

På uppdrag av:
Svensk Ventilation AB
Isolerfirmornas Förening

Mätning av transmissionsförluster från otäta ventilationskanaler

(9 bilagor)

Rapporten är reviderad:

- Mätobjektets (ventilationskanalen) diameter är angiven i bilaga 1.
- Tabell 1 är införd i bilaga 1.

Denna rapport redovisar mätningar av transmissionsförlusterna genom värmeisolering (mineralull) placerad kring cirkulära otäta ventilationskanaler. Egenskaperna vid ett övertryck och undertryck på ± 250 Pa har undersökts för två olika luftläckageklasser (A och C enligt SS-EN 12237:2003) samt för isolering utan luftgenomströmning. Genomströmningen av luft påverkar temperaturfördelningen i värmeisoleringen och därmed även ventilationskanalens transmissionsförluster. I det aktuella försöket är läckagevägarna i ventilationskanalens plåtvägg (borrade små hål) relativt jämnt fördelade över hela mantelarea. Enligt teorin är transmissionsförlusten lägre för en genomströmmad värmeisolering jämfört med en icke genomströmmad värmeisolering. Fenomenet kallas i litteraturen för "med- eller motströmsisolering" alternativt "dynamisk isolering".

Resultaten av en provning redovisas i ett värmeförlusttal för värmeledningen, $K_{ledning}$ [W/(mK)]. Värmeförlusttalet beräknas utifrån mätning av luftläckage (ventilationsförlust), temperaturskillnad mellan kanalvägg och rumsluft, den tillförda värmeeffekten samt med hänsyn tagen till ändlocks-förlusterna. (se Bilaga 5)

Utan luftgenomströmning i isoleringen uppmättes $K_{ledning}$ till $0,57/0,59 \pm 0,02$ W/(mK) (resultat från två separata mätningar) för 50 mm tjock värmeisolering. En kraftig reduktion av värmeförlusttalet till följd av luftgenomströmningen uppmättes vid läckageklass A. Vid övertryck: $0,23 \pm 0,01$ W/(mK) och vid undertryck: $0,19 \pm 0,04$ W/(mK). A-klass innebär att luftgenomströmningen är 9 gånger högre än C-klass enligt SS-EN 12237:2003. Reduktionen av transmissionsförlusten till följd av luftgenomströmningen är betydligt mindre vid C-klass: $0,50 \pm 0,02$ W/(mK) vid både över- och undertryck.

Reduktionen av värmeförlusttalet på grund av genomströmning av luft är mycket liten med en tjockare värmeisolering (160 mm) och en ventilationskanal i läckageklass C. Referensfallet (utan luftgenomströmning) gav ett värmeförlusttal på $0,24 \pm 0,01$ W/(mK). Vid 250 Pa övertryck i kanalen uppmättes $0,23 \pm 0,01$ W/(mK).

Som jämförelse till värmeledningsförlusterna så är värmeförlusttalet (absoluttalet) för luftläckaget $K_{läckage}$ i storleksordningen 1,0 till 1,2 W/(mK) vid läckageklass A och 0,13 till 0,14 W/(mK) vid den tätare C-klassen. (se Bilaga 5 och Bilaga 9)

Vidare studerades transmissionsförlusterna när 50mm värmeisolering avsiktligt skadats. Cirka 1,5kg isolering nöttes av från kanalens ovansida genom att trampa på isoleringen samt riva av isolering med händerna. Totalvikten för felfri isolering var cirka 12,7kg. Utan luftgenomströmning är värmeförlusttalet $0,71 \pm 0,03$ W/(mK) för den skadade isoleringen. Detta skall jämföras med referensmätningen ($0,57/0,59 \pm 0,02$ W/(mK)) som utfördes med felfri isolering. (se Bilaga 7)

Genomförandet samt de detaljerade resultaten från provningen redovisas i nio bilagor.

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Energiteknik - Byggnadsfysik och inommiljö**

Utfört av



Henrik Karlsson

Granskat av



Bertil Jonsson

Bilagor

1. **Försöksuppställning och genomförande**
2. **Trycksättning, tryckmätning och flödesmätning**
3. **Temperaturmätning**
4. **Beräkning av ändlocksförluster**
5. **Beräkning av värmeförlusttal**
6. **Redovisning av mätosäkerhet**
7. **Handhavande vid försök med skadad värmeisolering**
8. **Termografering av värmeisolering**
9. **Detaljerad redovisning av mätresultaten**

Bilaga 1

Försöksuppställning och genomförande

Beskrivning av försöksuppställningen

Uppdragsgivarens ventilationskanal har monterats på en ställning inuti en klimatkammare, se Figur 1. Kanalens längd är 3m (utan skarvar) och diametern är 250mm. Lufttemperaturen konstanthålls i klimatkammaren med hjälp av en fläktkonvektor som värmer och kyler kammarens luft.

Lufttemperaturen i kammaren är cirka +3°C. Inuti ventilationskanalen tillförs värme via en resistansstråd så att lufttemperaturen inuti ventilationskanalen är konstant inom ett intervall mellan 17-24°C (den konstanta nivån beror på vilket mätfall som studeras). Strömstyrkan i likströmskretsen samt spänningen över värmestråden mäts med hög noggrannhet. Genom att samtidigt mäta temperaturdifferensen mellan kanalens plåtyta och rumsluften kan provobjektets värmeförlusttalet per löpmetrar kanal (W/(mK)) beräknas.

Ventilationsröret bägge ändar vilar på två stycken spetsade trästöd. Dessa spetsade trästöd leder värme dåligt vilket minskar eventuella extra värmeledningsförluster från kanalen. När kanalen isoleras sticks de spetsade träpinnarna rakt igenom isoleringen. Isoleringen vid stöden komprimeras därmed inte av provobjektets tyngd. I övrigt stöds sidorna av kanalen med hjälp av trästöttor. Krafterna som verkar på isoleringen vid stöttorna komprimerar inte isoleringen på ett sätt som påverkar mätningarna.

Ventilationskanalen är preparerad med ett flertal borrade små hål. Utan att täta något av hålen motsvarar luftläckaget läckageklass A enligt SS-EN 12237:2003 (se Tabell 1 för definition). Hålen är lokaliserade i 14st rader (20 cm mellan varje rad) där varje rad löper ett varv kring kanalens omkrets. Genom att tejpa för hälften av raderna (varannan rad) motsvarar luftläckaget läckageklass C enligt SS-EN 12237:2003. De igentejpade hålradererna innehåller fler och större hål än hålradererna för läckageklass C. Håltagningen av provobjektet har utförts av uppdragsgivaren.

Tabell 1 Definition av täthetsklasser enligt SS-EN 12237:2003.

Täthetsklass	Statiskt tryck (gränsvärden), Pa		Läckageflöden, $m^3 s^{-1} m^{-2}$
	p_{test} = trycksättning vid test		
	Övertryck	Undertryck	
A	500	500	$0,027 \cdot p_{test}^{0,65} \cdot 10^{-3}$
B	1000	750	$0,009 \cdot p_{test}^{0,65} \cdot 10^{-3}$
C	2000	750	$0,003 \cdot p_{test}^{0,65} \cdot 10^{-3}$
D*	2000	750	$0,001 \cdot p_{test}^{0,65} \cdot 10^{-3}$

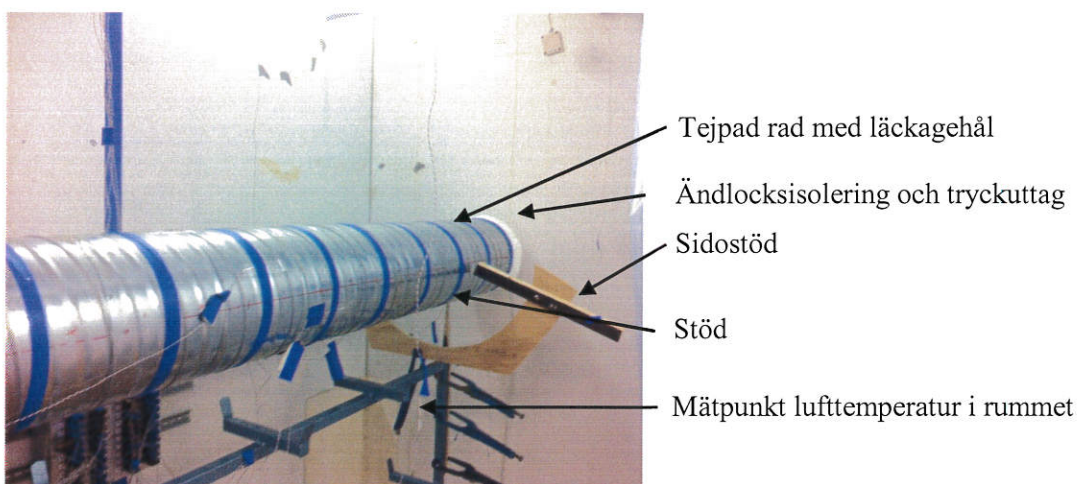
*Kanal för speciala användningsområden

Vid trycksättning och ventilation av kanalen har en luftfördelningslåda tillverkats av en stålprofil (fyrkantsprofil, 40x40x2mm), se Figur 2. Syftet med fördelningslådan är att tillföra/bortföra luften jämnt längs hela kanalens längd. Lådan är cirka 2,9m lång och sin helhet instucken i ventilationskanalen varpå ändlocken stänger till ventilationskanalens bägge ändar. Fläkten som trycksätter systemet är ansluten via en tunn plastslang (diameter cirka 14mm) till ena änden av fördelningslådan (anslutningssida). Längs med fördelningslådan är 24 hål borrade (diameter 8mm) på samtliga 4 sidor av stålprofilen. Hålmönstret löper som en spiral längs fördelningslådan. Fördelningslådan är försedd med fötter som lyfter upp lådan

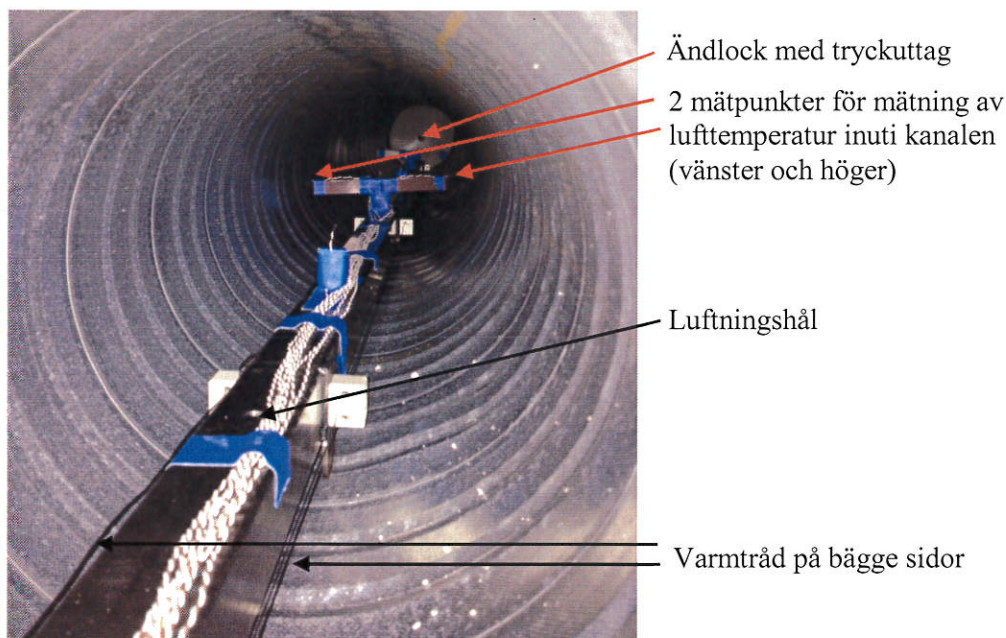
Bilaga 1

cirka 25mm från ventilationskanalens botten så att luft fritt kan passera under stålprofilen. Längs bägge långsidorna av lådan är varmråderna placerad. Värme och luft tillförs därmed utmed hela ventilationskanalens längd.

Provobjektet placerades med cirka 75cm fritt utrymme mot ytterväggen. På cirka 75 cm avstånd från ventilationskanalen monterades en plastfolie i taket så att luft ej kan blåsa direkt mot provföremålet. Luft kan cirkulera fritt under plastfolien. På detta sätt kan inte luft från fläktkonvektorn direkt strömma mot provföremålet. Värmeövergångsförhållandena (konvektion) är därmed relativt konstanta över hela provföremålets mantelarea.

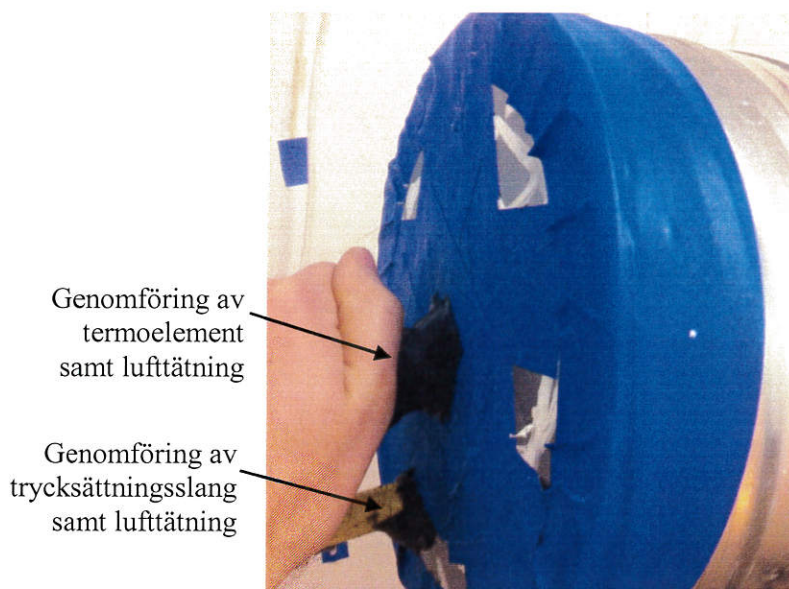


Figur 1 Den oisolerade ventilationskanalen under test av egenläckaget. Samtliga läckagehål är tejpade.



Figur 2 Luftfördelningslådan fotograferad inuti ventilationskanalen med varmråd, termoelement samt borte ändlocket. Fotot är taget från anslutningssidan.

Bilaga 1



Figur 3 Ändlocket på anslutningssidan innan isolering med lösull.



Figur 4 Provföremålet med plastfolien som skyddar mot direkta luftrörelser.

Värmeisolering

Allt arbete med montering av värmeisolering gjordes av samma personer från Sårob Plåt & Isolering. Ventilationskanalen isolerades med produkten Vent Mat Comfort från Paroc. Denna nätmatta i stenull är på ena sidan försedd med tunn nonwovenväv samt ett varmförsinkat trådnät. Värmeledningsförmågan vid +10°C (λ_{10}) är 0,036 W/(mK). 50mm och 80mm trådmattor användes i försöken.

Bilaga 1

Beskrivning av mätprogram och genomförande

Inledningsvis genomfördes mätningar på oisolerad kanal (sju olika mätfall).

Därefter genomfördes tre mätningar med A-klassad kanal (0Pa, +250Pa och -250Pa) isolerad med 50mm värmeisolering. Tjockleken på isoleringen mättes i ett antal punkter innan isoleringen försiktigt nedmonterades.

Läckaget ändrades till C-klass genom att tejpa för avsedda hål på kanalen. Samma isolering monterades återigen på kanalen. Tjockleken på isoleringen kontrollerades och jämfördes mot mätningen i A-klass. Därefter upprepades mätningen med 0Pa trycksättning för att säkerställa att isolering och installation är samstämmig med motsvarande mätning i A-klass. Samma prestanda (värmeförlusttal) för värmeisoleringen erhöles återigen. Mätningar med trycksättning +250Pa och -250Pa i C-klass genomfördes.

Samma isolering nedmonterades och utsattes för en kontrollerad skadegörelse och monterades upp en sista gång. Mätning utan trycksättning genomfördes. Se separat appendix för detaljer.

Ny isolering 160mm (80+80) monterades på kanalen. Mätningar med 0Pa och +250Pa trycksättning genomfördes med C-klassad kanal.

Vid uppstarten av varje enskilt mätfall har temperaturnivån inuti ventilationskanalen anpassats så att värmeisoleringens medeltemperatur är konstant mellan de olika mätfallen.

Bilaga 2

Trycksättning, tryckmätning och flödesmätning

Luftflödet mäts med hjälp av kalibrerade svävkroppsmätare som är installerad i serie med fläkten och fördelningslådan inuti ventilationsröret. Den varvtalsstyrda fläkten justeras så att en tryckskillnad på antingen +250Pa eller -250Pa uppmäts mellan den omgivande labbhallen och tryckuttaget som är lokaliserad i det borte ändlocket. Tryckskillnaden mellan den nerkylda klimatkammaren där ventilationskanalen förvaras och omgivande labbhall uppmäts till 0 Pa då flera hål är öppna i rummets kammarens väggar. Luftflödet till/från ventilationskanalen uppmäts vid denna konstanta trycksättningen.

Inledningsvis mäts egenläckaget för en helt igentejpad och oisolerad ventilationskanal, Tabell 2. Det egenläckage som uppmättes antas uppstå i plåtkanalens falsning som löper spiralformat längs kanalens mantelarea. Egenläckaget antas därför till sin helhet ske genom isoleringen då falsarna är väl utspridda längs ventilationskanalens mantelarea. Vid mätningen av egenläckaget fanns några mindre luftläckage vid tejningen av ventilationskanalens hål samt i slangen från fläkten. Dessa läckage tätades noga.

Varje nytt individuellt mätfall, A-klass eller C-klass, jämförs mot det aktuella flödet/trycket mot tidigare utförda mätningarna inom samma täthetsklass för att upptäcka ifall läckage uppstått i systemet. Vidare kontrolleras slangar och anslutningar kontinuerligt för att upptäcka eventuellt luftläckage. Något ytterligare luftläckage upptäcktes aldrig efter den inledande tätningen vid egenläckage-testet.

Resultaten visar att isoleringen bidrar till att sänka luftläckaget för ventilationskanalen. Störst är skillnaden mellan den oisolerade kanalen jämfört med 50mm isolering i läckageklass A.

Tabell 2 Mätning av egenläckage för slangar, anslutningar och helt tätad ventilationskanal.

Tryckskillnad	Mätrör	Läckage	Mätosäkerhet
[Pa]		[l/s]	[l/s]
+250	ETL016	0.02	±0.001
-250	ETL016	-0.02	±0.001

Tabell 3 Läckagemätning för samtliga försök med flödesmätningens mätosäkerhet med täckningsfaktor 2.

Isolering	Läckageklass	Tryckskillnad	Mätrör	Läckage	Mätosäkerhet
		[Pa]		[l/s]	[l/s]
oisolerad	A	+250	ETL012	2.8	±0.08
oisolerad	A	-250	ETL012	-3.0	±0.09
oisolerad	C	+250	ETL011	0.34	±0.01
oisolerad	C	-250	ETL011	-0.34	±0.01
50mm	A	+250	ETL012	2.6	±0.08
50mm	A	-250	ETL012	-2.5	±0.08
50mm	C	+250	ETL011	0.33	±0.01
50mm	C	-250	ETL011	-0.32	±0.01
160mm	C	+250	ETL011	0.32	±0.01

Bilaga 3

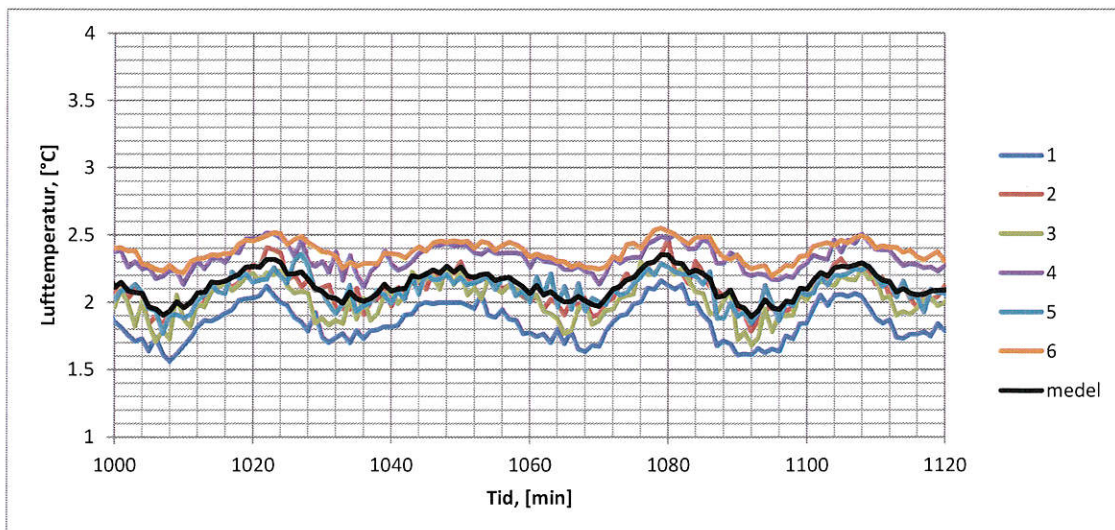
Temperaturmätning

Samtliga temperaturmätningar utförs med termoelement av typ T. Loggning av temperaturen sker varje minut under respektive mätfall. Samtliga redovisade mätvärden är ett tidsmedelvärde under en stabil stationär period. Denna period kan variera mellan en till två timmar beroende på mätfall. I mätfallen med tjock isolering uppnås inte termisk jämvikt förrän efter många timmar.

Lufttemperatur i klimatkammaren

Lufttemperaturen konstanthålls i klimatkammaren med hjälp av en fläktkonvektor som värmer och kyler kammarens luft. I detta fall kyls klimatkammarens luft till cirka 2-4°C, se Tabell 5 (Bilaga 9) och Figur 5.

Lufttemperaturen mäts i sex stycken punkter lokaliserade i samma höjd som ventilationskanalens mittpunkt. Termoelementen är jämnt fördelade över ventilationskanalens längd samt jämnt fördelade mellan respektive sidor om kanalen. Avståndet mellan termoelementen och kanalen är cirka 35cm. Termoelementtråden är upphängd i klimatkammarens tak varvid termoelementens ändrar hänge helt fritt i rummets luft. Vid beräkning av värmeförlusttalet används tidsmedelvärdet av de sex uppmätta lufttemperaturerna. Figur 5 visar mätresultatet för ett av försöken.



Figur 5 Uppmätta lufttemperaturer under 120 minuter. Mätningen avser försöket med 50mm isolering, C-klass som är trycksatt till +250Pa.

Plåttemperaturen

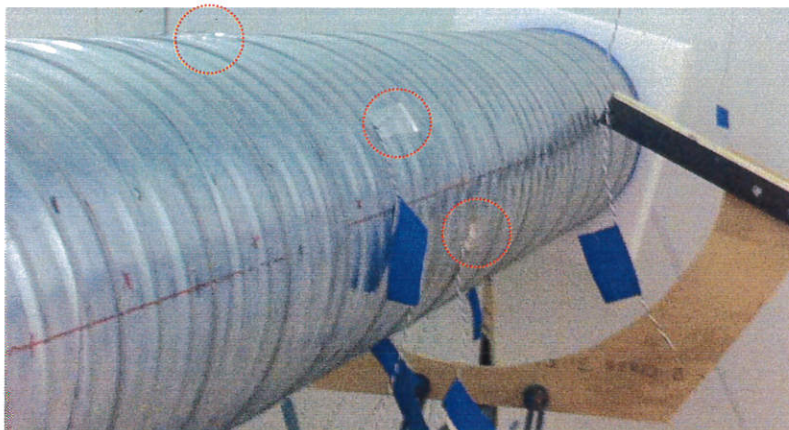
Totalt har 16st termoelement används för att bestämma temperaturen i ventilationskanalens plåt. Termoelement har tejpats direkt på ventilationskanalens yttre plåtyta. Då den tunna plåtkanalens värmemotstånd är jämförelsevis mycket lågt kan yttemperaturen på insidan av ventilationskanalen antas motsvaras av temperturmätningen på kanalens utsida. Då det tillförs värme inuti ventilationskanalen och med hänsyn till den naturliga konvektionen som sker kommer yttemperaturen på plåtytan att variera utmed en omkrets av kanalen. Vid försöken avses att mäta plåtytans medeltemperatur. Detta har skett genom att placera termoelementen i ett spiralformat mönster längs med ventilationskanalen. Termoelementen är i längdled jämnt

Bilaga 3

fördelade. Totalt löper spiralen två varv rund kanalen med en helt jämn fördelning mellan undersida, ovansida, höger eller vänstersida. Spiralformen förklarar utseendet på Figur 7 och Figur 8 där plåttemperaturen längs med ventilationskanalen är illustrerad. Varje stapel motsvarar det stationära tidsmedelvärdet för ett termoelement. Områden med högre temperatur är lokaliserade på ventilationskanalens ovansida och områden med lägre temperatur är lokaliserade på ventilationskanalens undersida. Ju mer isolering som finns runt ventilationskanalen ju jämnare blir plåttemperaturen kring kanalens omkrets. Jämförs Figur 7 och Figur 8 är temperaturskillnaderna beroende på lokalisering av termoelementen betydligt mindre med 50mm isolering än i ett oisolerat fall. Isoleringen påverkar även medeltemperaturnivån som ökar när isolering tillförs utanför ventilationskanalen.

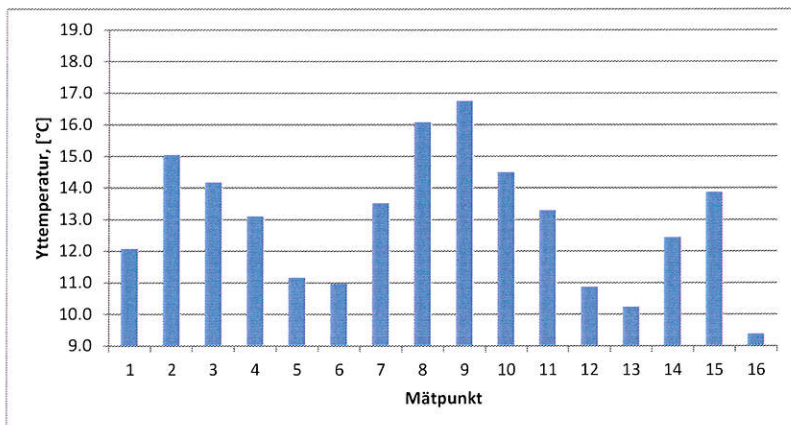
I fallen med oisolerad ventilationskanal är det av betydelse vilka värmestrålningsegenskaper tejpyn har. Den oisolerade plåtytan har relativt låg emissivitet, därför tejpades termoelementen med en aluminiumtejp för att inte mätpunkterna i sig skall påverka yttemperatur. Efter inspektion med värmekamera kunde det konstateras att emissiviteten för den valda tejpens stämde väl med plåtytans emissivitet.

Vid mätning av oisolerad kanal är dock plåtytan delvis täckt av tejp (som täcker/tätar varannan rad av läckagehål vid mätning av C-klass). Då den valda tejpens för denna uppgift har betydligt högre emissivitet än plåtytan påverkas värmeöverföringen vid plåtytan. Ju mer tejp på ytan desto lättare överförs värmen från plåtytan via värmestrålning och ju lägre blir yttemperaturen samtidigt som värmeförlusttalet blir högre. Att ytegenskaperna varierar mellan mätfallen påverkar till viss del mätningen av den oisolerade kanalen då värmemotståndet i stort sätt enbart utgörs av ytövergångsmotståndet. Jämförs de tre oisolerade fallen utan trycksättning (tät tejp, A-klass och C-klass) syns en liten effekt som talar för ovanstående diskussion. Tät tejp innebär att cirka 20% av kanalytan är täckt av tejp, C-klass cirka 10% och A-klass 0%.

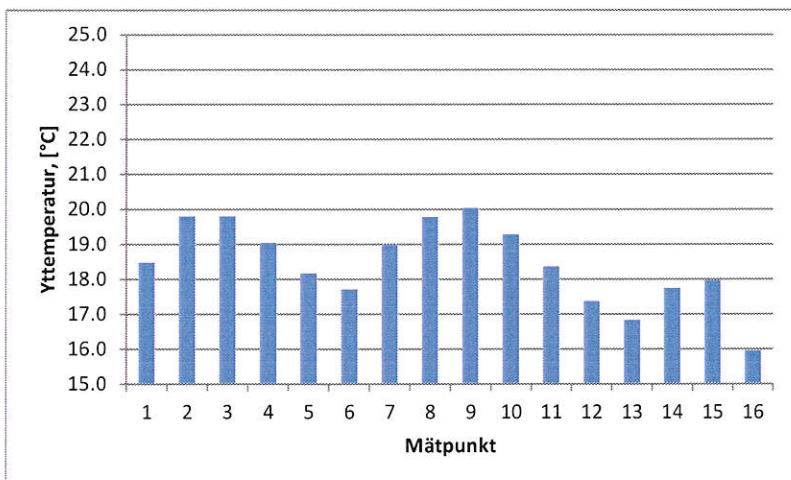


Figur 6 Lokalisering av tre termoelement tejpade med aluminiumtejp på plåtytan.

Bilaga 3



Figur 7 Uppmätt plätttemperatur längs den oisolerade kanalen, 0Pa, A-klass. Medelvärdet är 13,1°C för detta mätfall.



Figur 8 Uppmätt plätttemperatur längs den isolerade kanalen (50mm), +250Pa, C-klass. Medelvärde är 18,5°C för detta mätfall.

Fördelning av lufttemperaturen inuti ventilationskanalen

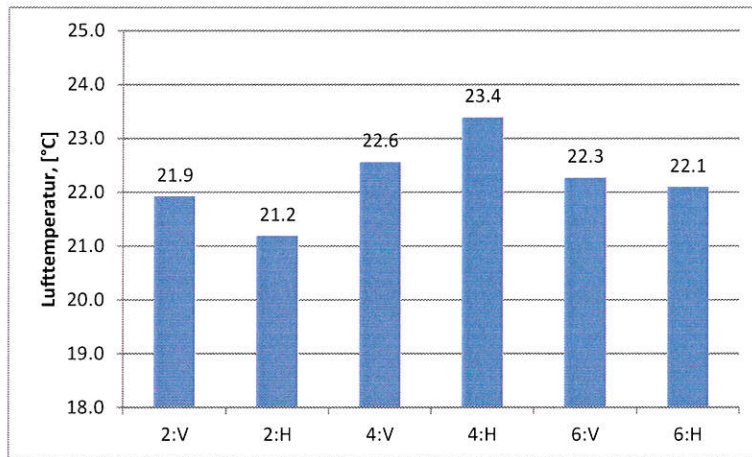
För att korrekt beräkna systemets värmebalans när ventilationskanalen trycksätts i övertryck är det en nödvändighet att lufttemperaturen inuti kanalen är känd. Skillnaden mellan tilluften, som också mäts, och medellufttemperaturen i kanalen tillsammans med uppmätt luftflöde utgör läckageförlusten (ventilationsförlust). För att minimera betydelsen av läckageförlusten anpassas tillufttemperaturen så att temperaturdifferensen mellan tilluft och medeltemperaturen i kanalen är så liten som möjligt.

Luftens medeltemperatur inuti kanalen mäts i tre områden längs kanalens längd, (område 2= 0,5m, område 4= 1,5m och område 6= 2,5m från anslutningssidans ändlock). Vid varje av dessa områden finns två stycken termoelement (vänster och höger) monterade från fördelningslådan som löper längs ventilationskanalen, se Figur 2. Ändarna på dessa sex termoelement är fritt placerade i luften (via icke värmeledande material). Termoelementen är i höjddled placerade strax under ventilationskanalens mittpunkt. I sidled är de placerade så att de sitter utanför värmetråden för att undvika att mäta temperaturen i värmeplymen ovanför värmetråden. Kanalluftens medelvärde beräknas utifrån dessa sex termoelement.

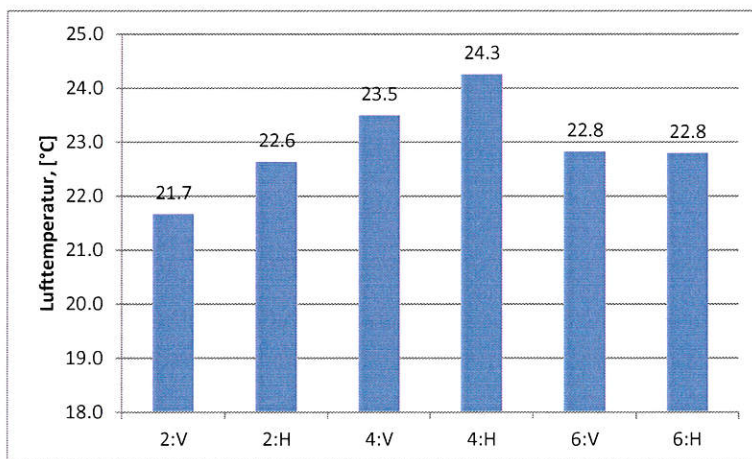
Mätningarna av lufttemperaturen inuti kanalen visar att det är en viss temperaturskillnad mellan olika positioner. Störst spridning i lufttemperaturen uppmäts med undertryck och A-

Bilaga 3

klass. I detta fall strömmar kall luft in genom läckagevägarna i plåtväggen. Om en läckageväg/hål är placerad precis framför ett termoelement sänks lufttemperaturen relativt mycket i detta lokala område. Vid övertryck kan detta inte inträffa då uppvärmd luft istället lämnar kanalen genom hålet. Isolerade kanaler ger generellt en mindre spridning mellan olika mätpunkter då värmetråden inte behöver tillföra lika stor effekt samt att plåttemperaturen är mer jämn. Figur 9, Figur 11 och Figur 10 illustrerar förhållandena inuti kanalen för tre utvalda mätfall.

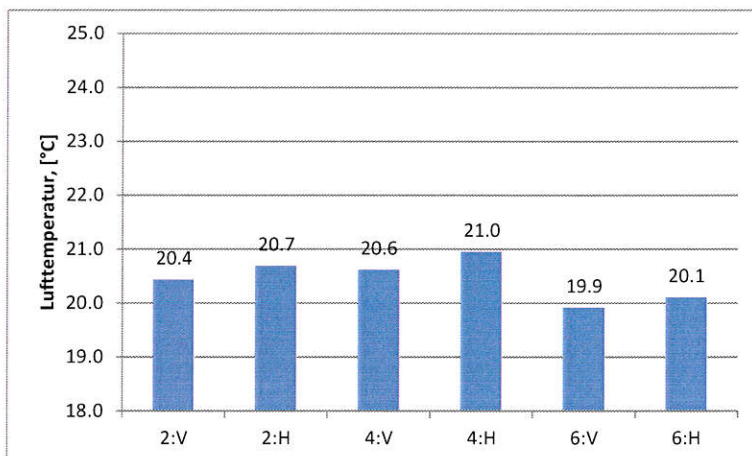


Figur 9 Tidsmedelvärde för uppmätt lufttemperatur i mätområde 2, 4 och 6 (vänster och höger). Oisolerad kanal, A-klass, 0Pa.



Figur 10 Tidsmedelvärde för uppmätt lufttemperatur i mätområde 2, 4 och 6 (vänster och höger). 50mm isolerad kanal, A-klass, -250Pa.

Bilaga 3



Figur 11 Tidsmedelvärde för uppmätt lufttemperatur i mätområde 2, 4 och 6 (vänster och höger). 160mm isolerad kanal, C-klass, +250Pa.

Enligt Tabell 5 (Bilaga 9) är läckageförlusten vid övertryck mycket liten tack vare att tilluftstemperaturen är väl anpassad till den rådande medellufttemperaturen inuti kanalen (läckageförlusten är den värmeeffekt som ventilationen bortför/tillför till systemet). I försöket går tilluftstemperaturen att anpassa för varje enskilt mätfall. I ett mätfall är läckageförlusten 0,5W, i övriga fyra jämförbara mätfall (samtliga med övertryck) är läckageförlusten betydligt lägre.

Tilluftstemperatur och frånluftstemperatur

Inuti slangen som trycksätter ventilationskanalen finns ett termoelement som mäter temperaturen i luftströmmen. Termoelementet är instuckit i slangen cirka 5cm utanför ändlocket (mitt i området som är isolerat med lösull). Denna lufttemperatur används vid beräkning av läckageförlusterna enligt beskrivning i föregående avsnitt. När kanalen är i undertryck utgörs läckageförlusten (infiltrationen av kall luft genom isoleringen) av massflödet som passerar genom frånluftsslangen samt temperaturdifferensen mellan lufttemperaturen i klimatkammaren och frånluftsströmmen. Vid övertryck har stabila tilluftstemperaturer uppmätts (den maximala variationen över tiden är cirka $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$).

Temperatur i värmeisoleringen

Värmeledningsförmågan i värmeisoleringen är svagt temperaturberoende. En konstant temperatur i värmeisoleringen mellan de olika mätfallen säkerställs genom att mäta temperaturen på värmeisoleringens in- och utsida. Temperaturnivån inuti ventilationskanalen kan därmed justeras med hjälp av värmetråden.

På isoleringens utsida har sex stycken termoelement placerats i glasfiberduken (spetsen är lätt instucken i glasfiberduken) som omsluter värmeisoleringen. Dessa termoelement formar en spiralform längs med hela försöksobjektet (ett varv) på samma sätt som mätningen av plåttemperaturen. Värmeisoleringens yttemperatur registreras som medelvärdet av de sex mätpunkterna. Isoleringens medeltemperatur beräknas som medeltemperaturen av plåttemperaturen (som ansluter mot isoleringens insida) samt medeltemperaturen på utsidan av värmeisoleringen (totalt 16+6 termoelement).

En konstant medeltemperaturen i värmeisoleringen har eftersträvat. För samtliga mätfall är den slutgiltiga stationära medeltemperaturen i värmeisoleringen inom intervallet $10,9-11,9^{\circ}\text{C}$, se Tabell 5 (Bilaga 9). Därmed bedöms att värmeisoleringens värmeledningsförmåga är konstant mellan de olika mätfallen.

Bilaga 4

Beräkning av ändlocksförluster

Värmeförlusterna genom ventilationskanalens ändlock har beaktats i mätningarna via att minimera förlusterna genom att värmeisolera ändlocken. En expanderad polystyrenskiva (cirka 20mm tjock) är limmad på ändlockets insida. På i anslutningssidan är utrymmet framför ändlocket isolerat med en flexibel plastrulle som formar en cylinder, volymen inuti cylindern är fylld med 200mm lösull. Genom lösullen löper termoelementtråden samt slangen för trycksättning av ventilationskanalen. På motstående sida (tryckuttaget) är ändlocket isolerat med en cylinderformad expanderad polystyrenskiva som är limmad direkt mot plåtytan.

Med hjälp av värmeledningsprogrammet THERM 6.3 beräknas den linjära köldbryggen (2D) för vinkeln mellan ändlocket och ventilationskanalens mantelyta. Tre olika beräkningar har utförts: oisolerad mantelarea, 50mm isolering samt 160mm isolering.

Den extra ledningsförlusten genom ändlocken kvantifieras med dels den linjära köldbryggen, ändlockets U-värde samt den uppmätta temperaturdifferensen över respektive ändlock. På respektive sida mäts lufttemperaturen nära ändlocket inuti ventilationskanalen, på utsidan mäts lufttemperaturen i rummet.

Isoleringen som installeras på ventilationskanalens mantelarea dras ut över ändlocksisoleringen. Därmed reduceras köldbryggen i vinkeln till ändlocket. Ju tjockare isolering (50 eller 160mm) desto mindre blir köldbryggen och desto mindre blir den absoluta ändlocksförlusten. Ändlocksförlusterna är uppskattade till mellan 2,7 till 0,8 W. Relativt sätt utgör ändlocksförlusten en liten andel av de totala värmeförlusterna när ventilationskanalen är oisolerad. När de totala värmeförlusterna är låga, speciellt i fallet med 160mm isolering, utgör ändlocksförlusten en icke försumbar andel av värmeförlusterna, se Tabell 5 (Bilaga 9).



Figur 12 Ändlocksisolering på anslutningssidan med utstickande 160mm isolering. Bilden till vänster visar det fullt isolerade fallet (160mm) vid mättillfället. Mittbildens visar den utstickande ändlocksisoleringen (lösull). Bilden till höger visar blottläggningen av ändlocket på anslutningssidan.

Bilaga 5

Beräkning av värmeförlusttal

Värmeförlusttalet för värmeledningen $K_{ledning}$ beräknas enligt följande värmebalans för ventilationskanalen:

$$Q_{värmetrad} + Q_{ledning} + Q_{läckage} + Q_{ändlock} = 0$$

$$K_{ledning} = \frac{Q_{ledning}}{l \cdot (T_{rum} - T_{plåt})}, [\text{W}/(\text{mK})]$$

vid övertryck i kanalen är:

$$Q_{läckage} = V_{läckage} \cdot \rho c \cdot (T_{tilluft} - T_{luft_kanal}), [\text{W}]$$

vid undertryck i kanalen är:

$$Q_{läckage} = V_{läckage} \cdot \rho c \cdot (T_{frånluft} - T_{rum}), [\text{W}]$$

Värmeförlusttalet för luftläckaget $K_{läckage}$ beräknas enligt följande:

$$K_{läckage} = \frac{V_{läckage} \cdot \rho c}{l}, [\text{W}/(\text{mK})]$$

l är ventilationskanalens längd, [m]

$V_{läckage}$ är läckageflöden (in till kanalen via fläkten), [m^3/s]

ρc är luftens specifika värmekapacitet, [$\text{J}/(\text{m}^3\text{K})$]

T_{rum} är lufttemperaturen i klimatkammaren utanför provobjektet, [K]

$T_{plåt}$ är ytemperaturen på ventilationskanalen, [K]

T_{luft_kanal} är lufttemperaturen inuti kanalen, [K]

$T_{tilluft}$ är lufttemperaturen i tilluften (ventilationskanalen), [K]

$T_{frånluft}$ är lufttemperaturen i frånluften (ventilationskanalen), [K]

$Q_{ändlock}$ är den beräknade/uppmätta ändlocks-förlusten, [W]

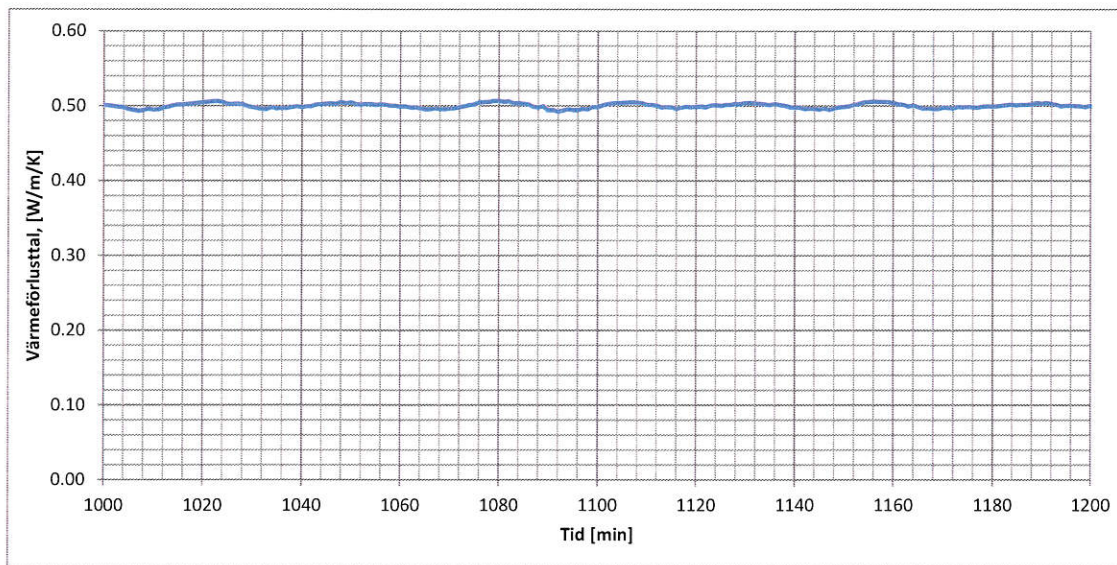
$Q_{värmetrad}$ är den uppmätta effekten till värmetråden, [W]

Vid beräkningarna har luftens specifika värmekapacitet, ρc , ansatts till $1200 \text{ J}/(\text{m}^3\text{K})$

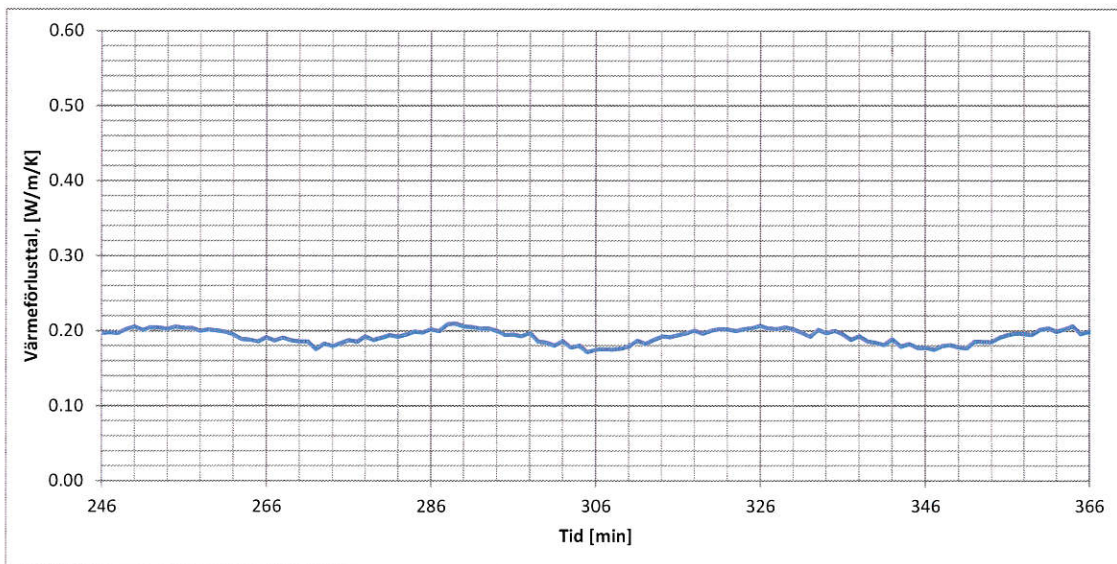
Mätmetoden ger beräknade värmeförlusttal som är mycket stabila över tid när termisk jämvikt uppnåtts i systemet. Samtliga mätfall med värmeisolering (undantaget A-klass, 50mm, -250Pa)

Bilaga 5

resulterar i en tidsvariation för det beräknade värmeförlusttalet i samma storleksordning som anges av Figur 13. I mätfallet med stort inläckage av kall luft från rummet (A-klass med trycksättning på -250Pa) syns en tidsvariation i det beräknade värmeförlusttalet, se Figur 14. Detta beror på ventilationsförlusternas har en relativt stora inverkan på värmeförlusttalet i detta specifika mätfall, samt en viss (liten) variation i lufttemperatur i rummet utanför kanalen, se Figur 5. De två exempel som anges (Figur 13 och Figur 14) visar hela utvärderingsperioden för respektive mätfall (resultat angivna i Tabell 5 (Bilaga 9) är tidsmedelvärden av resultaten som illustreras i Figur 13 och Figur 14).



Figur 13 Kontinuerlig beräkning av värmeförlusttalet (mätdata samplas varje minut) för utvärderingsperioden i mätfall: C-klass, 50mm, +250Pa. $K_{ledning}=0,50$.



Figur 14 Kontinuerlig beräkning av värmeförlusttalet (mätdata samplas varje minut) för utvärderingsperioden i mätfall: A-klass, 50mm, -250Pa. $K_{ledning}=0,19$.

Bilaga 6

Redovisning av mätosäkerheten

Den beräknade sammanlagda mätosäkerheten (täckningsfaktor, $k=2$) för respektive mätfall redovisas i Tabell 5 (Bilaga 9).

Vid mätningen av luftflödet med svävkroppsmätare har följande osäkerheter beaktats: avläsning av instrumentet, kalibrering av mätroret (korrektionsfaktor) samt referensgivarens mätosäkerhet. Totalt uppskattas flödesmätningens mätosäkerhet till 1,5% (täckningsfaktor, $k=1$).

Samtliga termoelement är kalibrerade vid temperaturen 19,90°C och -14,20°C. Den samlade mätosäkerheten är fastställd till $\pm 0,05$ °C vid dessa temperaturer.

Mätosäkerheten för temperturmätningarna i försöket uppskattas till:

- Medellufttemperaturen i rummet $\pm 0,05K$
- Medellufttemperaturen i kanalen $\pm 0,3K$
- Medeltemperaturen på plåtytan $\pm 0,3K$

Mätningen av värmetrådets effektavgivning uppskattas till $\pm 0,1\%$.

Osäkerheten i ändlocks förlusterna uppskattas till $\pm 20\%$. Den uppskattade osäkerheten inkluderar uppmätt temperaturdifferens, inhomogeniteter i ändlocksisoleringen som ej beaktats i beräkningen samt osäkerheter i själva beräkningen.

I de sju mätfallen med oisolerade ventilationskanaler är mätosäkerheten för plåttemperaturen dominerande för den sammanlagda mätosäkerheten. I de två fallen med undertryck (oisolerad A- och C-klass med -250Pa) tillkommer mätosäkerheten för flödesmätningen, men den har i dessa oisolerade fall ändå mindre betydelse än plåttemperaturen.

För de isolerade kanalerna är det fortfarande plåttemperaturen som bidrar med den största posten i den samlade mätosäkerheten med ett undantag. I mätfallet med stort läckageflöde och undertryck (50mm isolering, A-klass, -250Pa) är det mätosäkerheten för läckageflödet som bidrar med den största delposten till den samlade mätosäkerheten. Bortsett från nämnda mätfall är den sammanlagda mätosäkerheten inom intervallet 4,0 - 5,9% för de övriga mätfallen med värmeisolering, se Tabell 5 (Bilaga 9).

Mätutrusning enligt Tabell 4 har använts.

Tabell 4 Lista över använd mätutrusning.

Utrustning	Inventarienummer	Ändamål
Svävkroppsmätare, ETL011	202215	Luftflödesmätning (B-klass)
Svävkroppsmätare, ETL012	202216	Luftflödesmätning (A-klass)
Svävkroppsmätare, ETL016	202219	Luftflödesmätning (egenläckage)
Värmeamera, FLIR T335	900855	Termografering
Differenstrycksmätare, DP Measurement	202429	Tryckmätning
Strömshunt, Thermovolt	Kalibreringsbevis: MTeF522311	Strömstyrka (värmetråd)
Datalogger, Agilent Technologies 34980A	900014	Spänning (värmetråd)
Termoelement, Typ T (via datalogger)	-	Yt- och lufttemperaturmätning

Bilaga 7

Handhavande vid försök med skadad värmeisolering

Delförsökets syfte är att kvantifiera värmeförlusten i fallet med en gammal isolerad ventilationskanal där isoleringen är skadad genom fysisk nötning. Försöket avser att motsvara ett fall där personer har trampat sönder isoleringens ovansida. I övrigt utförs försöket med samma mätmetod som övriga mätfall.

Isolering (50mm) nedmonterades från ventilationskanalen efter avslutade försök med felfri och korrekt monterad isolering. Materialet placerades på golvet med nätattan nedåt. Material från isoleringens insida (sidan som är vänd mot ventilationskanalen) nöttes bort genom att trampa på isoleringen, riva bort isolering med handen samt dra en grov skosula över isoleringsytan varpå material nöts och rivs bort. Isoleringens totala vikt var cirka 12,7kg. Materialet som avsiktligt nöttes bort samlades upp och dess vikt var cirka 1,5kg.

Efter den avsiktliga behandlingen monterades den skadade isolering återigen på ventilationskanalen. Området på respektive isolerskiva med skadat materialet är orienterade i en linje som följer ventilationskanalens ovansida utmed hela dess längd. Efter montering av skadat materialet noteras att isoleringen hänger ner flera centimeter i underkant av ventilationskanalen. Vidare är nu gliporna mellan skivorna större än vid perfekt montage med oskadad isolering.

Bilaga 8

Termografering av värmeisolering

Värmeisoleringens yta har termograferats vid tre olika mätfall. Med 50mm isolering och +250Pa övertryck i A-klass respektive C-klass samt med söndertrampad isolering utan trycksättning. I jämförelse med mätning med termoelement, som ger en noggrann mätning av den absoluta yttemperaturen i sex stycken punkter, ger termograferingen en bild av hur värmeisoleringens yttemperatur varierar över ytan. Termograferingen skall ses som en indikation på hur yttemperaturen varierar.

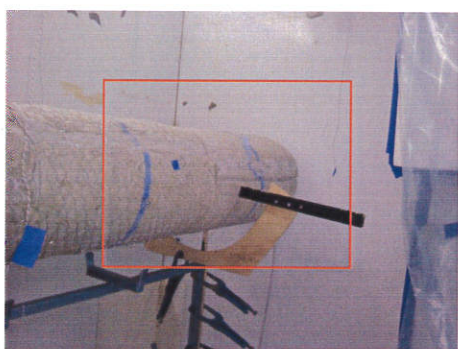
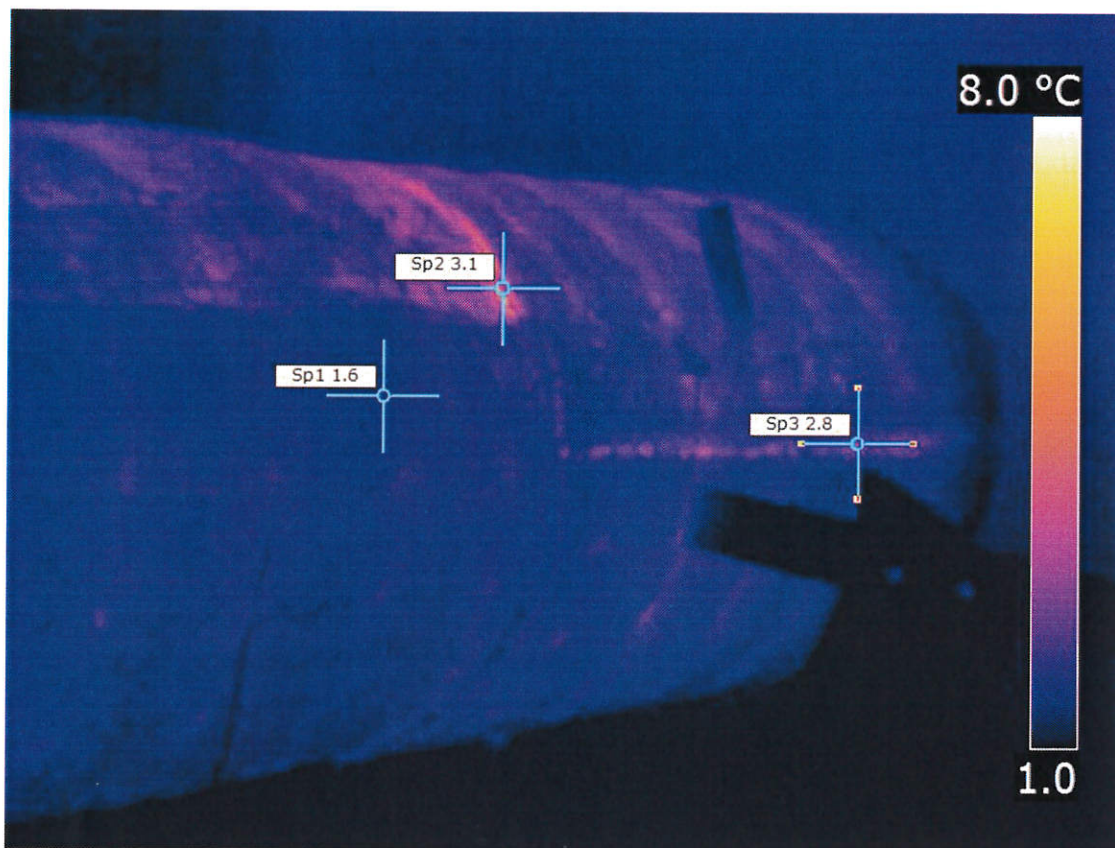
Ett problem vid termograferingen är att temperaturen i rummet stiger när en person vistas i rummet. Detta påverkar även yttemperaturen som stiger under själva fotograferingen. Resultaten som redovisas i Figur 15 till Figur 20 är därför fotograferade i direkt anslutning till att en person stiger in i klimatkammaren. Markeringarna i figurerna visar den lokala yttemperaturen.

Vid låga luftläckage i (C-klass) från kanalen, upp genom värmeisoleringen, är yttemperaturen relativt jämn, se Figur 15 och Figur 16. I skarvarna mellan nätmattorna är temperaturen något förhöjd. Läckaget av luft påverkar yttemperaturen marginellt. Detta syns även på resultaten där värmeförlusttalet $K_{ledning}$ minskar något (från 0,57/0,59 till 0,50 W/(mK)). Dock är medelyttemperaturen uppmätt med de sex termoelementen den samma vid 0Pa som vid +250Pa (C-klass), se Tabell 5 (Bilaga 9).

Vid de betydligt högre läckageflöderna vid A-klass är skillnaden jämför med C-klass markant, se Figur 17 och Figur 18. Yttemperaturen varierar betydligt i detta mätfall. I en del av skarvarna mellan nätmattorna är yttemperaturen förhöjd vilket indikerar på att läckageluften passerar genom skarven. Temperaturmätningen med termoelement visar på en stigande yttemperatur för mätfallet jämfört med mätfallet utan trycksättning (ökning på cirka 0,9°C), se Tabell 5 (Bilaga 9).

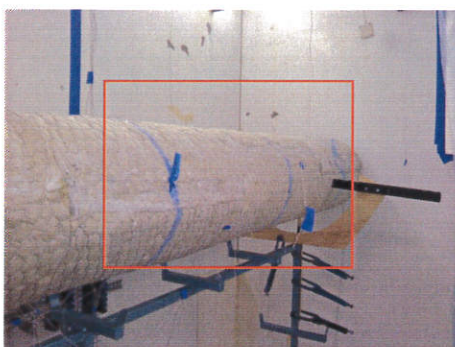
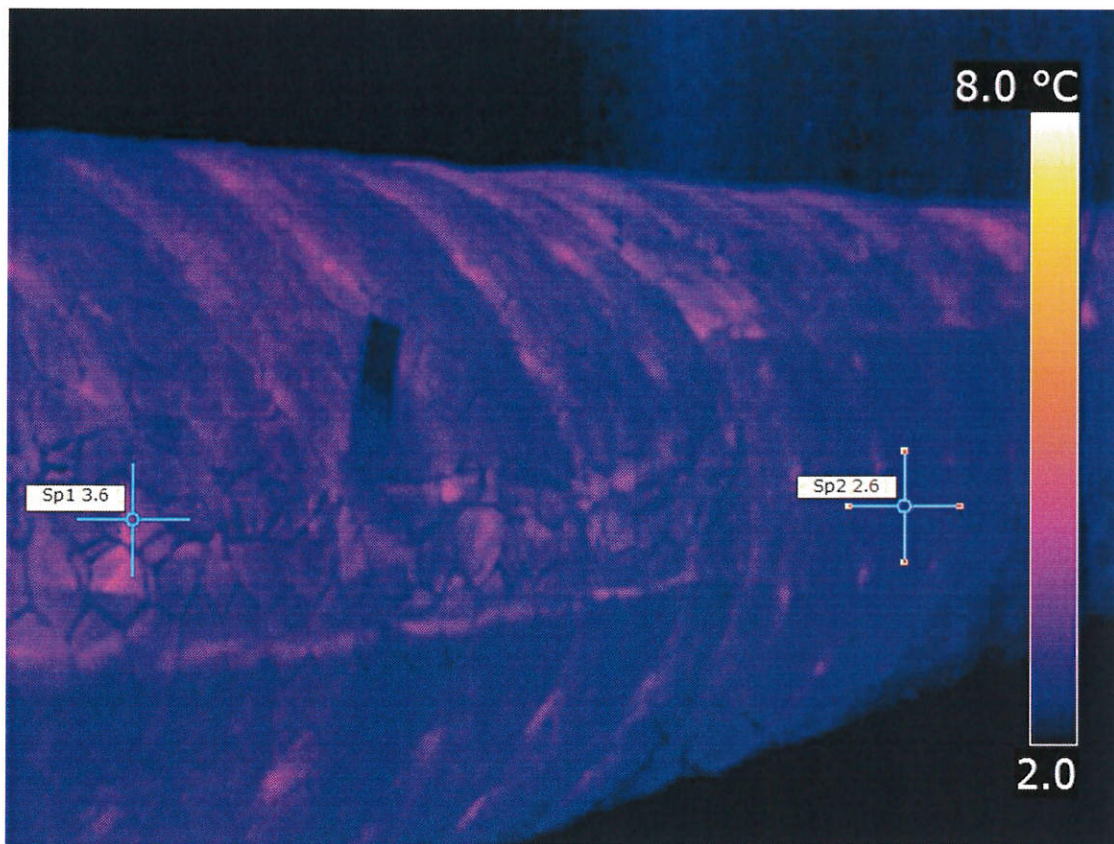
Vid söndertrasad isolering är kanalen inte trycksatt. På ovansidan där isolering delvis saknas är yttemperaturen förhöjd och ojämn. I vissa punkter är yttemperaturen kraftigt förhöjd då den söndertrasade isoleringen varierar i tjocklek, vissa punkter är mer förstörda än andra, se Figur 19. Vid söndertrasningen blir inte monteringen av isoleringen perfekt, en del av skarvarna glipar och isoleringen hänger ner under kanaler. I skarvarna ökar nu yttemperaturen trots att det inte är någon läckageluft i skarven, se Figur 20.

Bilaga 8



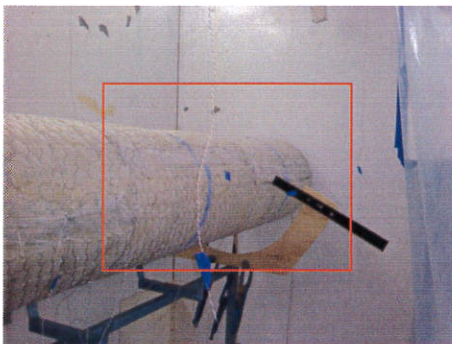
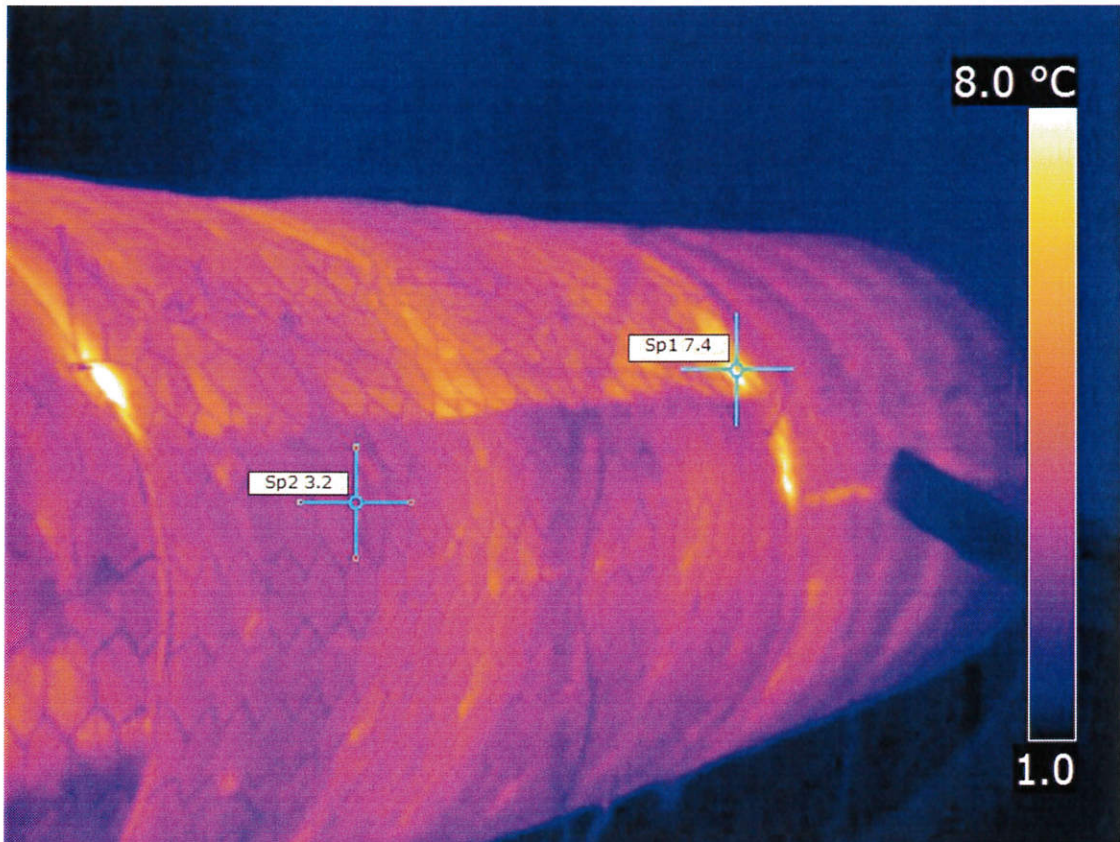
Figur 15 Termografering av den borte änden av kanalen i mätfall: +250Pa, C-klass, 50mm isolering.

Bilaga 8



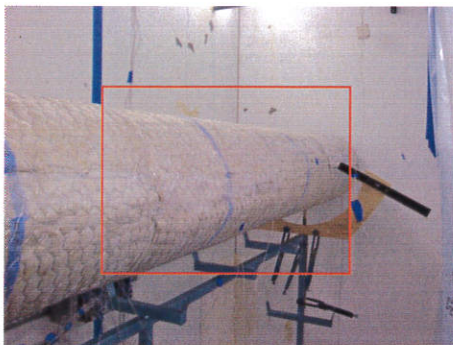
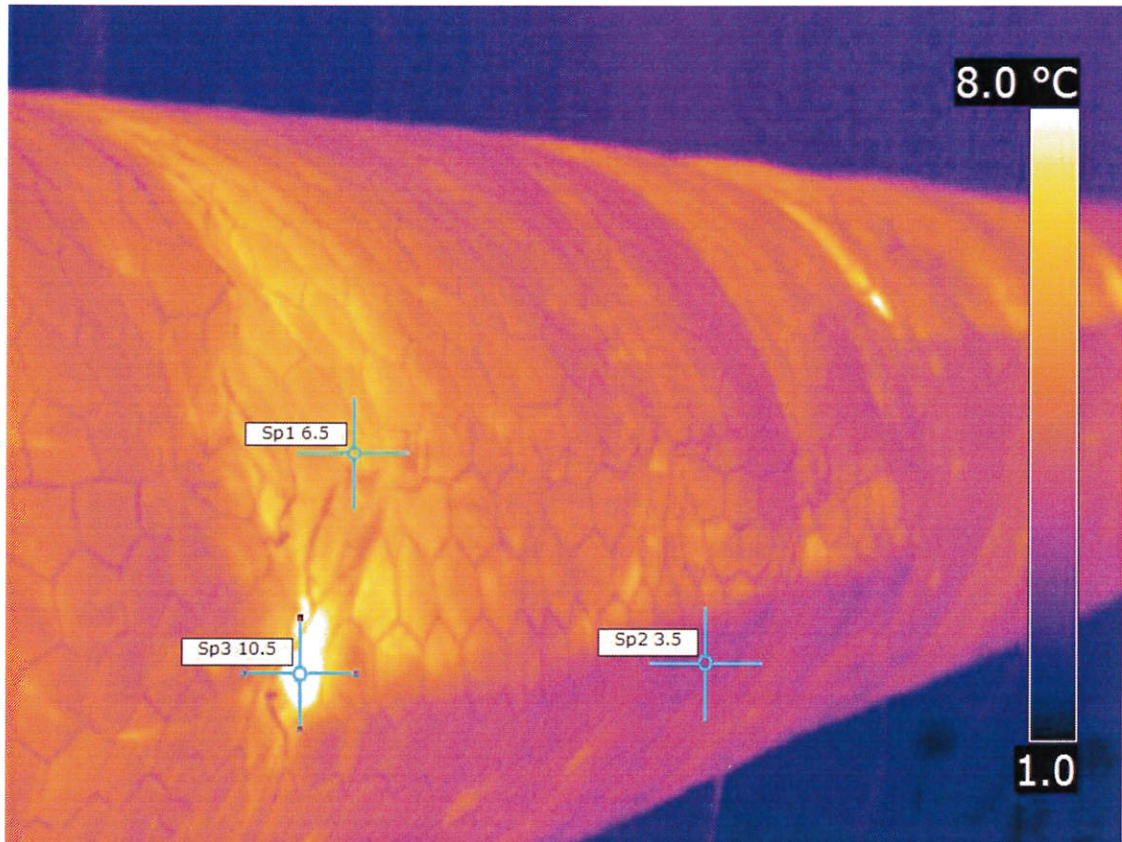
Figur 16 Termografering av kanalens mittdel i mätfall: +250Pa, C-klass, 50mm isolering.

Bilaga 8



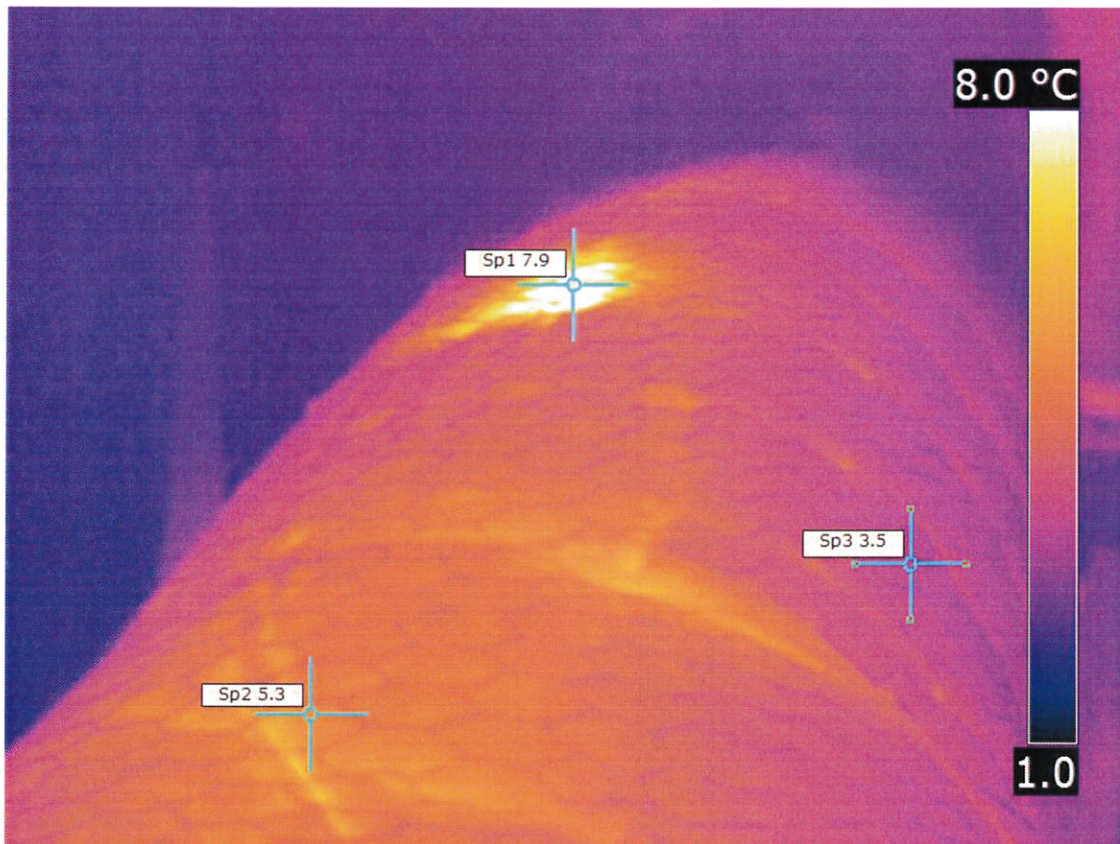
Figur 17 Termografering av den borte änden av kanalen i mätfall: +250Pa, A-klass, 50mm isolering.

Bilaga 8



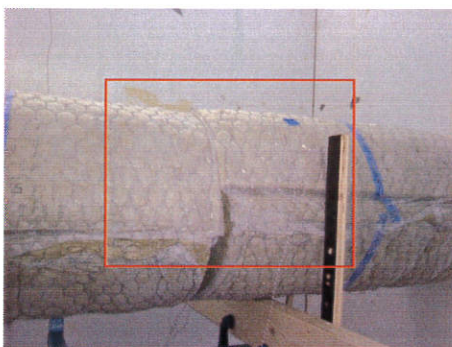
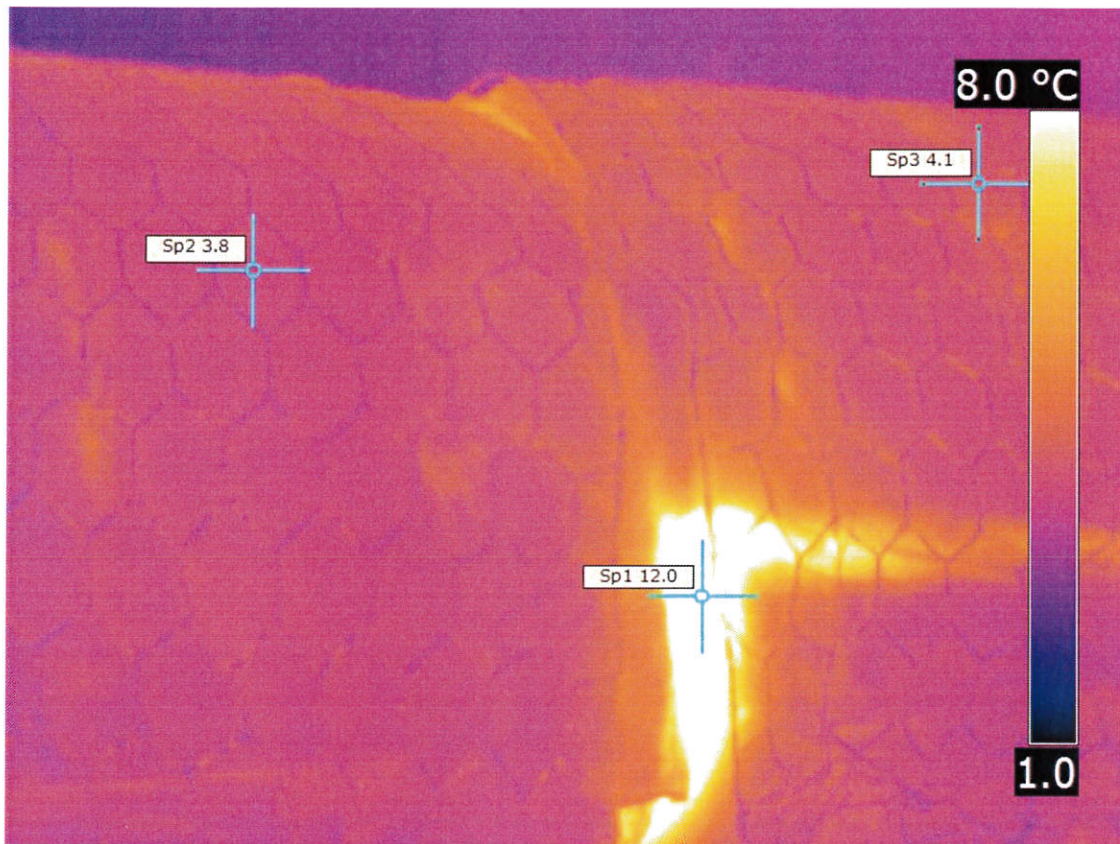
Figur 18 Termografering av kanalens mittdel i mätfall: +250Pa, A-klass, 50mm isolering.

Bilaga 8



Figur 19 Termografering av den borte ändens ovsida av kanalen i mätfall: 0Pa, söndertrampad 50mm isolering.

Bilaga 8



Figur 20 Termografering av skarvar i mätfall: 0Pa, söndertrampad 50mm isolering.

Bilaga 9

Detaljerad redovisning av mätresultaten

Tabell 5 Mätdata och resultat för respektive mätfall samt redovisning av den beräknad samtlade mätosäkerhet för värmeförlusttalet (räckningsfaktor, $k=2$).

Isolering	Läckageklass	Tryck [Pa]	Rum [°C]	Till/frånluft [°C]	Luft i kanal [°C]	Plåt [°C]	Isolering yta [°C]	Medel Isolering [°C]	Flöde [m ³ /s]	Värmeförlust- tal läckage, [K _{läckage}]	Effekt varmtråd [W]	Läckage- förlust [W]	Ändlocks- förlust [W]	Lednings- förlust [W]	Värmeförlust- tal ledning, [K _{ledning}]	Mätosäkerhet, [K _{ledning}]	Relativ mätosäkerhet, [K _{ledning}]
Osolerat	A-klass	0	3.0	-	22.4	13.1	-	-	-	-	95.4	-	-2.7	-92.7	3.04	±0.18	5.9
Osolerat	A-klass	+250	4.1	19.6	19.5	13.7	-	-	2.77E-03	1.11	94.9	0.5	-2.5	-93.0	3.22	±0.2	6.3
Osolerat	A-klass	-250	2.9	19.9	17.3	12.9	-	-	-2.96E-03	-1.19	136.5	-60.3	-2.3	-74.0	2.48	±0.16	6.6
Osolerat (får tejp)		0	3.0	-	20.8	11.7	-	-	-	-	95.4	-	-2.5	-92.9	3.55	±0.24	6.8
Osolerat	C-klass	0	3.2	-	21.8	12.6	-	-	-	-	95.5	-	-2.7	-92.8	3.30	±0.21	6.4
Osolerat	C-klass	+250	3.4	21.8	21.9	12.7	-	-	3.38E-04	0.14	95.5	0.0	-2.6	-92.8	3.34	±0.22	6.5
Osolerat	C-klass	-250	3.2	21.4	21.9	12.7	-	-	-3.38E-04	-0.14	104.7	-7.4	-2.3	-95.1	3.36	±0.21	6.3
50mm	A-klass	0	2.2	-	23.0	19.4	3.8	11.6	-	-	31.9	-	-1.5	-30.4	0.59	±0.02	4.0
50mm	A-klass	+250	2.2	19.1	19.1	18.3	4.7	11.5	2.56E-03	1.02	12.4	0.0	-1.3	-11.2	0.23	±0.01	5.9
50mm	A-klass	-250	2.2	24.5	23.0	20.0	3.1	11.6	-2.55E-03	-1.02	80.2	-68.3	-1.6	-10.3	0.19	±0.04	21.3
50mm	C-klass	0	2.3	-	23.6	19.9	4.0	11.9	-	-	32.0	-	-1.8	-30.2	0.57	±0.02	4.2
50mm	C-klass	+250	2.1	22.2	21.8	18.5	3.8	11.1	3.27E-04	0.13	26.0	0.0	-1.4	-24.6	0.50	±0.02	4.3
50mm	C-klass	-250	2.3	22.0	22.8	19.5	3.8	11.6	-3.16E-04	-0.13	34.6	-7.5	-1.5	-25.7	0.50	±0.02	4.3
Trasig isolering 50mm	C-klass	0	2.7	-	22.5	18.4	4.0	11.2	-	-	34.9	-	-1.4	-33.4	0.71	±0.03	4.2
160mm	C-klass	0	2.6	-	20.1	18.6	3.2	10.9	-	-	12.4	-	-0.8	-11.6	0.24	±0.01	4.7
160mm	C-klass	+250	2.3	20.6	20.4	18.9	3.0	10.9	3.21E-04	0.13	12.0	0.0	-0.9	-11.2	0.23	±0.01	4.8