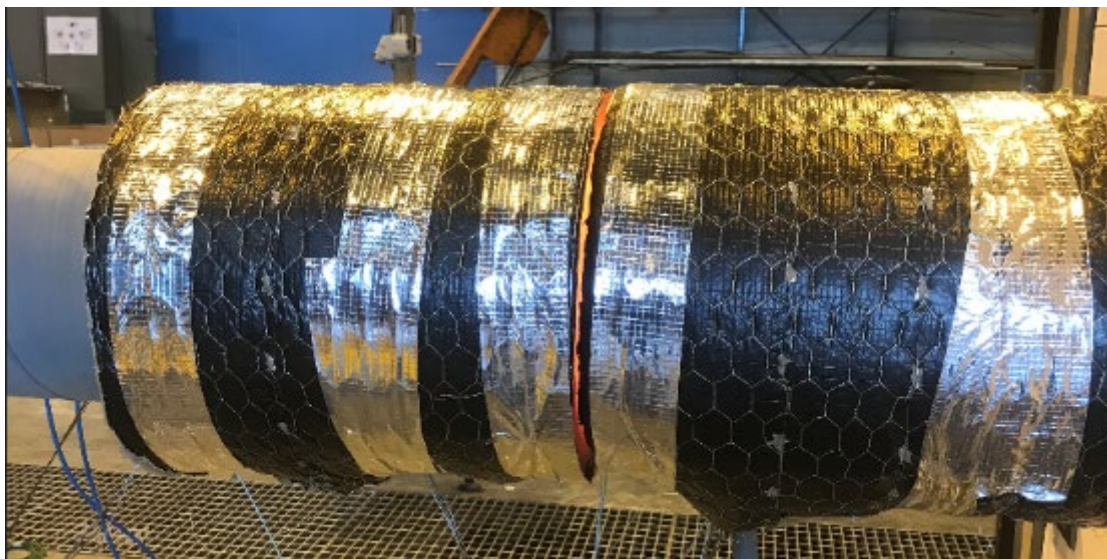
Figur 4-10 Kanalen på bildet hadde 2,4 m avstand mellom hvert opphengspunkt, og det var ingen tegn til deformasjon eller skader på kanalen etter test. Bildet er fra test R5.

4.4.2 Brannisolerte ventilasjonskanaler

Kanal støttet opp underfra

Figur 4-1 viser at godstemperaturen var høyere for kanalen med isolasjon sammenlignet med kanal uten isolasjon. Dette kommer også tydelig fram visuelt i Figur 4-11 og Figur 4-12. Den delen av ventilasjonskanalen som var isolert ble sterkt påvirket av varmen. I alle forsøk med isolasjon ble kanalene deformert rundt områdene der de var støttet opp, og hadde en tendens til å synke sammen på midten, mellom to støttepunkter se Figur 4-13 - Figur 4-15. I enkelte forsøk ble det også observert større hull i kanalen da isolasjonen ble fjernet etter endt forsøk, se Figur 4-16.

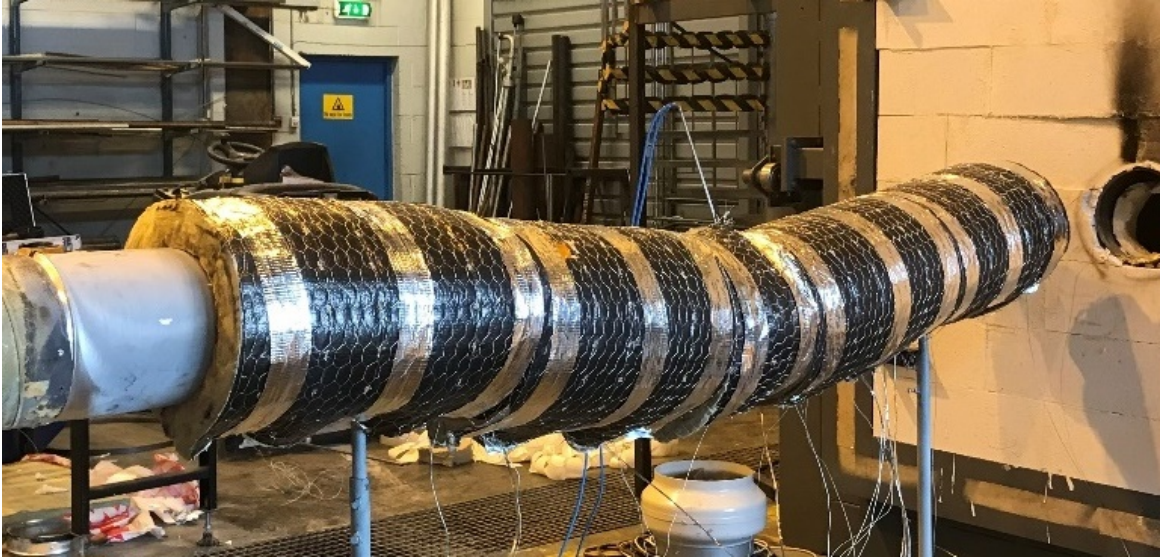
Det ble observert at kanalen med 250 mm diameter hadde større skader og deformasjoner enn hva kanalen med 125 mm diameter hadde.



Figur 4-11 I skjøten mellom to isolasjonsmatter kan man se at kanalen er rødgldende. På den delen av kanalen uten isolasjon (til venstre) er kanalgodset ikke rødgldende. Bildet er fra test 6.



Figur 4-12 Bildet viser at ventilasjonskanalen er rødgldende bak isolasjonen. Kanalen har fått enn liten knekk, som vist ved at to isolasjonsmatter har blitt forskjøvet i forhold til hverandre. Bildet er fra test 22.



Figur 4-13 Ventilasjonskanalen har sunket sammen mellom to støttepunkt. Bildet er fra test 15.



Figur 4-14 Etter at kanalen ble koblet fra ovnen, klarte ikke røret å holde sin egen vekt oppe, og sank sammen. Bildet er fra test 23.



Figur 4-15 Kanalen var tydelig deformert etter endt forsøk. Bildet er tatt etter at isolasjonen ble fjernet, og er fra test 27.



Figur 4-16 Deformasjonen av kanalen ble synlig etter at isolasjonen ble fjernet. Bildet er fra test 7.

Opphengt kanal

Store deformasjoner oppstod også ved opphengt kanal og med avstand mellom opphengspunktene lik 1,5 m. I alle opphengspunktene var kanalen strukket i vertikal retning. Figur 4-17 til Figur 4-19 viser deformasjonen av kanalen ved 60 minutters isokurve. Isolasjonen ble fjernet før bildene ble tatt.

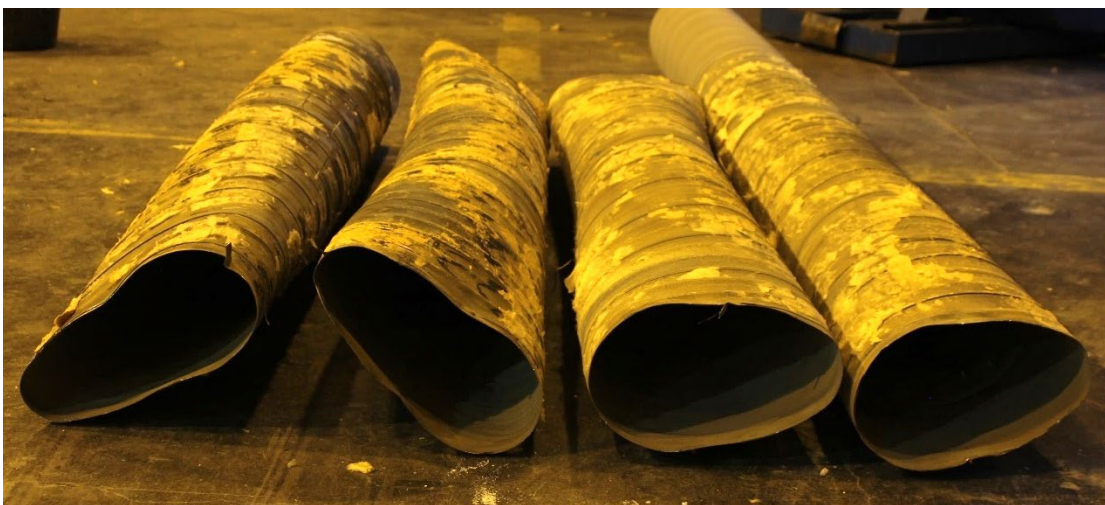
På grunn av deformasjonene ble tverrsnittet av kanalen redusert med ca. 25 %. Det ble ikke oppdaget noen hull i kanalen, og kanalen hadde i kun liten grad sunket sammen mellom opphengspunktene.



Figur 4-17 Kanalen har blitt kraftig deformert i opphengspunktene. Bildene er fra test R4.



Figur 4-18 Klammerne som kanalen var festet i var tydelig deformert. Deformasjonen er størst på de to klammerne til venstre som har befunnet seg nærmest ovnen. Et referanseklammer, til høyre, er lagt ved for å synliggjøre deformasjonen. Bildet er fra test R4.



Figur 4-19 Kanalen er sagt opp ved opphengspunktene for å vise deformasjonene i disse punktene. Kanalversnittene har befunnet seg i 1,5 m, 3,0 m, og 4,5 m avstand fra ovnen (fra venstre mot høyre). Kanalens tverrsnitt ble redusert med ca. 25 % på grunn av deformasjonen. Bildet er fra test R4.

4.4.3 Brennbart materiale i nærheten av kanal

Forsøkene som ble utført for å undersøke om varmemestråling ville antenne brennbart materiale i nærheten av kanalen, ga resultatene som vist i Tabell 4-6 og i Figur 4-20 og Figur 4-21. Ingen av kryssfinerplatene antente i løpet av 60 minutter, men flere av platene innenfor den første meteren ble kraftig forkullet og kunne ført til en brann under noe endrede forhold, eksempelvis mer innelukking. Ved 100 mm avstand fra kanalen var kryssfinerplatene uskadet 1,15 m avstand fra ovnen. Nettverkskabelen som var plassert 100 mm fra kanalen var sterkt misfarget innenfor 0,65 m fra ovnen, svakt misfarget fra 0,65 – 1,35 m fra ovnen, og deretter uskadet.

Tabell 4-6 Resultater fra forsøk med kryssfinerplater utsatt for stråling fra kanal oppvarmet etter isokurven i 60 minutter.

Avstand fra kanal	Forkulling ¹	Misfarging	Uskadet
50 mm	0,25-1,25 m avstand fra ovn	1,25 – 1,85 m avstand fra ovn	Ingen
100 mm	0,25 – 0,45 m avstand fra ovn	0,45 – 1,15 m avstand fra ovn	Fra 1,15 m avstand fra ovn
150 mm	Ingen forkulling ¹	0,25 – 0,65 m avstand fra ovn	Fra 0,65 m avstand fra ovn

1) Første måling ble utført ved 0,25 m avstand fra ovn.



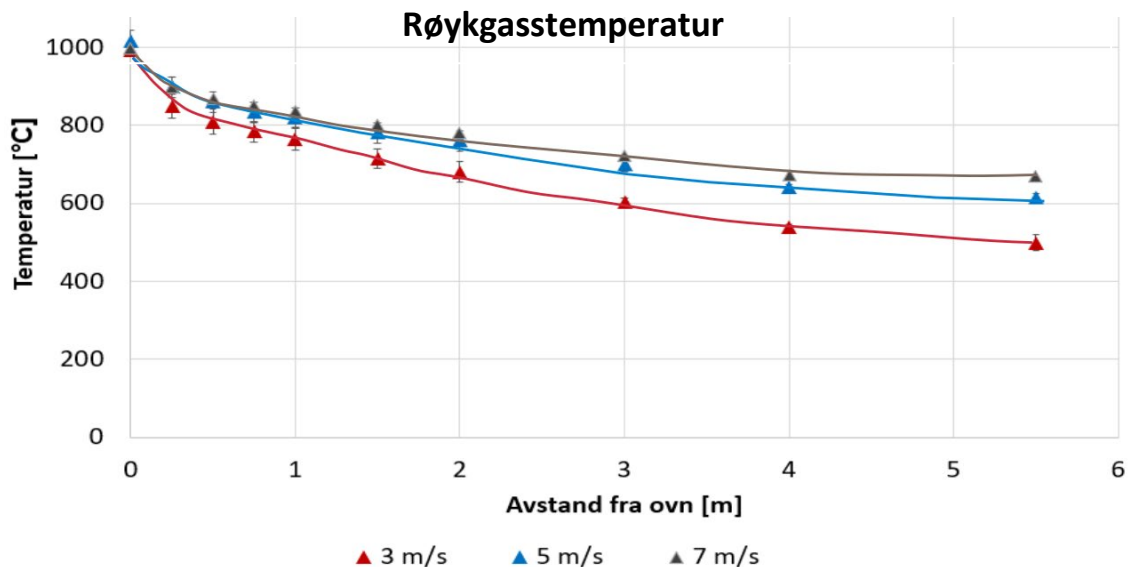
Figur 4-20 Kryssfinerplater og nettverkskabel utsatt for stråling fra kanal oppvarmet etter isokurven i 60 minutter (test R2). Kryssfinerplatene var posisjonert i 50 mm avstand fra underside av kanal, og bunter av nettverkskabel i 100 mm avstand fra siden av kanalen. Nærmeste kryssfinerplate og kabelbunt befant seg 25 cm fra ovnen.



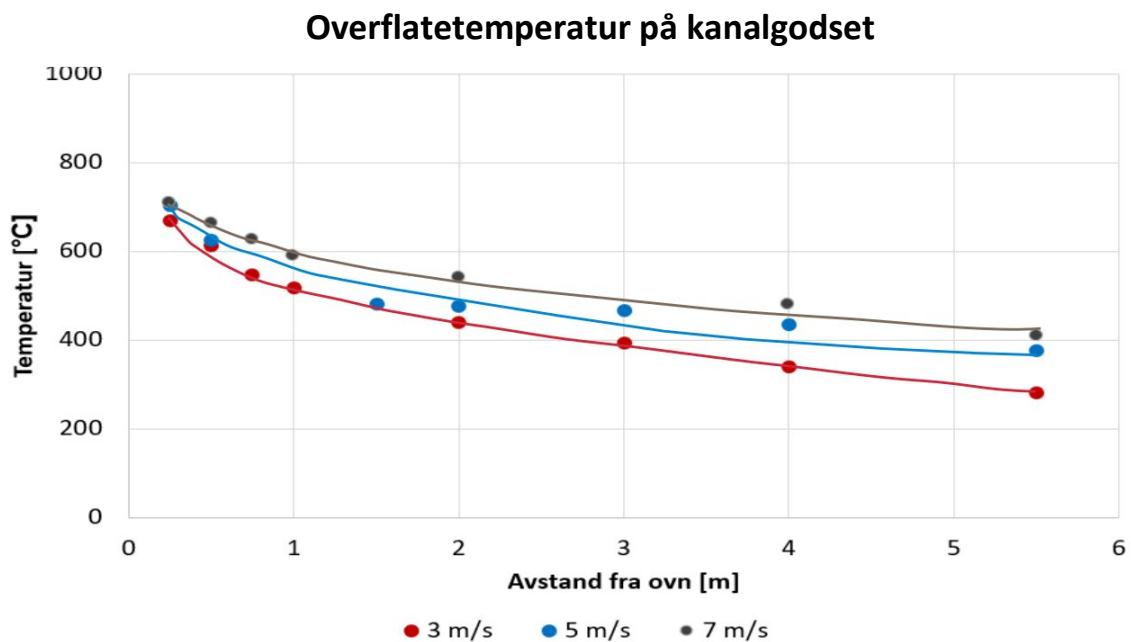
Figur 4-21 Kryssfinerplater og nettverkskabel utsatt for stråling fra kanal oppvarmet etter isokurven i 60 minutter (test R1). Kryssfinerplatene på raden nederst var posisjonert horisontalt 100 mm fra kanalens underside, mens kryssfiner-platene på raden over var posisjonert vertikalt 150 mm fra kanalens side. Plate nr. 1 var plassert 25 cm fra ovnen.

4.5 Effekt av lufthastighet

Strømningshastigheten gjennom kanalen ble undersøkt. I Figur 4-22 og Figur 4-23 presenteres resultatene for forsøk med 250 mm kanaldiameter med strømningshastighet 3 m/s, 5 m/s og 7 m/s. Resultatene viser at ved en høyere strømningshastighet reduseres ikke temperaturen så raskt med økende avstand til ovnen som ved lavere strømningshastigheter. Dette gjelder både for røykgasstemperaturen og for godstemperaturen.



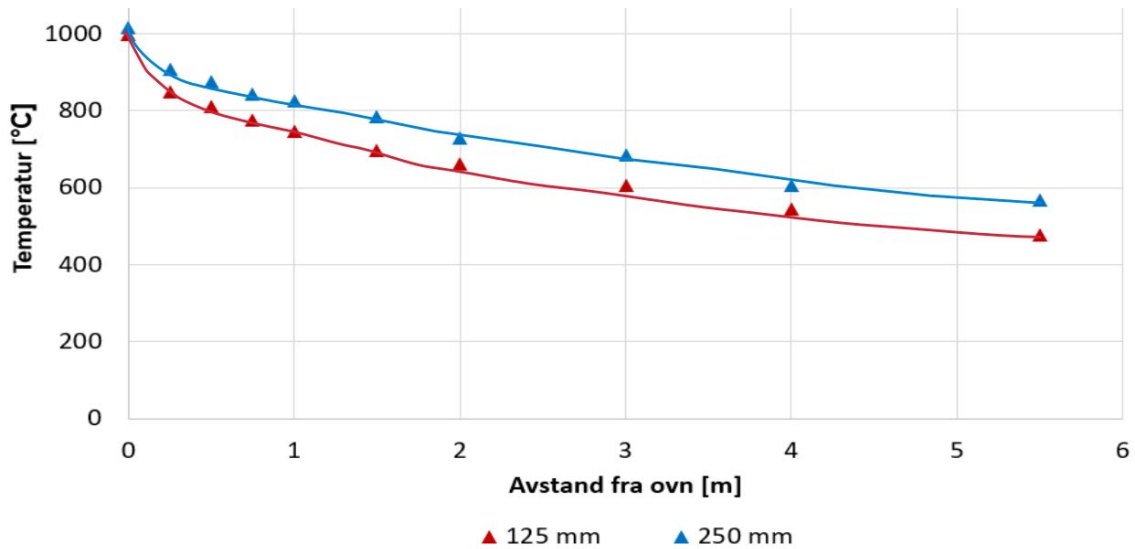
Figur 4-22 Røykgasstemperatur ved ulike strømningshastigheter i en uisolert kanal med diameter 250 mm. Nominell ovnstemperatur = 1000 °C.



Figur 4-23 Godstemperatur ved ulike lufthastigheter i en uisolert kanal med diameter 250 mm. Nominell ovnstemperatur = 1000 °C.

4.6 Effekt av kanaldiameter

Det ble utført forsøk med kanaler med diameter på henholdsvis 125 mm og 250 mm. I hovedsak ser man de samme temperaturtrendene for begge dimensjonene, men temperaturen ble noe raskere redusert for den minste kanalen, som vist i Figur 4-24.



Figur 4-24 Røykgasstemperatur for uisolert kanal med diameter 125 mm og 250 mm.

5 Diskusjon

Målsettingen med denne delen av prosjektet har vært å undersøke om dagens praksis med å brannisolere ventilasjonskanaler i sin fulle lengde ved trekk-ut-løsninger er nødvendig. Forsøkene der vi sammenlignet en uisolert ventilasjonskanal og en kanal som var isolert i 2,8 m lengde ga mange resultater som gir grunnlag for å vurdere om man kan redusere bruken av isolasjon.

I dette kapittelet diskuteres de ulike problemstillingene opp mot resultatene fra forsøkene, før en oppsummering vedrørende nødvendigheten av å brannisolere kanaler er gitt i kapittel 5.5.

5.1 Kritisk overflatetemperatur

Ifølge byggdetaljbladet trenger man ikke å brannisolere kanaler dersom røykgasstemperaturen er lavere enn 160 °C [10]. Denne verdien kommer fra NS-EN 1366-1 (Prøving av brannmotstanden til tekniske installasjoner – Del 1: Ventilasjonskanaler) [16], der overflatetemperaturer i snitt ikke tillates å øke mer enn 140 °C. Med en romtemperatur på 20 °C ender man opp med et temperaturkriterium på 160 °C. Det finnes imidlertid gode argumenter for å stille spørsmålstegn ved om denne temperaturgrensen kunne vært høyere.

Forsøkene utført i denne studien har vist at godstemperaturen på uisolert kanal ligger en del lavere enn røykgasstemperaturen. Dersom man likevel antar at godstemperaturen er 160 °C, gir dette en maksimal teoretisk varmestråling på 2 kW/m² (antar da emissivitet og synsfaktor $\varepsilon = F_{d1-2} = 1$). I virkeligheten vil både kanalens emissivitet og synsfaktor være mindre enn 1. Dersom man tar utgangspunkt i en sirkulær kanal med diameter 250 mm, oppnås en synsfaktor på henholdsvis 0,56 og 0,33 for en avstand på 100 mm og 250 mm fra kanalen, se referanse [2]. Emissiviteten til en ventilasjonskanal vil ifølge litteraturen ligge et sted mellom 0,3 og 0,8. Gitt emissivitet $\varepsilon = 0,8$ (konservativt) vil strålingsnivået fra en kanal med godstemperatur 160 °C på et materialelement i en avstand på 100 mm og 250 mm fra kanalen bli henholdsvis 0,9 kW/m² og 0,5 kW/m². Et slikt strålingsnivå vil ikke kunne antenne et vanlig forekommende brennbart materiale (plast, papir, trevirke) innenfor et tidsrom på 60 minutter.

Ved å benytte en emissivitet lik $\varepsilon = 0,8$, og synsfaktor lik 0,56, gir dette en kritisk godstemperatur på ca. 500 °C [2]. Slike temperaturer ble kun målt innenfor 1,0 m avstand fra ovnen, og det er derfor forventet at det er innenfor en slik avstand fra en vegg det vil være kritisk med tanke på antennelse av brennbart materiale.

Risikoen for antennelse av brennbart materiale reduseres når avstanden fra kanal til brennbart materiale øker. I forsøkene (se kapittel 4.4.3) observerte vi at både nettverkskabelen og kryssfinerplaten, som hadde en avstand til kanalen på 100 mm, var helt uskadet i en avstand på 1,15 m fra ovnen.

Til tross for at forsøkene viser at det skal mye til for å få brennbart materiale til å antenne på grunn av varmestråling fra en ventilasjonskanal, vil et reelt scenario kunne utvikle seg annerledes enn i våre forsøk. Mange kanaler er plassert i rom over nedforet himling, og i slike tilfeller vil faren for antennelse av brennbart materiale øke i forhold til om kanalen er plassert i et åpent rom. Omgivende luft i himlingsrommet vil varmes opp, og på den måten bidra til oppvarming av brennbart materiale. I slike tilfeller må akseptabel avstand mellom brennbart materiale og kanal økes, eller brennbart materiale må dekkes til eller skjermes for å hindre antennelse.

5.2 Reduksjon av temperatur ved innblanding av romtemperert luft

Forsøkene (se kapittel 4.2) viste at både røykgasstemperaturen og godstemperaturen ble redusert betydelig etter et punkt der romtemperert luft ble blandet med den varme røyken. Med ovnstemperaturer på ca. 1000 °C, ble det målt røykgasstemperaturer i området 148 °C – 302 °C etter innblanding av romtemperert luft for ulike kanaldimensjoner og ulik grad av isolering. Godstemperaturen 1 m etter innblandingspunktet ble målt til (186 ± 32) °C. Dette er temperaturer som aldri vil føre til antennelse av brennbart materiale i løpet av 60 minutters eksponering.

Resultatene fra forsøkene med 125 mm kanaldiamenter var i stor grad sammenfallende med resultatene for 250 mm kanaldiameter. Figur 4-4, Figur 4-5 og Tabell 4-5 gir et godt grunnlag for sammenligning av massestrømsformelen og den forenklete massestrømsformelen, og det er tydelig at massestrømsformelen stemmer langt bedre med de målte temperaturene enn den forenklete massestrømsformelen for beregning av blandingstemperaturer.

Grunner til at målingene avviker noe fra teoretiske verdier beregnet ved massestrømsformelen, kan være følgende:

- 1) Målepunktet for blandingstemperaturen befant seg like nedstrøms for innblandingspunktet, noe som kan bety at lufttemperaturen ikke nødvendigvis var uniform over kanaltverrsnittet i målepunktet. Dette vil kunne gi et avvik som skiller seg fra teoretisk verdi enten i negativ eller positiv retning.
- 2) For forsøk med både 125 mm og 250 mm kanaldiameter ble det observert at røykgasstemperaturen økte fra innblandingspunktet og nedstrøms i kanalen. Denne effekten var tydeligst der kanalen var isolert før innblandingspunktet. Dette tyder på at i innblandingspunktet og nedstrøms ble røyken varmet opp av kanalgodset som hadde magasinert varme. I innblandingspunktet var det dermed kald luft som avkjølte røyken, og varmt kanalgodset som varmet opp røyk-luftblandingene igjen. I den teoretiske modellen er det ikke tatt med bidrag fra varmt

kanalgods, og dermed er det forventet at den teoretiske verdien fra massestrømsformelen vil ligge noe lavere enn den målte verdien.

- 3) På grunn av noe varierende trykk i ovnen (± 3 Pa) for ulike forsøk, vil også den faktiske lufthastigheten gjennom kanalen variere noe fra forsøk til forsøk. Dette kan ha bidratt til at innblandingsforholdet mellom kald og varm luft ikke har vært nøyaktig 1:1. Dette kan også bidra til at blandingstemperaturen avviker noe fra teoretisk verdi, og at det er en viss spredning i resultatene.

Med disse forholdene tatt i betraktning, stemmer de målte blandingstemperaturene relativt godt overens med teoretiske beregninger når massestrømsformelen benyttes.

Resultatene viser samtidig at innblanding av romtemperert luft er et effektivt middel for å redusere både røykgass- og godstemperaturen, noe som reduserer risikoen for spredning av brann via ventilasjonskanalene. Dette kommer tydelig fram når det etter massestrømsformelen er nødvendig å fortynne røyken i et 1:1,6-forhold for å senke røyktemperaturen fra 1000 °C til 160 °C, mens det ifølge den forenklete massestrømsformelen kreves et 1:6-forhold, se referanse [2]. Ved å benytte massestrømsformelen i prosjekteringen vil man derfor kunne unngå bruk av brannbeskyttende tiltak.

5.3 Varmepåvirkning på kanaler og komponenter

En bieffekt av å brannisolere kanaler er at røyken holdes varm lengre enn den ville gjort i uisolerte kanaler. Dette vil også kunne gi en økt belastning på kanalene og tilknyttede komponenter. Forsøkene (se kapittel 4.4) viste at de isolerte kanalene ikke tålte varmen de ble eksponert for når varm røyk ble trukket gjennom kanalen. De delene av kanalene som var kledd med isolasjon ble i stor grad deformert, spesielt rundt områdene hvor kanalene ble støttet opp eller i opphengspunkter. I forsøkene med de høyeste temperaturene ble det også observert enkelte større åpninger i kanalen (se Figur 4-15). Det er uvisst i hvilken grad et slikt hull ville bidratt til røykspredning ettersom det var et lag med isolasjon utenpå, men det virker sannsynlig at det kunne gitt et betydelig bidrag.

Fra forsøkene ser man at dersom kanalen er isolert, blir røykgasstemperaturen i liten grad redusert med økende avstand til ovnen. I tillegg er godstemperaturen under isolasjonen omtrent like høy som røykgasstemperaturen (se Figur 4-3). Det er dermed ikke overraskende at en isolert kanal har større skader enn en uisolert kanal. Det ble også observert at kanalen med 250 mm diameter hadde større deformasjoner enn kanalen med 125 mm diameter. Dette kan skyldes høyere egenvekt for den største kanalen.

I mange av de utførte forsøkene hvor de isolerte kanalene ble deformert, ble kanalene støttet opp fra undersiden med en avstand mellom festene på maksimalt 1,7 m. Dette er ikke en standard festeanordning for ventilasjonskanaler. Det ble derfor gjennomført flere forsøk hvor kanalene ble hengt opp med avstand mellom opphengspunktene lik 1,5 m, noe som samsvarer med Glavas anbefalinger i sin monteringsanvisning [15]. Også i disse forsøkene ble de isolerte kanalene deformert. Det er imidlertid knyttet usikkerhet til hvilke maksimumsavstander mellom innfestingspunktene som benyttes i praksis. Det er forventet at deformasjonene vil bli enda større med økende innfestingsavstand.

Når det gjelder de uisolerte kanalene, var det ingen tegn til skader, selv ikke på de som hadde blitt utsatt for en røykgasstemperatur på 1200 °C, eller ved eksponering for isokurven i 60 minutter og opphengsavstand lik 2,4 m.

Til tross for at ventilasjonskanalene i de utførte forsøkene ble utsatt for varm brannrøyk innvendig, mener vi at resultatet i stor grad er overførbart også til et scenario med eksponering for utvendig brann. En ventilasjonskanal utsatt for brann fra utsiden vil avkjøles av luften som trekkes gjennom kanalen. Gitt at det under hele brannforløpet går relativt kald luft gjennom kanalen, mener vi at det kan argumenteres for at brannisolasjon ved utvendig brann i de fleste tilfeller ikke er nødvendig for å beskytte kanalens integritet.

Når det gjelder festeanordninger, finnes det enkelte eksempler på at ventilasjonskanaler har falt ned under brann på grunn av utilstrekkelig festing av kanaler til tak [17]. Ved en utvendig brann vil festeanordninger naturligvis bli utsatt for en kraftigere påkjenning enn ved innvendig brannpåkjenning i kanalen, og det er derfor viktig at det velges dokumenterte løsninger, og at utførelsen gjøres i henhold til monteringsanvisning.

Når det gjelder varmepåvirkning på andre komponenter, slik som vifter, vil røyken i mange tilfeller ha blitt fortynnet flere ganger, slik at temperaturen på de utblandete røykgassene som trekkes gjennom vifta er langt ifra den opprinnelige temperaturen på røykgassene.

5.4 Effekt av trykket i brannrommet

I de gjennomførte forsøkene ble ovnen kjørt med så lav trykkdifferanse mellom ovn og rommet utenfor som mulig, for å unngå at ovnstrykket påvirker massestrømmen gjennom kanalen. Dette vil øke repeterbarheten i forsøkene. Det er godt kjent at trykket i et rom hvor det brenner kan bli høyt når kald luft varmes opp og utvider seg. Hvor høyt trykk en brann gir påvirkes blant annet av hvor raskt brannen utvikler seg, og hvor stort og tett rommet er. Et høyt trykk vil bidra til å øke lufthastigheten gjennom avtrekkskanalen, slik at blandingstemperaturer blir høyere enn ved normaltrykk. Som vist i Figur 4-22 og Figur 4-23 vil en større lufthastighet føre til en høyere røykgasstemperatur og en høyere overflatetemperatur i kanalgodset.

Normalt vil trykket være størst i løpet av de første fem minuttene av brannvekstfasen [18], og deretter avta. Dersom et vindu knuses eller en dør åpnes, vil trykket raskt utlignes. Vi

forventer derfor ikke at maksimale godstemperaturer og blandingstemperaturer vil bli mye høyere enn det som er oppnådd i disse forsøkene. Forsøk utført i Finland viser at et ventilasjonsanlegg i drift bidrar til å trykkavlaste rommet, slik at annen uønsket røyklekkasje reduseres [19].

5.5 Behovet for å brannisolere kanaler

Ved oppføring av nye bygg er praksis i dag i stor grad å brannisolere ventilasjonskanaler i sin fulle lengde. I tillegg til at dette er beskrevet i byggdetaljbladet brukes også standarden NS-EN 1366-1 [16] av mange som et argument for at hele ventilasjonskanalen skal brannisoleres. Dette er en feilaktig bruk av standarden, som i utgangspunktet ikke er et verktøy for å kunne si noe om kanaler bør isoleres eller ikke, men en metode for å sammenligne ulike isolasjonsprodukter og -tykkelser mot hverandre på et likt grunnlag. Det er ikke nevnt noen steder i standarden hvilken lengde av kanalen som må isoleres.

Forsøk og beregninger utført i denne studien har bidratt til å belyse denne problemstillingen, og på bakgrunn av resultatene, samt diskusjonen i de foregående kapitlene, kan det stilles spørsmålsteget ved dagens praksis.

Som tidligere omtalt viser teoretiske beregninger [2] og resultatene fra forsøkene at den forenklete massestrømsformelen for beregning av blandingstemperaturer er svært konservativ. Ved å benytte massestrømsformelen, som tar hensyn til tettheten til volumstrømmene, blir blandingstemperaturen vesentlig lavere. Dette gir grunnlag for å redusere bruken av brannbeskyttende tiltak i langt større grad etter innblandingspunkt enn hva som tidligere har vært praksis.

Fra teoretiske beregninger kan det også stilles spørsmålsteget ved om en røykgasstemperatur i kanalen på 160 °C er riktig grense for å vurdere når det er behov for brannsikringstiltak. Den absolutt høyeste strålingsverdien man kan få fra en overflate med temperatur 160 °C er for lav til å kunne antenne nærliggende materialer. Dersom man i tillegg tar hensyn til synsfaktoren til et objekt, kan det gjennom beregninger vises at ventilasjonskanaler kan ha overflatetemperaturer som er langt høyere enn 160 °C uten at det er fare for at materialer antenner. Dette forutsetter imidlertid at det er en viss avstand mellom brennbart materiale og ventilasjonskanalen. Vi mener at det på grunnlag av resultatene i denne studien kan utarbeides en løsning som begrenser bruken av brannbeskyttende tiltak såfremt det er en gitt sikkerhetsavstand mellom kanaloverflate og brennbart materiale. En slik løsning bør få status som preakseptert.

I byggeforskrift fra 1997 med veiledning [8] er det å isolere 1 m på hver side, evt. 2 m på den ene siden, av et brannskille beskrevet som en preakseptert løsning. Med tanke på maksimal overflatetemperatur skiller ikke en slik løsning seg vesentlig fra å ikke isolere i det hele tatt, som vist i Figur 4-2. Den største forskjellen er at strålingen tilbake til veggen som kanalen går gjennom blir redusert betydelig. Dette er vist ved beregninger i referanse [2]. En slik løsning kan være aktuell dersom veggen ventilasjonskanalen går

igjennom er brennbar. Dersom veggen er ubrennbar og det ikke finnes brennbare materialer i nærheten, vil imidlertid ikke denne løsningen være nødvendig.

5.6 Mulige løsninger og forslag til preaksepterte ytelser

Basert på resultatene fra de teoretiske beregningene presentert i referanse [2], og forsøkene presentert i kapittel 4, mener vi at bruk av brannisolasjon på kanaler bør unngås, og at det er mulig å utvikle et brannsikkert ventilasjonskonsept uten bruk av brannisolasjon. *Svensk ventilation* har utgitt en håndbok med praktiske løsninger for brannsikring av ventilasjonskanaler [20]. Ifølge håndboken kan man fjerne isolasjonen helt, under forutsetning av at brennbare materialer befinner seg utenfor en viss avstand. Denne avstanden er avhengig av kanaldimensjoner, kanaltemperatur og type brennbart materiale.

I første del av kanalen er det målt godstemperaturer som indikerer at det er behov for tiltak som forhindrer at brennbart materiale i nærheten av kanalen blir antent. Dette forutsetter imidlertid at brennbart materiale kan identifiseres i de aktuelle områdene. I mange tilfeller er dette godt ivaretatt (avhenger av brannklasse, type rom og branncellens størrelse), ettersom det i byggteknisk forskrift med veiledning (§ 11-9) [21,22] er krav med hensyn til overflater og kledninger i himlingsrom og i hulrom. Eksempelvis skal overflater i himlingsrom over rømningsvei for brannklasse 1-3 ha egenskaper lik B-s1,d0 [ln1]. Dette kravet tilfredsstilles normalt ved å kle himlingsoverflatene med gipsplater. Dette innebærer at i mange bygg er det begrenset brennbart materiale i nærheten av ventilasjonskanaler.

Forslag til preaksepterte ytelser

Vi ser for oss flere ulike strategier som bidrar til å redusere behovet for brannsikringstiltak:

1. Brannisolering av ventilasjonskanaler i sin alminnelighet anses ikke tilrådelig, fordi kanalen vil kunne deformeres eller skades på grunn av varmpåkjenningen i en brann.
2. Der det ikke finnes brennbare materialer i nærheten av kanalen, er det ikke behov for tiltak mot antennelse.
3. Ved brennbart materiale i nærheten av kanalen må det vurderes om materialet må beskyttes mot varmpåkjenning fra kanalgodset (eksempelvis ved bruk av strålingsskjerm eller ved punktisolering).
4. En annen tilnærming er å beregne en sikkerhetsavstand til brennbart materiale ut fra kritisk varmefluks til materialene i nærheten. Ingen brennbare materialer må plasseres innenfor denne sikkerhetsavstanden. Dersom det av praktiske grunner

ikke lar seg gjøre at alle brennbare materialer har tilstrekkelig avstand til kanalen, kan det i slike tilfeller velges en løsning som angitt i punkt 2.

5. I bygg hvor aktive brannsikringstiltak (eksempelvis sprinkleranlegg) holder temperaturene på et lavt nivå er det ikke behov for ytterligere brannsikringstiltak.

5.7 Metodekritikk

Det er visse kriterier som bør oppfylles for at et forsøk skal være godt utført. Forsøket må være realistisk i forhold til hva det forsøker å etterligne, det må være utført på en måte som gir god repeterbarhet, og det må være beskrevet tilstrekkelig til at andre kan reproducere resultatet.

Realisme

Forsøksoppsettet ble designet for å etterligne reelle forhold så godt som mulig med mulighet for god repeterbarhet. I stor grad mener vi at vi har klart å skape et realistisk scenario. Det er valgt kanaltype, kanaldimensjoner og isolasjonstype som i stor grad brukes i bygg i dag, og strømningshastighetene gjennom kanalene var også typiske hastigheter.

Det som i størst grad skiller dette forsøksoppsettet fra hvordan ventilasjonskanaler faktisk blir installert, er at de normalt er bygget inn i et mindre volum, som over nedforet himling. Forhold i omgivelsene kan derfor være annerledes enn i forsøkene. For eksempel vil lufta i himlingsrommet bli varmet opp, noe som kan påvirke maksimal overflatetemperatur på uisolert kanal, og dermed hvor effektiv avkjølingen av røykgassene inne i kanalen er.

I vår forsøksserie ble det blant annet utført tester med ovnstemperatur på ca. 800 °C, ca. 1000 °C og ca. 1200 °C. I mange virkelige branner blir ikke temperaturen i et brannrom så høy, enten fordi det er installert et automatisk slokkeanlegg, det er for lite tilgang på luft, eller det er for lite brennbart materiale tilgjengelig. Vi mener derfor at røykgasstemperaturene valgt i disse forsøkene både er realistiske og til dels konservative.

Oppsummert, mener vi at forsøksoppsettet i stor grad representerer reelle forhold, og at resultatene er realistiske, men konservative.

Repetierbarhet

De aller fleste forsøkene ble repetert, og resultatene fra de ulike repetisjonene viste godt samsvar. Den enkeltfaktoren som hadde størst betydning for variasjonen mellom forsøkene var trykket i ovnen. Det ble forsøkt å ha minst mulig trykkdifferanse mellom ovnen og omgivelsene, og alle stasjonære temperaturer ble hentet ut på et tidspunkt der trykket i ovnen var innenfor et nivå på ± 3 Pa, som forøvrig er innenfor kravet til brannmotstandstester utført etter NS-EN 1363-1 [14]. Til tross for at dette er små

trykkforskjeller, kan det likevel ha bidratt til at tilsynelatende like forsøk har gitt noe forskjellige resultater.

Reproduserbarhet

Vi har forsøkt å beskrive forsøksoppsettet med tilstrekkelige detaljer til at det skal være mulig å reprodusere resultatene våre i stor grad.

6 Konklusjoner

Resultatene fra forsøkene og de teoretiske beregningene viser at det er mulig å lage et brannsikkert ventilasjonskonsept som baserer seg på en trekk-ut-strategi uten bruk av brannisolasjon på kanalnettet. Dersom det finnes brennbare materialer i nærheten av ventilasjonskanalene må det vurderes om det er behov for brannsikringstiltak.

Forsøkene viste at røykgasstemperaturen og godstemperaturen for uisolerte kanaler raskt ble redusert med økende avstand til varmekilden (ovnen). For den uisolerte kanalen var maksimal godstemperatur lokalisert direkte utenfor ovnen. Det samme gjaldt for den isolerte kanalen, men temperaturen i punktet hvor isolasjonen opphørte var ikke nevneverdig lavere enn temperaturen ved ovnen.

Innblanding av romtemperert luft reduserte røykgasstemperaturen og godstemperaturen effektivt. Dette skyldes i stor grad at varm luft har en langt lavere tetthet enn romtemperert luft.

De uisolerte kanalene ble ikke skadet av varmen de ble eksponert for. Man kunne imidlertid se en misfarging på kanalene, noe som skyldtes at galvaniseringen på kanalen hadde fordampet. De brannisolerte kanalene derimot, hadde tydelige deformasjoner. Deformasjonene oppstod i hovedsak i nærheten av støtte- og opphengspunktene. Dette kan bidra til spredning av brann og røyk, og bruk av brannisolasjon er derfor ikke tilrådelig.

Referanser

- [1] «Kollegiet for brannfaglig terminologi», 22 okt. 2018. [Online]. Tilgjengelig på: <http://www.kbt.no>.
- [2] A. S. Bøe, J. P. Stensaas, og C. Sesseng, «BRAVENT - Teori- og kunnskapssammenstilling», RISE Fire Research, Trondheim, Norge, RISE-rapport 2018:61, ISBN: 978-91-88695-97-0, 2018.
- [3] *Byggeforskrift 1985*, bd. FOR 1985-11-15 nr 1892. 1984.
- [4] *Byggeforskrift 1987*, bd. FOR 1987-05-27 nr 0458. 1987.
- [5] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, Klima- og miljødepartementet, *Forskrift 22. januar 1997 nr. 33 om krav til byggverk og produkter til byggverk (Forskrift om krav til byggverk, TEK97)*. 1997.
- [6] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, *Forskrift 26. mars 2010 nr. 489 om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK10)*. 2010.
- [7] «Rett og slett en veiledning til Byggeforskrift 1987». Statens bygningstekniske etat.
- [8] Statens bygningstekniske etat, *REN - Veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven 1997. 2. utgave*. 1999.
- [9] Statens bygningstekniske etat, *REN - Veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven 1997. 3. utgave*. 2003.
- [10] S. Andersson, «Brannsikring og røyksikring av balanserte ventilasjonsanlegg», SINTEF Byggforsk, Byggdetaljer 520.352, apr. 2018.
- [11] «Veileder for brannsikker ventilering versjon 4 (BV Nett veileder)». 12 nov. 2015.
- [12] V. Babrauskas, «Ignition of Common Solids», i *Ignition handbook: principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management and forensic science*, Issaquah, WA: Fire Science Publishers, 2003, s. 234–351, Chapter 7.
- [13] M. J. Hurley mfl., *SFPE handbook of fire protection engineering*, 5. utg. USA: Springer, 2016.
- [14] «NS-EN 1363-1:2012, Prøving av brannmotstand - Del 1: Generelle krav.» Standard Norge, 2012.
- [15] «GLAVA - Brannisolering av ventilasjonskanaler - Montasjeanvisning for ULTIMATE U Protect». GLAVA, apr. 2018.
- [16] «NS-EN 1366-1:2014 - Prøving av brannmotstand til tekniske installasjoner - Del 1: Ventilasjonskanaler». Standard Norge, 2014.
- [17] A. M. Jacobsen, «Masteroppgave: Drift av ventilasjonsanlegg under brann i multiromsbygg», Høgskolen i Oslo og Akershus, Oslo, 2014.
- [18] H. Prétel, W. Le Saux, og L. Audouin, «Pressure variations induced by a pool fire in a well-confined and force-ventilated compartment», *Fire Saf. J.*, bd. 52, s. 11–24, aug. 2012.
- [19] S. Hostikka, R. K. Janardhan, U. Riaz, og T. Sikanen, «Fire-induced pressure and smoke spreading in mechanically ventilated buildings with air-tight envelopes», *Fire Saf. J.*, bd. 91, s. 380–388, 2017.
- [20] *Praktiska lösningar - Brandskydd - Ventilation*. Svensk Ventilation, 2014.
- [21] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, *Forskrift 19. juni 2017 nr. 840 om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK17)*. 2017.
- [22] (DiBK) Direktoratet for byggkvalitet, «Veiledning om tekniske krav til byggverk - Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning. Ikrafttredelse 1. juli 2017.» DiBK, 01 jul. 2017.

Vedlegg A. Forsøksmatrise

Fullstendig forsøksmatrise er gitt i Tabell A-1, Tabell A-2 og Tabell A-3.

Tabell A-1 Forsøksmatrise for kanal med diameter 250 mm.

Forsøk*	Kanal-dimensjon [mm]	Ovns-temperatur [°C]	Isolasjons-lengde [m]	Strømnings-hastighet [m/s]	Innblanding av romtem-perert luft
1	250	800	0	5	Ingen
2	250	800	0	5	Ingen
3	250	1000	0	5	Ingen
4	250	1000	0	3	Ingen
5	250	1000	0	7	Ingen
6	250	1000	1	5	Ingen
7	250	1000	2,8	5	Ingen
8	250	1000	2,8	7	Ingen
9	250	1000	0	5	Ingen
10	250	1100	0	5	Ingen
11	250	1200	0	5	Ingen
12	250	1000	0	3	1 kanal
13	250	1000	0	5	1 kanal
14	250	1000	0	7	1 kanal
15	250	800	0	0	Ingen
16	250	800	0	5	Ingen
17	250	1000	0	5	Ingen
18	250	1000	0	7	Ingen
19	250	1000	2,8	5	1 kanal
24	250	Isokurve	0	5	Ingen
27	250	Isokurve	2,8	5	Ingen

* Forsøk {4, og 5}, {7 og 8}, {9, 10 og 11}, {12, 13 og 14} og {15, 16, 17 og 18} ble gjennomført i bolker uten å koble fra kanalen.

Tabell A-2 Forsøksmatrise for kanal med diameter 125 mm.

Forsøk*	Kanal- dimensjon [mm]	Ovns- temperatur [°C]	Isolasjons- lengde [m]	Strømnings- hastighet [m/s]	Innblanding av romtem- perert luft
20 a	125	800	0	3	Ingen
21 a	125	800	0	3	Ingen
21 b	125	1000	0	3	Ingen
21 c	125	1100	0	3	Ingen
21 d	125	1200	0	3	Ingen
22 a	125	1000	0	1	Ingen
22 b	125	1000	0	3	Ingen
22 c	125	1000	0	5	Ingen
23 a	125	800	2,8	3	Ingen
23 b	125	1000	2,8	3	Ingen
23 c	125	1100	2,8	3	Ingen
23 d	125	1200	2,8	3	Ingen
25 a	125	800	0	3	1 kanal
25 b	125	800	0	5	1 kanal
25 c	125	800	0	7	1 kanal
25 d	125	1000	0	3	1 kanal
25 e	125	1000	0	5	1 kanal
25 f	125	1000	0	7	1 kanal
26 a	125	800	2,8	3	1 kanal
26 b	125	800	2,8	5	1 kanal
26 c	125	800	2,8	7	1 kanal
26 d	125	1000	2,8	3	1 kanal
26 e	125	1000	2,8	5	1 kanal
26 f	125	1000	2,8	7	1 kanal

* Forsøk {21 a - d}, {22 a - c}, {23 a - d}, {25 a - f} og {26 a - f} ble gjennomført i bolker uten å koble fra kanalen.

Tabell A-3 Tester med kanaloppheg

Forsøk*	Kanal- dimensjon [mm]	Ovns- temperatur [°C]	Isolasjons- lengde [m]	Strømnings- hastighet [m/s]	Avstand mellom opphegspunkter [m]
R1	250	60 minutter ISO-kurve	0	5	1,5
R2	250	60 minutter ISO-kurve	0	5	1,5
R3	250	60 minutter ISO-kurve	0	5	1,5
R4	250	60 minutter ISO-kurve	6	5	1,5
R5	250	60 minutter ISO-kurve	0	5	2,4

Vedlegg B. CFD-simulering av forsøksoppsett

Av: Finn Drangsholt, Sykehusbygg HF.

Innledning

I Sykehusbyggs høringsuttalelse til ny byggteknisk forskrift (TEK17) ble det utarbeidet et notat som omhandler brannisolering av ventilasjonskanaler. Notatet bygger på manuelle beregninger og numeriske simuleringer. Noen av modellene som ble benyttet i høringsnotatet er justert slik at det har vært mulig å gjøre noen innledende simuleringer i forkant av laboratorieforsøkene.

Formålet med disse beregningene har vært å finne fram til en fornuftig design av forsøksoppsett og instrumentering. Dette vedlegget beskriver modellene som ble benyttet og viser noen beregningsresultat.

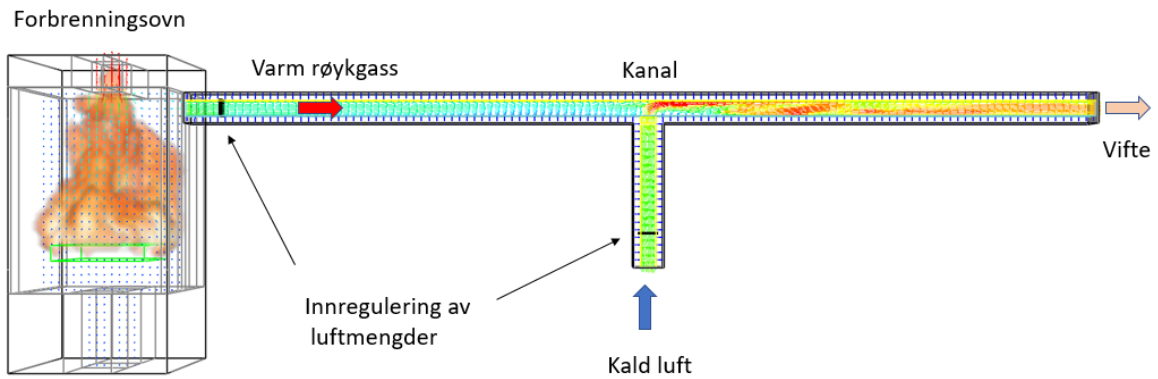
CFD-simuleringer

Beregningene er utført i programmet FDS (versjon 6.6) som er utviklet av NIST (National Institute of Standards and Technology, USA). Programmet bygger på et kartesisk koordinatsystem hvilket innebærer at eksisterende geometri og planløsning må tilpasses et rutemønster med gitt oppløsning. I hvert kontrollvolum beskrives de fysiske hendelsene ved hjelp av matematikk som løses for alle cellene i hele romvolumet. Løsning av ligningssystemet skjer ved hjelp av en iterasjonsprosedyre koplet til en tidsgenerator. Programkoden benytter "Large Eddy simulation" teknikk for å beskrive turbulens. FDS inneholder 6 ulike turbulensmodeller.

Beregningene som presenteres i dette vedlegget benytter turbulensmodellene Smagorinsky/Deardorf (default). Beregningene er gjennomført med en gridstørrelse ($b \times h \times l$) på $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$. Kanalene er bygd opp ved hjelp av en tynnsjikts 2D-modell. CFD-beregningene gir nødvendigvis ikke de helt riktige svarene, snarere gir beregningene noen indikasjoner på hva en kan forvente seg av hendelsesforløp. Finnes det data fra forsøk kan CFD-beregninger forbedres betraktelig gjennom «kalibrering» mot disse ved å prøve ulike turbulensmodeller, endre gridoppløsning samt overskrive standardverdier relatert til blant annet beregning av varmeovergangstall.

Modeller

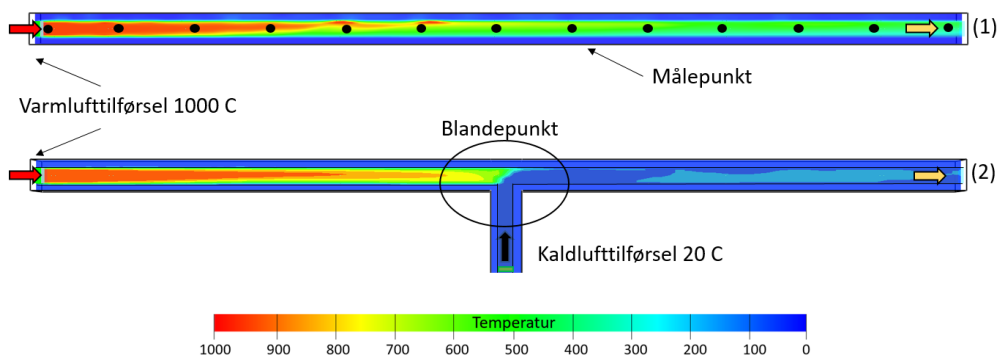
Figur B-1 viser modell med forbrenningsovn og kanalstrekk. Kanalstrekket har en lengde på 6 m med mulighet for innblanding av kald romluft etter 3 m.



Figur B-1 CFD modell av forsøksoppsett.

Modellen viste seg å gi noen utfordringer. For å oppnå ønsket luftfordeling i kanalnett må det introduseres restriksjoner i kanalnettet som må justeres inn ved hjelp av prøving og feiling. Den samme problematikken oppstår når man skal etablere en gitt temperatur på røykgassen fra ovnen. Her må en prøve seg fram med å variere enten forbrenningsarealet eller varmeavgivelsen til røykgassen ut av ovnen har ønsket temperatur.

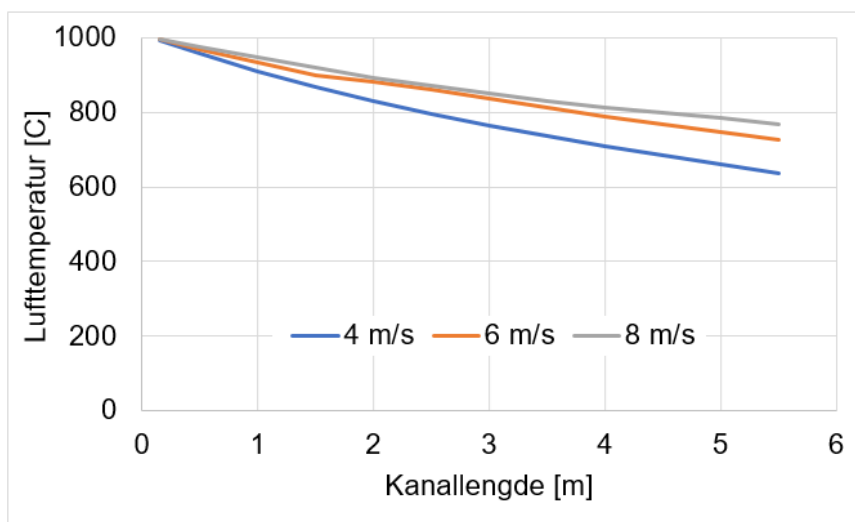
Modell med ovn ble derfor erstattet av enklere konsept bestående av kanalnett med et varmluftselement og et kaldluftselement. Figur B-2 viser modell uten innblanding av romluft (øverst) og med innblanding av romluft (nederst).



Figur B-2 CFD modell av kanalutlegg - med og uten innblanding av kald romluft

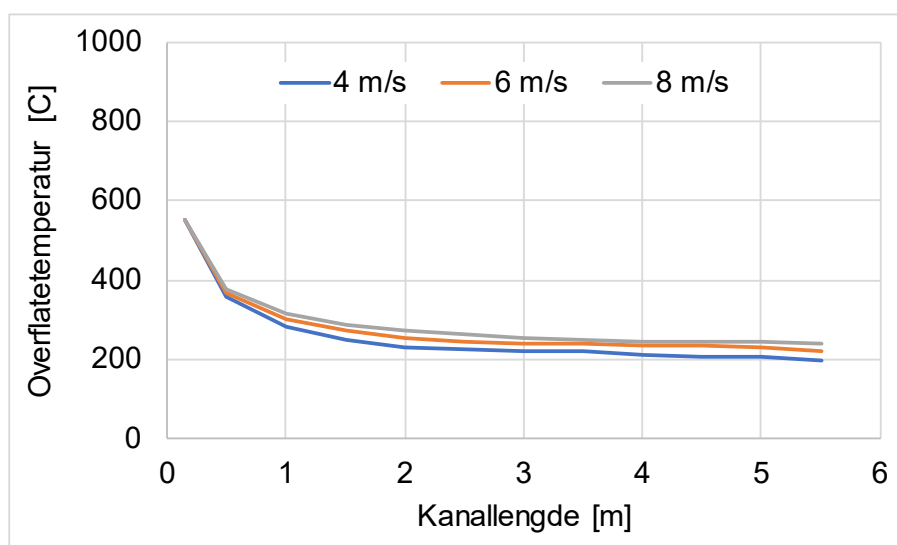
Resultat - CFD simuleringer

Figur B-3 viser røykgasstemperatur (middelverdien av alle celledverdier i et tverrsnitt) som funksjon av hastighet og avstand fra varm tilførsel av røykgass, kanaldimensjon Ø250, ingen innblanding av romluft (modell 1, figur B-2).



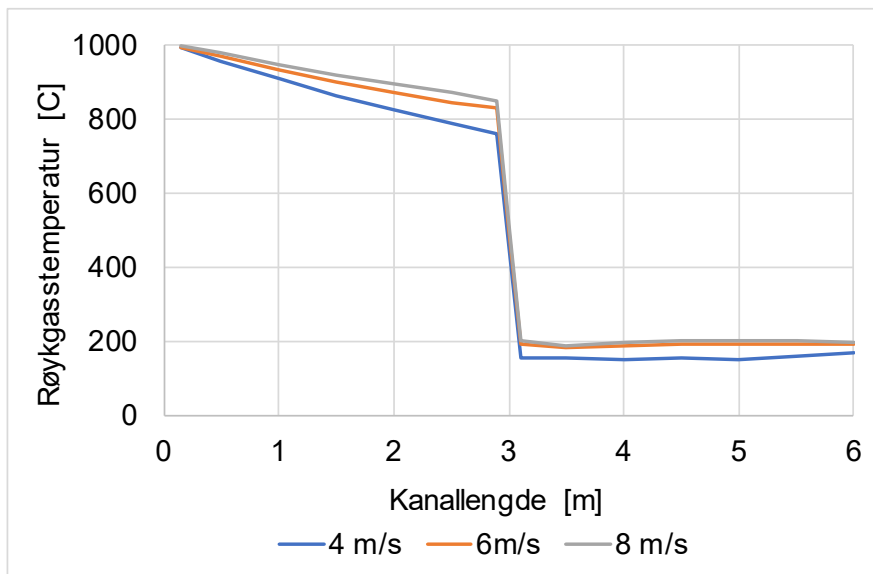
Figur B-3 Røykgasstemperatur - kanaldimensjon Ø250, ingen innblanding av romluft.

Figur B-4 viser overflatetemperatur på kanalgodset som funksjon av hastighet og avstand fra varm tilførsel av røykgass. Kanaldimensjon Ø250, ingen innblanding av romluft (modell 1).



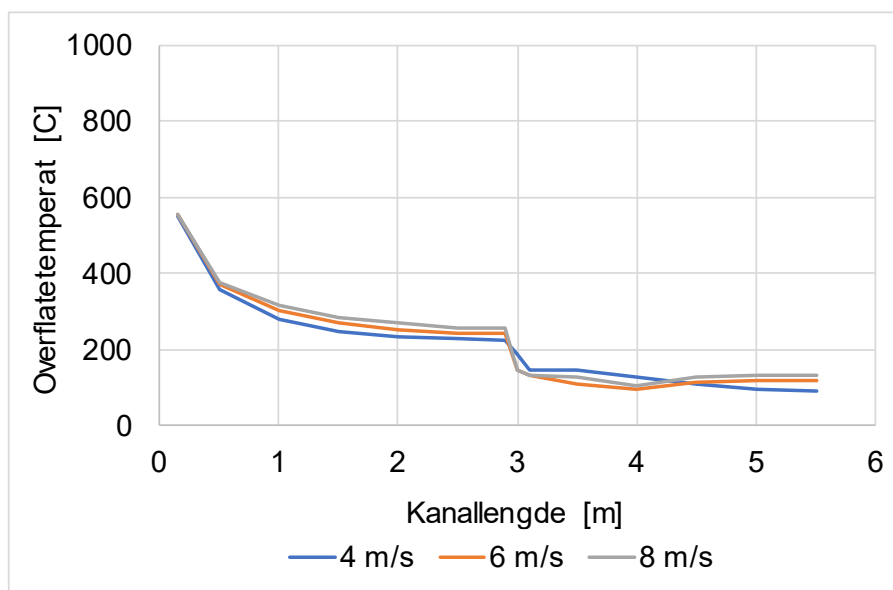
Figur B-4 Overflatetemperatur kanalgods - kanaldimensjon Ø250, ingen innblanding av romluft

Figur B-5 viser temperatur på røykgassen som funksjon av hastighet og avstand fra tilførsel av varm røykgass. Romluft av 20 °C blandes inn etter 3 m (modell 2).



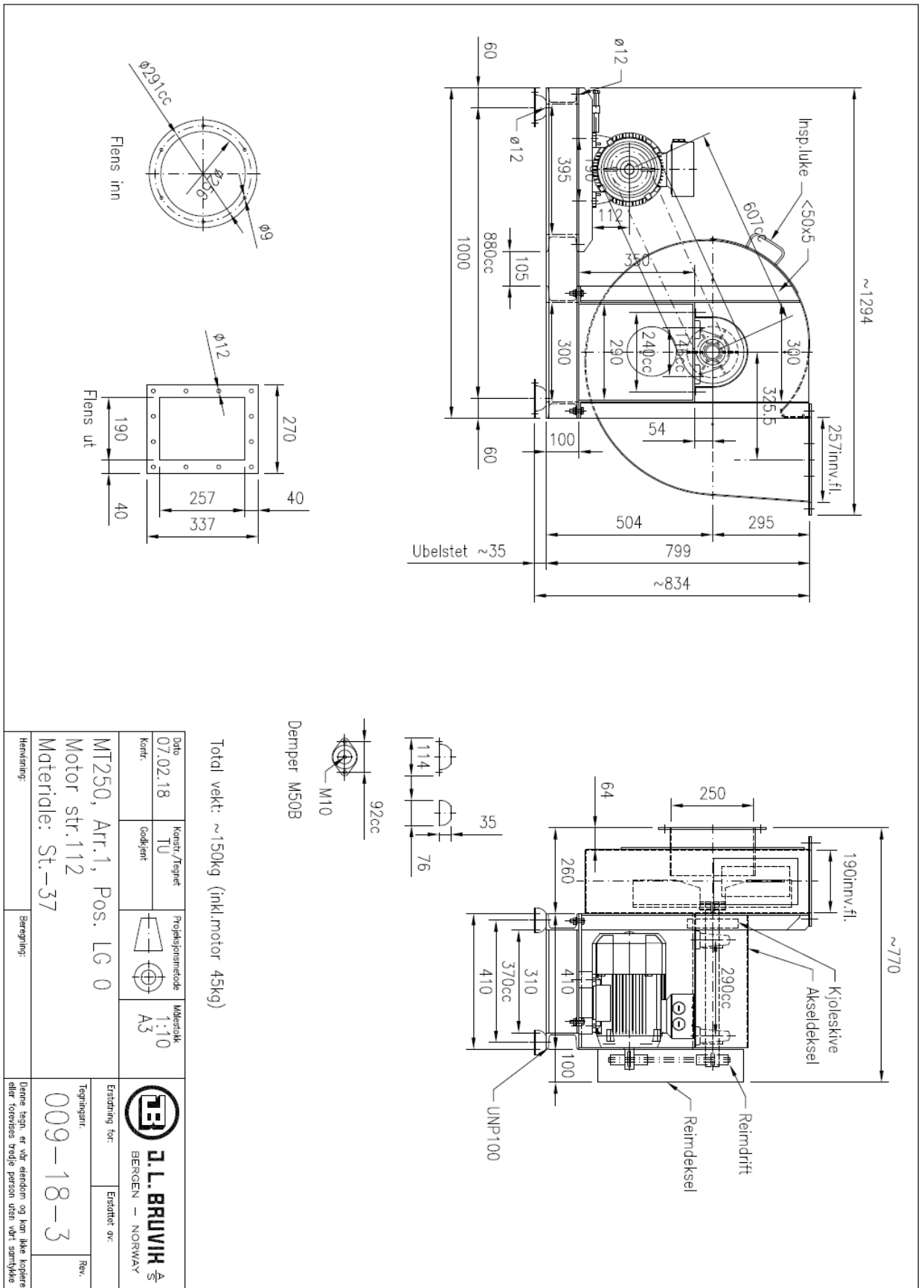
Figur B-5 Røykgasstemperatur - kanaldimensjon Ø250, innblanding av romluft

Figur B-6 viser overflatetemperatur på kanagodset. Romluft ved 20 °C blandes inn etter 3 m (modell 2).



Figur B-6 Overflatetemperatur kanalgoods - kanaldimensjon Ø250, innblanding av romluft

Vedlegg C. Datablad vifte



Vedlegg D. Datablad isolasjon

U Protect Wired Mat 4.0 Alu1 HVAC Insulation



Characteristic	Symbol	Unit	Quantities and measured values							Standard
Application fields	-	-	ISOVER solutions for providing fire resistance in HVAC using ULTIMATE mineral wool. U Protect solutions provide an easy to install and lightweight efficient solution for fire resistance in HVAC.							EN 1366-1 EN 1366-8
Material	-	-	Mineral wool with quality mark RAL by the Gütegemeinschaft Mineralwolle e. V., unrisksy regarding health according to German decree on dangerous substances, decree on prohibition of chemicals and to guideline EU 97/69 Nota Q.							-
Thermal conductivities	T	[°C]	10	50	100	150	200	300	400	EN 12667
	$\lambda_{N,R}$	[W/(m·K)]	0.031	0.035	0.040	0.047	0.054	0.072	0.096	
Behaviour in fire	-	-	Fire reaction: Non-combustible Euroclass A1 Fire resistance of ventilation air ducts in fire classes EI15-EI120.							EN 1366
Specific thermal capacity	c	[kJ/(kg·K)]	~ 1							-
Acoustics	α	-	Sound absorption coefficient $\alpha_w = 1.00$							EN 11654
	-	kPa·s/m ²	Specific Airflow resistance AFR = 60 (measurement on non-faced product)							EN 29053
Chemical behaviour	-	-	Hydrophobic. Silicone-free. Sulphide-free.							AGI Q 132
Facing	-	-	U Protect Wired Mat 4.0 Alu1 is available with a black aluminium facing. Also available: - Non-faced product (U Protect Wired Mat 4.0). - V1 facing product (U Protect Wired Mat 4.0 V1): faced on one side with a reinforced yellow glass tissue.							-
Quality management	-	-	CE-marked according to EN 14303. ISOVER is certified according to EN ISO 9001 and EN ISO 14001.							EN ISO 14303 EN ISO 9001 EN ISO 14001
Miscellaneous	-	-	CE-marking designation code: MW-EN14303-T2-ST(+)-400							-

Delivery form: Dimensions/Packaging

	30	40	50	60	70	75	80	90	100	120
Thickness (mm)	30	40	50	60	70	75	80	90	100	120
Width (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Length (m)	10.0	7.5	6.0	5.0	4.3	4.0	3.7	3.3	3.0	2.5
m ² /pack	12.00	9.00	7.20	6.00	5.16	4.80	4.44	3.96	3.60	3.00
m ² /pal	216.0	162.0	129.6	108.0	92.9	86.4	79.9	71.28	64.8	54.0
Rolls/pck	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Pck/pal	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18

www.isover-technical-insulation.com

The technical information corresponds to our present state of knowledge and experience at the date of printing (see Imprint). But no legal guarantee can be given, unless it has been explicitly agreed. The state of experience and knowledge is developing continuously. Please see to it that you always use the latest edition of this information. The described product applications do not take special circumstances in consideration. Please verify whether our products are appropriate for the concrete application. For further information please contact our isover sales offices or isover Dialog. We deliver only according to our terms of trade and terms of delivery.

ISOVER
SAINT-GOBAIN

Version: ISOVER-PDS-HVAC-INT-ENG-Protect-Wired-Mat-4-Alu1-2016-02-24

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

Gjennom internasjonalt samarbeid med akademi, næringsliv og offentlig sektor bidrar vi til et konkurransekraftig næringsliv og bærekraftig samfunn. RISEs 2 200 medarbeidere driver og støtter alle typer innovasjonsprosesser. Vi tilbyr et hundretalls test- og demonstrasjonsmiljø for framtidssikre produkter, teknikker og tjenester. RISE Research Institutes of Sweden eies av den svenske staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB

Postboks 4767 Torgarden, 7465 TRONDHEIM

Telefon: 464 18 000

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

RISE Fire Research

RISE-rapport 2019:12

ISBN: 978-91-88907-05-9