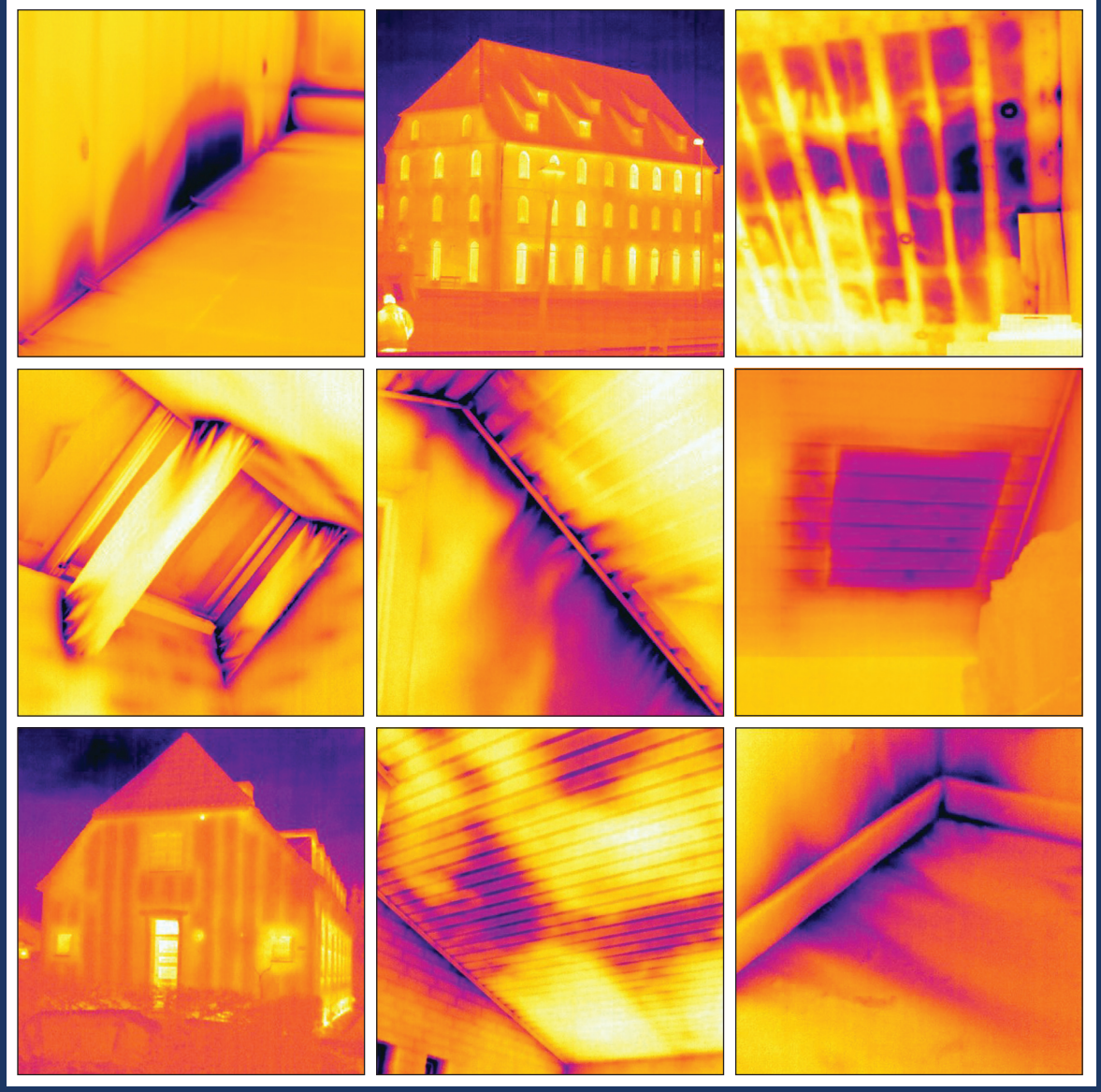
Vejledning i bygningstermografi

2. udgave, 2015



TEKNOLOGISK INSTITUT

BOLIUS

ISOLINK
BlowerDoor • Termografering

Dansk infrarød INSPEKTION

Forord

Vejledningen tager udgangspunkt i *DS/EN 13187* suppleret med viden fra andre relevante standarder, anvisninger og krav, samt erfaring fra gruppens egne medlemmer. Vejledningen er desuden tilpasset den danske byggebranche, således at der i vejledningen både fremgår krav og anbefalinger fra bygningsreglementet, men også fra andre relevante metoder/standarder som fx Passivhus.

De krav der anvendes i vejledningen er udelukkende baseret på nuværende Bygningsreglement (BR10). Termografiresultater fra bygninger som ikke er udført efter BR10, skal således ikke sammenholdes med kravene beskrevet i denne vejledning, men med kravene fra daværende Bygningsreglement. Det anbefales dog at de anbefalede værdier i denne vejledning, så vidt muligt, også anvendes i forbindelse med ældre bygninger, så der bl.a. sikres et fornuftigt indeklima og et lavt varmeforbrug.

Vejledningens afsnit er udarbejdet således, at de kan læses uafhængigt af hinanden. Det er således ikke nødvendigt eksempelvis at læse kapitlet om kuldebroer, hvis vejledningen skal anvendes som hjælp til termografering af utætheder. For at kunne anvende det som står i kapitel 4 og 5 anbefales det at læseren har forstået den teori og viden som beskrives i kapitel 2 og 3.

Vejledningen er udarbejdet af:

- Henrik Laue Poulin, Teknologisk Institut
- Lars Thomsen Nielsen, Teknologisk Institut
- Bent B. Nøhr, Dansk infrarød Inspektion A/S
- Lars Due, Isolink ApS
- Jens Bo Nielsen, Bolius

Vejledningen har været til gennemlæsning hos relevante aktører i byggebranchen inden udgivelse.

Realdania

Projektet er finansieret af Realdania.

© Tekst og billeder må ikke gengives uden forudgående aftale.

Indholdsfortegnelse

1 Indledning ***6***
1.1 Baggrund 6
1.2 Formål 6
1.3 Målgruppe 7

2 Teori ***8***
2.1 Infrarød stråling 8
2.2 Bidrag 9
2.3 Relativ fugtighed 13
2.4 Kondens og skimmel 14
2.5 Træk 17
2.6 Kolde og varme gulve 19
2.7 Strålingsasymmetri 19
2.8 Kvalitativ og kvantitativ metode 19

3 Generelt om termografering ***20***
3.1 Termografiudstyr 20
3.2 Operatør 26
3.3 Vejrforhold 27
3.4 Termografering af vinduesdetaljer 28
3.5 Afvigelsestyper 29
3.6 Måleudstyr 30
3.7 Rapport 30

4 Kuldebroer ***32***
4.1 Kuldebrostyper 32
4.2 Betingelser 35
4.3 Udførelse 36
4.4 Analyse 37
4.5 Rapport 43
4.6 Eksempler 43

5 Utætheder/luftlækager ***47***
5.1 Utæthed 47
5.2 Betingelser 47
5.3 Udførelse 48
5.4 Analyse 53
5.5 Rapport 56
5.6 Eksempler 56

6 Analyseværktøj ***60***

Appendiks A – Beregningsdokumentation ***62***
A.1 Bestemmelse af transmissionskoefficienten U 63
A.2 Bestemmelse af overfladetemperaturer 64
A.3 Eksempel 1 – Tung ydervægskonstruktion 65
A.4 Eksempel 2 – Let ydervægkonstruktion 66

Appendiks B – Korrektion af overfladetemperaturer ***70***
B.1 Korrektion af målte overfladetemperaturer 71
B.2 Korrektion af beregnede overfladetemperaturer 72
B.3 Eksempel på anvendelse af tabeller 73

Appendiks C – Skabelon til termograferingsrapport ***78***

Appendiks D – Andre anvendelsesmuligheder inden for termografering ***84***
D.1 Gulvvarmeslanger 85
D.2 Utætheder i varmeslanger eller varmerør 86
D.3 Elinstallationer 86
D.4 Anlæg 87
D.5 Skadedyr 87
D.6 Fugt 89

Appendiks E - Teoretisk bestemmelse af overfladetemperaturer ***92***
E.1 Heat2 93
E.2 Eksempel på anvendelse af Heat 93

Appendiks F - Analyseværktøj til behandling af måleresultater ***96***
F.1 Generelt 97
F.2 Forside 98
F.3 Kuldebro 99
F.4 Utæthed 105

Appendiks G – Måling af skimmel ***108***
G.1 Måling af skimmel på overflader 109
G.2 Måling af skimmelspore i luften 110

Litteraturliste ***112***

1 Indledning

1.1 Baggrund

Termografering af huse er en metode, som kan anvendes til at påpege termiske afvigelser i bygningens klimaskærm uden destruktive indgreb i konstruktionen. Termografering er således blevet et vigtigt redskab i kampen om at reducere bygningers energiforbrug og til at opnå fornuftige indeklimaforhold.

Indtil for få år siden var termografiudstyr meget kostbart at anskaffe og det var derfor primært de store firmaer som anvendte termografering. I dag er fokus på energi og indeklima imidlertid vokset samtidig med at priserne på termografiudstyr er faldet. Dette har medført, at der er kommet mange flere aktører i spil, hvoraf flere ikke har den nødvendige uddannelse og viden omkring termografering. Den manglende viden har sidenhen gjort, at branchen i dag oplever flere fejlanalyserede termograferinger end førhen (Byg-erfa, kilde 1, 2011) (Videncenter for energibesparelser i bygninger, 2010).

For at undgå disse fejlanalyser er der brug for klare retningslinjer inden for bygningstermografering, som gør det lettere og mere sikkert at:

- Udføre termograferingen
- Analysere resultaterne
- Udarbejde ensartede og forståelige rapporter

1.2 Formål

Formålet med denne vejledning er, at sikre at bygningstermografi udføres og analyseres ensartet og korrekt, så der ikke opstår misforståelse og fejlfortolkninger, som kan føre til fejlagtige anbefalinger. Vejledningen er primært udarbejdet som et hjælperedskab til termografering af enfamiliehuse, men vil også kunne anvendes til fx kontorbyggerier, uddannelsesinstitutioner m.fl.

Vejledningen indeholder afsnittene:

- ***Teori***
- ***Generelt om termografering***
- ***Kuldebroer***
- ***Utæthed/luftlækager***
- ***Analyseværktøj***

Teori

Formålet med teoriafsnittet er for operatøren, at få større indsigt i og forståelse for den teori, som anvendes i forbindelse med termografering, således at personen er i stand til at forstå de begreber og anvende de formler, som beskrives i vejledningen.

Generelt om termografering

Formålet med dette afsnit er for operatøren, at få kendskab til nogle af de praktiske forhold, som gør sig gældende i forbindelse med termografering. Det kan bl.a. være indstillinger i kameraet, nødvendige vejrforhold, anvendelse af måleudstyr m.m.

Kuldebroer

Formålet med dette afsnit er, at give operatøren en brugbar vejledning til hvordan termografering af kuldebroer foretages, samt hvordan resultaterne behandles og afrapporteres.

Utætheder/luftlækager

Formålet med dette afsnit er, at give operatøren en brugbar vejledning til hvordan en tæthedsundersøgelse udføres, samt hvordan resultaterne behandles og afrapporteres.

Analyseværktøj

Formålet er afslutningsvis at anvende den indsamlede viden fra de forrige afsnit og samle det i ét værktøj.

Værktøjet skal være nemt at anvende og komme med hurtige og klare svar. Operatøren vil således kunne anvende værktøjet i forbindelse med termografering til hurtigt at analysere de målte værdier.

1.3 Målgruppe

Vejledningen er primært rettet mod de personer som udfører termografering, for at højne kvaliteten af deres analyser og anbefalinger. Professionelle bygherrer vil dog også kunne anvende vejledningen i forbindelse med kvalitetssikring og eventuelle tvister.

Endvidere vil vejledningen kunne anvendes i forbindelse med syn- og skønssager, hvor termografi indgår som en del af bevisførelsen. Her vil vejledningens anbefalinger medvirke til mere kvalificerede og ensartede bedømmelser.

Det er tanken at vejledningen skal være så klar og forståelig, at almindelige bygherrer og boligejere også kan drage nytte af den, hvis de står i den situation at skulle vurdere en termografirapport udført på deres bolig.

2 Teori

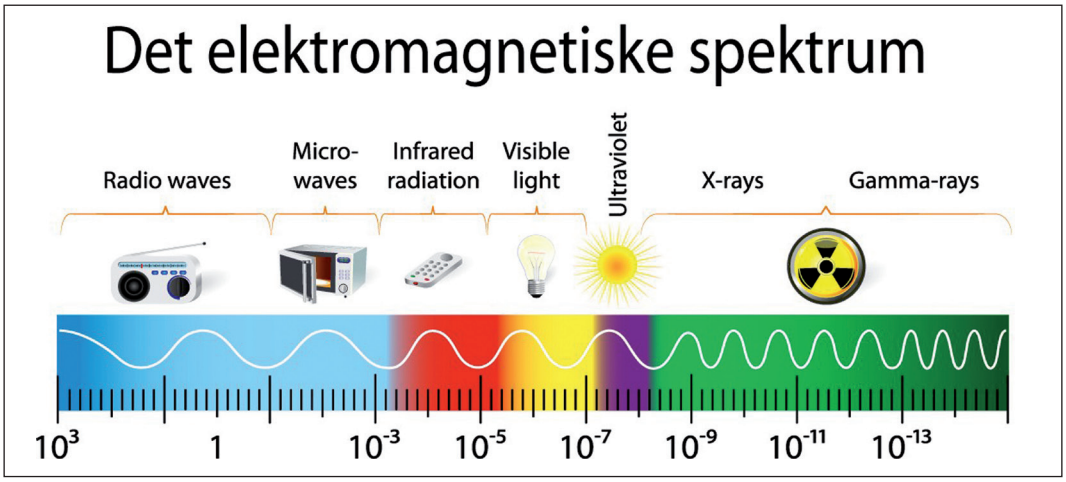
Dette afsnit omhandler den teori som anvendes i forbindelse med termografering og omfatter:

- **Infrarød stråling.** En forklaring af infrarød stråling og hvordan det anvendes i forbindelse med termografering.
- **Bidrag.** En beskrivelse af de bidrag som den infrarøde stråling består af.
- **Relativ fugtighed.** En beskrivelse af relativ fugtighed og hvordan det anvendes i denne vejledning.
- **Kondens og skimmel.** En beskrivelse af begreberne kondens og skimmel.
- **Træk.** En beskrivelse af træk og hvilke krav der stilles til dette i opholdszonen.
- **Kolde og varme gulve.** En definition af hvornår gulve betragtes som hhv. kolde og varme og hvilke konsekvenser det kan medføre.
- **Strålingsasymmetri.** En forklaring af begrebet strålingsasymmetri.
- **Kvalitativ og kvantitativ metode.** En beskrivelse af de to metoder som bl.a. anvendes i forbindelse med bygningstermografering.

2.1 Infrarød stråling

Infrarød stråling (varmestråling) er elektromagnetisk stråling med et bølgelængdeområde på 0,7 – 14 µm:

- **Det nær infrarøde område (0,7 - 1 µm)** kan ikke benyttes til at fastsætte temperaturer og anvendes således ikke i termografiudstyr. Nær infrarød stråling anvendes ofte i forbindelse med bl.a. overvågnings- og sikringskameraer.
- **Det kortbølgede infrarøde område (1,0 - 3 µm)** benyttes primært til datakommunikation og er således ikke relevant for bygningstermografering.
- **Det mellembølgede infrarøde område (3-8 µm)** benyttes typisk i kølede termografikameraer. Disse termografikameraer har meget høj nøjagtighed og anvendes bl.a. til militære projekter (fx forskning, industri og overflyvning). Termografikameraer i denne kategori er meget dyre og anvendes som regel ikke til standard bygningstermografi.
- **Det langbølgede infrarøde område (8-14 µm)** anvendes i de fleste termografikameraer til kommercielt brug inden for bygningstermografering.



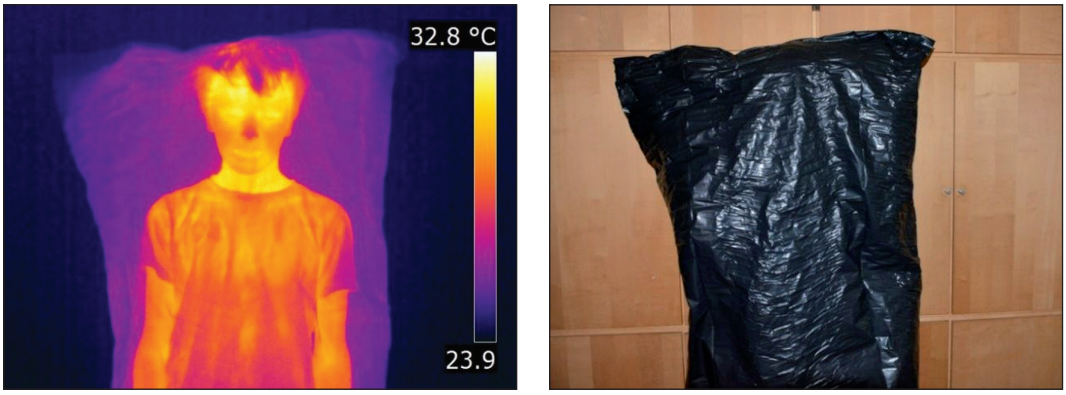
Figur 1. Det elektromagnetiske spektrum

Termografiudstyr anvender de infrarøde stråler, som det termograferede objekt udsender, til at udarbejde et visuelt billede af overfladetemperaturen. Alle faste genstande der er varmere end det absolutte nulpunkt (-273,15°C), udstråler infrarød stråling, og er dermed i realiteten egnet til termografering. Det er imidlertid vigtigt, at operatøren er opmærksom på hvilket type kamera der anvendes, idet egenskaberne for mellembølget og langbølget IR-stråling ikke er ens. Materialets emissivitet ved mellembølget IR-stråling er fx ikke den samme som ved langbølget IR-stråling. Det betyder, at fx overfladetemperaturen af PE-folie ikke kan bestemmes med et standard termografikamera (langbølget IR), men godt kan bestemmes med et kølet termografikamera (mellembølget IR).

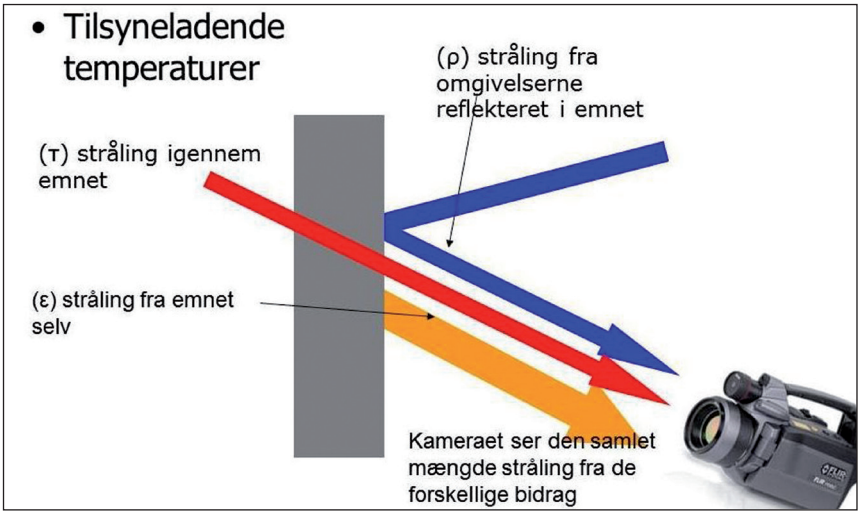
2.2 Bidrag

Den infrarøde stråling som registreres af et termografikamera består hhv. af et emitteret, reflekteret og transmitteret bidrag:

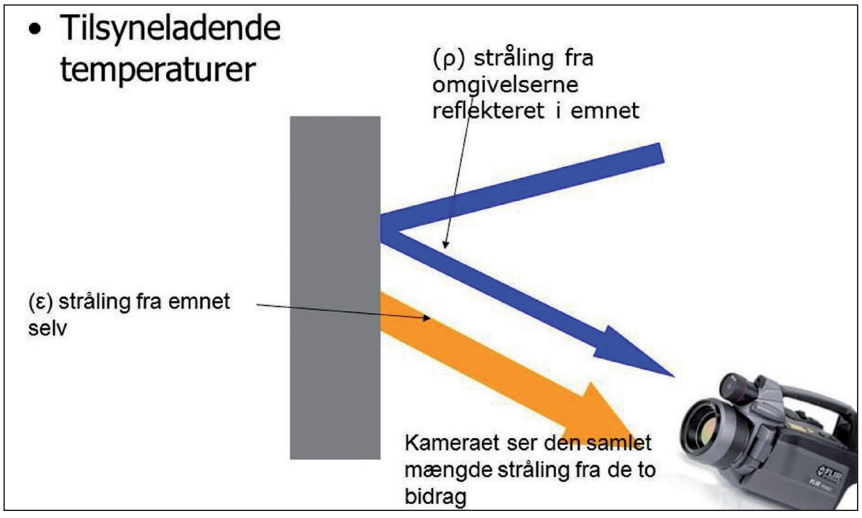
- **Emitteret bidrag, ε** er den mængde infrarød stråling, som emitteres (udsendes) af det termograferede objekt.
- **Reflekteret bidrag, ρ** er den mængde infrarød stråling fra baggrunden, som reflekteres i det termograferede objekt.
- **Transmitteret bidrag, τ** er den mængde infrarød stråling, som transmitteres gennem det termograferede objekt.



Figur 2. Termografering af person bag PE-folie med standard termografikamera (langbølget IR)



Figur 3. Emitteret, reflekteret og transmitteret bidrag.



Figur 4. Emitteret og reflekteret bidrag.

I bygninger er der relativt få materialer, som har et transmitteret bidrag. Inden for bygningstermografering består bidraget derfor ofte kun af et emitteret og reflekteret bidrag.

Det er vigtigt at forstå, som operatør, at et varmekamera ikke automatisk leverer korrekte overfladetemperaturer. For at opnå korrekte målinger er det nødvendigt, at det reflekterede bidrag og emissiviteten indstilles korrekt.

Ved afstande over 10 m skal afstanden til objektet, samt lufttemperaturen og luftfugtighed også indstilles korrekt for at opnå præcise målinger.

Emitteret bidrag

Emissivitet beskriver overfladens evne til at emittere/udstråle infrarøde stråler i et defineret frekvensområde og ved en given temperatur. En effektiv udleder (fx maling, papir og hud) har en høj emissivitet, mens en dårlig udleder (fx me-

taller) har en lav emissivitet. Alle materialer har en emissivitet på 0,0 - 1,0 og den perfekte udleder (black body) har en emissivitet på 1,0.

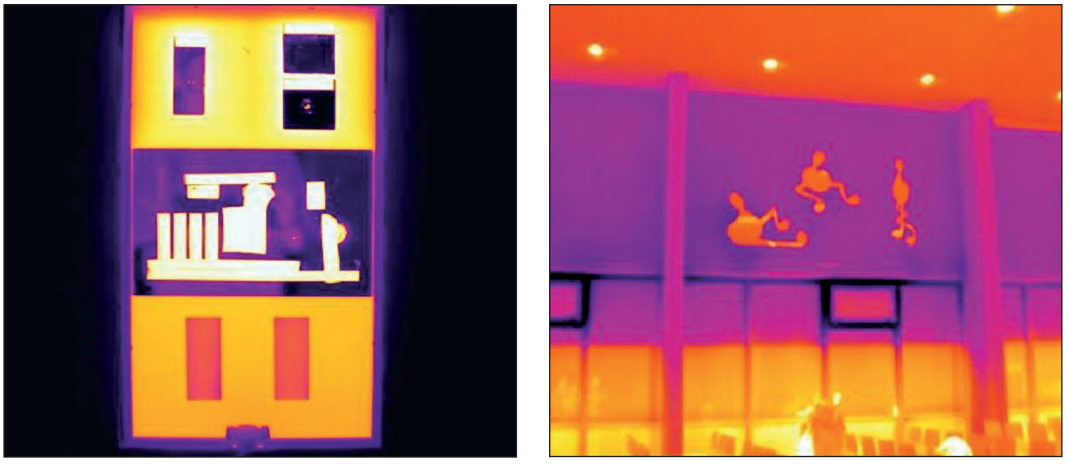
Figur 5 illustrerer hhv. en opvarmet plade og kunst på en væg. I begge tilfælde er der tale om materialer med forskellig emissivitet, men med samme temperatur. Begge billeder er taget med et termografikamera, hvor emissiviteten af de forskellige materialer ikke er indstillet. Temperaturen for de forskellige materialer fremgår således også forskellig, selvom de i realiteten er ens. De flader som på billedet fremstår kolde, består i begge tilfælde af blanke materialer med en emissivitet på under 0,1. I dette tilfælde er emissiviteten på kameraet indstillet højt, hvilket betyder at det reflekterede bidrag, for de blanke materialer, får stor indflydelse på det samlede resultat. På billedet har de blanke materialer derfor (stort set) samme temperatur som det objekt der reflekteres i overfladen.

For at opnå korrekte målinger af overfladetemperaturen er det muligt, med det meste termografiudstyr, at korrigere overfladetemperaturen ift. materialernes emissiviteter. Denne korrektion bliver imidlertid hurtig upræcis for materialer med meget lav emissivitet, hvorfor bygningstermografi som oftest bør omfatte overflader med en emissivitet på over 0,6. Hvis der skal foretages målinger af flader med lav emissivitet, kan der anvendes tape (eller lignende) med kendt emissivitet på $\varepsilon = 0{,}95$.

Emissiviteten af et objekt kan måles ud fra følgende vejledning:

1. Opvarm eller nedkøl det objekt, som emissiviteten ønskes bestemt for. Det er afgørende at temperaturdifferensen mellem ude og inde er minimum 20 °C.
2. Bestem det reflekterede bidrag (se Reflekteret bidrag).
3. Opsæt emissivitets-tape på objektet og vent på at tapen er afklimatiseret (opnået samme temperatur som objektet).
4. Indstil kameraet ud fra den kendte emissivitet på 0,95 og med det målte bidrag fra den reflekterede temperatur.
5. Mål temperaturen af det opsatte tape og frys billedet.
6. Flyt spotmåleren fra tapen til objektet.
7. Juster emissiviteten indtil der måles samme temperatur uden for tapen som inden for tapen.
8. Når samme temperatur er opnået aflæses emissiviteten. Denne værdi svarer til objektets emissivitet.

Se tabel 1 for en liste over vejledende emissiviteter for de mest gængse materialer inden for bygningstermografering.



Figur 5. Fra venstre: "Opvarmet plade" og "Kunst på væg"

Materiale	Emissivitet
Aluminium (oxideret)	0,20 – 0,31
Aluminium (poleret)	0,04 – 0,06
Tøj (bommuld)	0,90 – 0,95
Beton (grå)	0,94
Fliser (keramisk)	0,80
Gips	0,80 – 0,90
Glas	0,94
Jern (oxideret)	0,79
Jern (poleret)	0,17
Kork	0,70
Kobber (oxideret)	0,76
Kobber (poleret)	0,02
Linoleum	0,96
Plastik og gummi (PE, PP, PVC)	0,94
Puds (kalkmørtel)	0,92
Maling (hvid)	0,89 – 0,97
Maling (sort mat)	0,92
Sne	0,85
Stål (nyslebet)	0,24
Stål (rustent)	0,76 – 0,86
Asbest plade	0,96
Beton ru, tør	0,97 – 0,95
Fiberplade, spånplade	0,77
Mursten alm.	0,81 – 0,86
Mursten murværk	0,94
Mursten pudset eller vandskuret	0,94
Tagpap	0,93
Teglsten (rød)	0,93
Træ (høvlet fyr)	0,90
Tæppe (bommuld, uld, syntetisk m.m.)	0,98
Vegetation (græs)	0,90-0,95
Zink (oxideret)	0,23 – 0,28
Zink (poleret)	0,045

Tabel 1. Materiale-emissiviteter for langbølgede IR-kameraer (8-14 µm)

Reflekteret bidrag

Reflekteret stråling beskriver en overflades evne til at reflektere infrarød stråling ved en given temperatur. Glatte, polerede overflader har en høj reflektans, mens matte, ru overflader har en lav reflektans. Alle materialer har en reflektans på mellem 0,0 og 1,0 og den perfekte reflektor har en reflektans på 1,0.

Det reflekterede bidrag kan enten bestemmes ud fra et hurtigt skøn eller ved anvendelse af en reflektor.

Et hurtigt skøn af det reflekterede bidrag bestemmes ved, at:

1. Kammeraet indstilles med en emissivitet på 1 og en afstand til objektet på 0 m
2. Operatøren drejer 180° ift. objektet og måler på baggrundstemperaturen
3. Denne værdi udgør den reflekterede temperatur

Det reflekterede bidrag kan også bestemmes vha. en reflektor. Dette gøres ved, at:

1. Kammeraet indstilles med en emissivitet på 1
2. Reflektoren opsættes (kraftig krøllet staniol)
3. Gennemsnitstemperaturen af reflektoren måles (figur 6).
4. Denne værdi udgør den reflekterede temperatur.

Metoden hvor der anvendes reflektor anses som værende den mest korrekte og professionelle metode, idet denne metode også tager hensyn til det reflekterede bidrag fra operatøren selv.

2.3 Relativ fugtighed

Relativ fugtighed (RF) angiver det aktuelle vanddampindhold i materialet/luften ift. den absolutte fugtighed for materialet/luften:

$$RF = \frac{Vanddampindhold}{Absolut\ Fugtighed} \cdot 100$$

hvor:

- *RF* er den relative fugtighed angivet i %
- *Vanddampindhold* er det målte vanddampindhold angivet i g/m³
- *Absolut Fugtighed* er det maksimale vanddampindhold i materialet/luften ved en bestemt temperatur angivet i g/m³

Den relative fugtighed indgår bl.a. i vanddampdiagrammer samt IX-diagrammer og kan fx anvendes til at bestemme den kritisk overfladetemperatur ift. skimmelvækst.

Figur 6. Måling af det reflekterede bidrag vha. reflektor (sølvpapir)

2.4 Kondens og skimmel

Bygningsreglementet (BR10) stiller følgende krav til kondens i nye bygninger:

"Bygninger skal udføres så vand og fugt ikke medfører skader eller brugsmæssige gener, herunder forringet holdbarhed og utilfredsstillende sundhedsmæssige forhold."

"Bygninger skal sikres mod skadelig akkumulering af kondensfugt som følge af fugttransport fra indeluften."

Dugpunktstemperatur og kondens

Dugpunkstemperaturen er den temperatur hvormed luften er fuldstændig mættet med vand og er afhængig af rumtemperaturen og den relative luftfugtighed i rummet. Dugpunktstemperaturen kan bl.a. aflæses i et vanddampdiagram eller i et IX-diagram og kan fx anvendes til at undersøge risikoen for kondensdannelse på en overflade (hvis overfladetemperaturen falder til under dugpunktet opstår der kondens).

SBi-anvisning 224 angiver vejledende værdier for den kritiske overfladetemperatur ift. kondensdannelse på frie overflader for forskellige fugtbelastningsklasser. Værdierne fremgår af tabel 2 og er udarbejdet for januar måned (udvendig temperatur på -0,6°C) med en rumtemperatur på 20°C, en kritisk relativ fugtighed på 75% og en bestemt indvendig relativ luftfugtighed.

For at bestemme en projektspecifik kritisk overfladetemperatur kan der, ved simpel vurdering, anvendes et vanddampdiagram/IX-diagram (Sbi, kilde 2, 2013).

Skimmelsvamp

Skimmelsvamp kan optræde i indeklimaet ved temperaturer på ca. 5 - 50°C samt relative fugtigheder over 75% (Sbi, kilde 2, 2013) og kan give anledning til gener i form af irritation af øjne og luftveje, hovedpine, svimmelhed og koncentrationsbesvær (Arbejdstilsynet, kilde 1, 2014). For at undgå skimmeldannelse på vinduesrammer (gælder kun ved ombygning) er der i Bygningsreglementet (BR10) derfor defineret et krav til overfladetemperaturen. Kravet er, at temperaturen for vinduesrammer i ydervægge ikke må være lavere end 9,3°C ved en udetemperatur på 0°C og en indetemperatur på 20°C. Bygningsreglementet definerer yderligere, at konstruktioner skal udføres så vand og fugt fra indeklimaet ikke medfører skader eller brugsmæssige gener, herunder forringet holdbarhed og utilfredsstillende sundhedsmæssige forhold. Det må derfor også anses som uacceptabelt, hvis der opstår skimmelsvamp på de resterende konstruktioner i bygningen.

SBi-anvisning 224 angiver vejledende værdier for den kritiske overfladetemperatur ift. skimmelvækst på frie overflader for forskellige fugtbelastningsklasser. Værdierne fremgår af tabel

Fugtbelastningsklasse	Beskrivelse	Kritisk overfladetemperatur	
		Dug	Skimmel
1	Tørre lagerhaller uden tilskuer, industribygninger uden fugtproduktion	4,1°C	8,2°C
2	Boliger med lav beboelsestæthed, kontorer og forretninger	9,5°C	13,8°C
3	Boliger med høj beboelsestæthed og idrætshaller med mange tilskuer	11,5°C	15,9°C
4	Storkøkkener, kantiner samt bade- og omklædningsrum	14,3°C	18,8°C

Tabel 2. Kritisk overfladetemperatur ift. skimmel. SBi-anvisning 224.

2 og er udarbejdet for januar måned (udvendig temperatur på -0,6°C) med en rumtemperatur på 20°C, en kritisk relativ fugtighed på 75% og en bestemt indvendig relativ luftfugtighed.

Vanddampdiagram og IX-diagram

Et vandampdiagram og et IX-diagram beskriver forholdet mellem vandindholdet i luften, den relative luftfugtighed og temperaturen ud fra følgende formler.

$$x = \frac{RF}{100} \cdot 0{,}62198 \cdot \frac{p_w}{(p_a - p_w)}$$

$$p_w = \frac{e^{(77{,}345+0{,}0057\cdot(T+273)-\frac{7235}{(T+273)})}}{(T+273)^{8{,}2}}$$

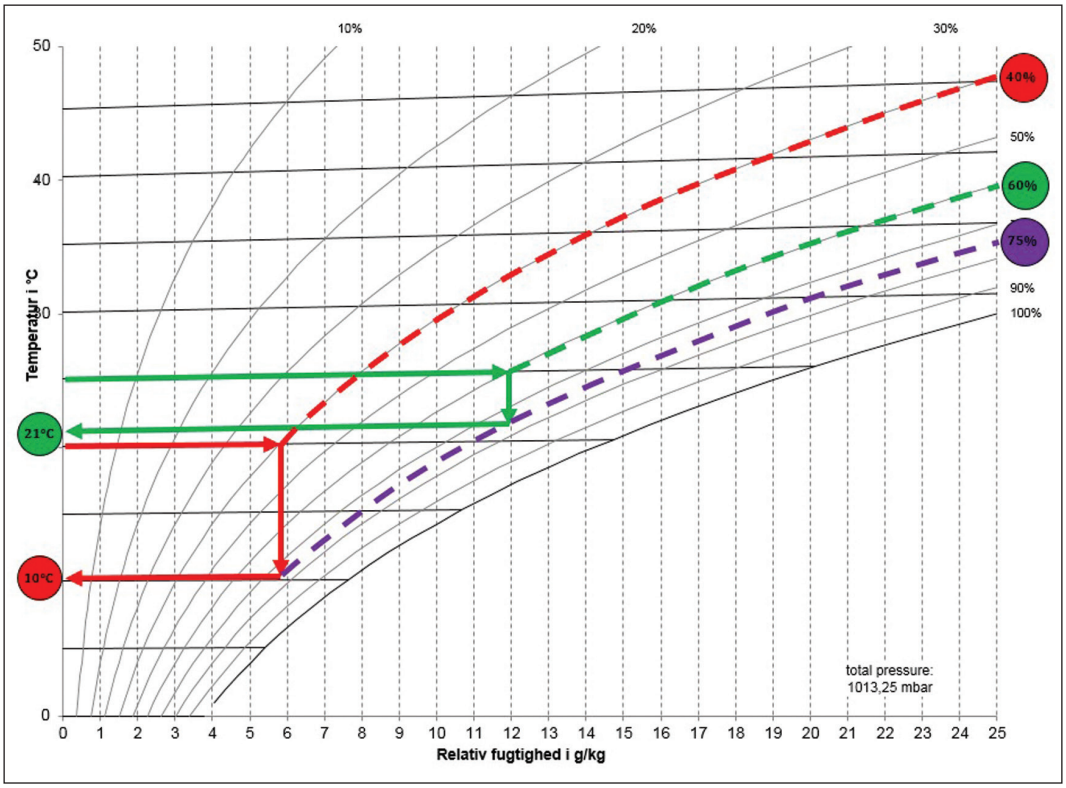
hvor:

- x er vandindholdet i luften/materialet angivet i g vand pr. kg materiale
- RF er den relative fugtighed i luften/materialet angivet i %
- pw er partialtrykket i Pa for en vanddamp ved en given temperatur
- pa er det atmosfæriske tryk angivet i Pa
- T er temperaturen angivet i °C

Diagrammerne kan bl.a. anvendes til at bestemme den kritiske overfladetemperatur for skimmelvækst vha. rumtemperaturen, den relative luftfugtighed (RLF) og den kritiske relative fugtighed (KRF) ved overfladen.

Figur 7 illustrerer et eksempel, hvor den kritiske overfladetemperatur er blevet aflæst på et IX-diagram til:

- **Grøn farve:** 21°C for en KRF på 75 %, en rumtemperatur på 25°C og en RLF på 60 %
- **Rød farve:** 10°C for en KRF på 75 %, en rumtemperatur på 20°C og en RLF på 40 %



Figur 7. IX-diagram

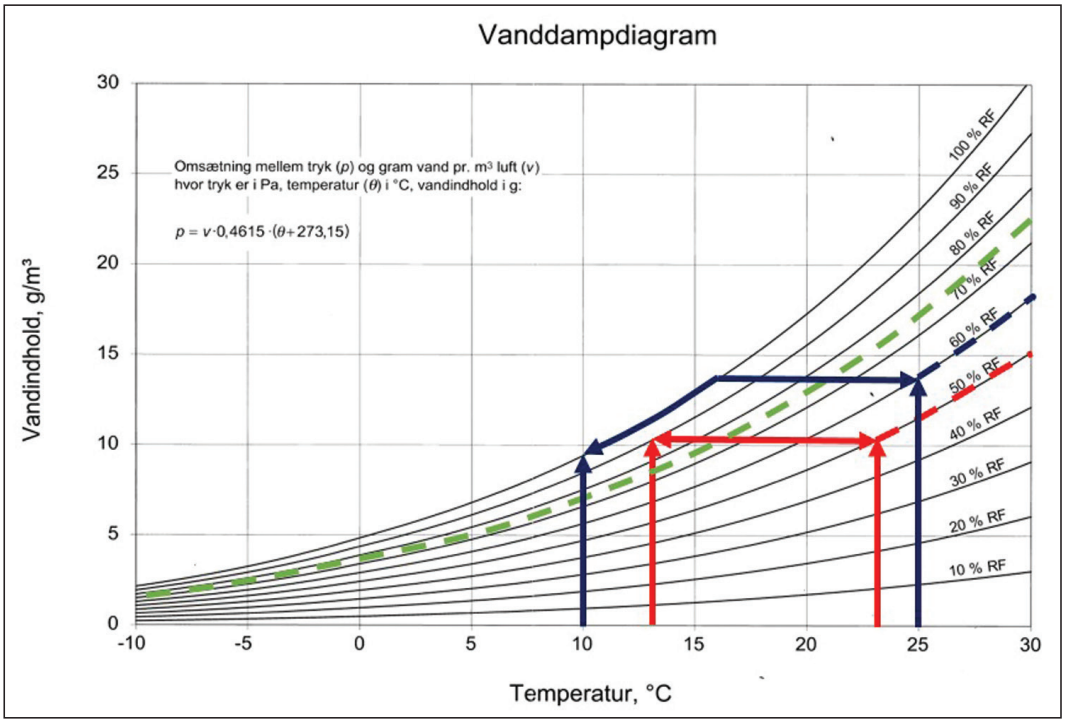
Eksemplet illustrer således hvor stor indflydelse den relative luftfugtighed og rumtemperaturen har på den kritiske overfladetemperatur.
Figur 8 illustrer et andet eksempel. I dette eksempel undersøges risikoen for hhv. kondensdannelse, ved en relativ fugtighed på 100%, og skimmelvækst ved en relativ fugtighed på over 75%. Risikoen undersøges for to forskellige eksempler ved anvendelse af et vanddampdiagram.

I **eksempel 1** er der blevet målt en rumtemperatur på 23°C, en relativ luftfugtighed på 50% og en overfladetemperatur på 13°C.

I **eksempel 2** er der blevet målt en rumtemperatur på 25°C, en relativ luftfugtighed på 60% og en overfladetemperatur på 10°C.

Vanddampdiagrammet illustrer, at den relative fugtighed for overfladen i **eksempel 1** er ca. 90%. Det betyder at der er risiko for skimmelvækst (90% > 75%), men ingen umiddelbar risiko for kondensdannelse (90% < 100%).

Derudover viser figuren, at den relative fugtighed for overfladen i **eksempel 2** er 100%. Det betyder at der både er risiko for skimmelvækst og kondensdannelse.



Figur 8. Relativ fugtighed

2.5 Træk

Træk er en uønsket lokal afkøling af kroppen bestemt ud fra lufttemperaturen og lufthastigheden i rummet (Dansk Standard, kilde 1, 2001). For at undgå lokale gener forårsaget af træk bør middellufthastigheden i opholdszonen være ≤ 0,15 m/s ved en lufttemperatur på minimum 21°C (Arbejdstilsynet, kilde 3, 2012). Opholdszonen defineres normalt som 0,6 m fra vægge og 1,8 m over gulv (Danvak, 1997).

Alle bygninger er i større eller mindre grad utætte. Det betyder at selv "tætte" bygninger kan have problemer med træk, hvis utæthederne blot er samlet ét sted.

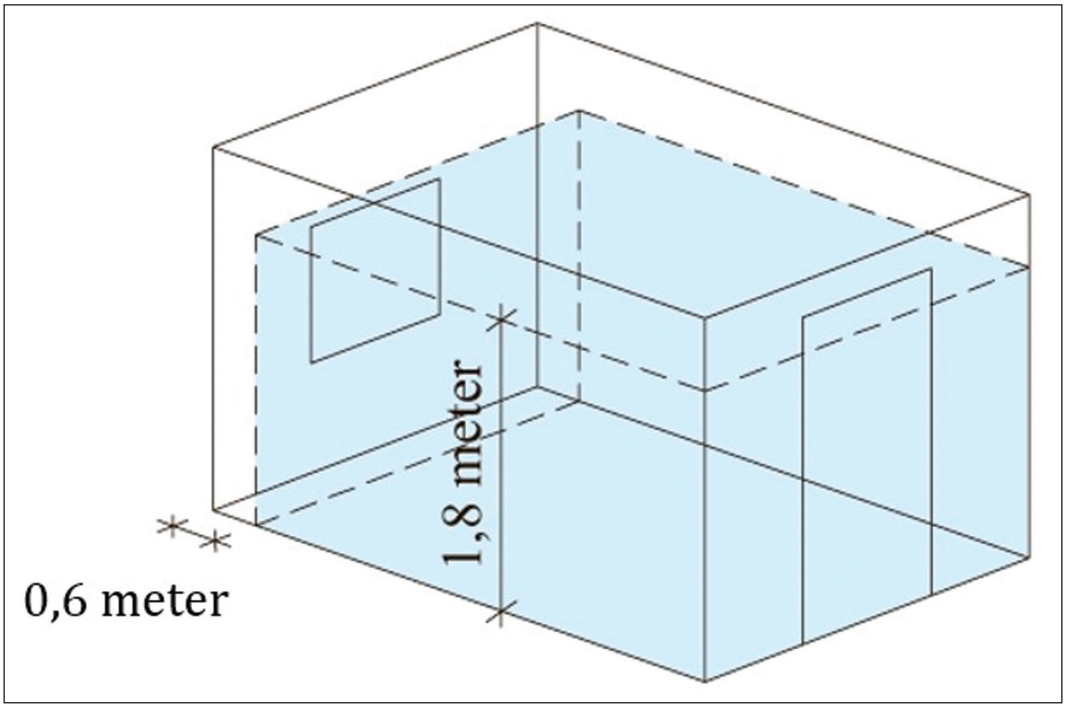
Træk fra utætheder kan bl.a. lokaliseres vha. termografering eller røg og omfanget af træk kan måles med en lufthastighedsmåler. Træk fra utætheder kan bl.a. undgås ved, at flytte arbejdszonen eller udbedre utætheden. Se afsnit 5.3 for en nærmere beskrivelse af hvordan træk måles i forbindelse med utætheder.

Kuldenedfald

Kuldenedfald er en nedadgående luftstrøm, som opstår ved lodret kolde flader. Luftstrømmen skifter retning når den møder en vandret flade (fx gulv eller hylde) og bevæger sig vandret væk fra den kolde flade med nedsat hastighed – jo større afstand der er til fladen, jo lavere er hastigheden. Hvis kuldenedfaldet rammer opholdszonen med en hastighed over det acceptable, kan det give anledning til trækgener.

Kuldenedfald forekommer ofte ved ældre vinduer med en dårlig isolans. Dog kan også nye høje vinduer med to-lag energiruder give anledning til kuldenedfald. Kuldenedfald kan fx registreres ved nye gulv-til-loft-vinduer med to-lags energiruder. Kuldenedfald forekommer sjældent ved nye tre-lags ruder, idet isolansen for disse er meget høj.

Kuldenedfald kan modvirkes vha. en opadgående varm luftstrøm fra eksempelvis en radiator. De



Figur 9. Opholdszonen. Illustration fra Energistyrelsens eksempelsamling om energi (0,2 m er justeret til 0,6 m).

fleste nyopførte bygninger har imidlertid gulvvarme, som ofte ikke har effekt nok til at skabe en modvirkende opadgående luftstrøm. I disse tilfælde vil risikoen for kuldenedfald altså styrkes.

Trækgener er en væsentlig årsag til diskomfort i en bolig og i mange tilfælde kan en termografiopgave være startet med udgangspunkt i dette. Det er værd at huske, at personer ofte har en meget forskellig opfattelse af hvor slemt problemet er. Teoretisk set kan der ikke skabes et indeklima, som har mindre end 5% utilfredse personer.

Det er vigtigt at operatøren kan adskille træk forårsaget af kuldenedfald med træk forårsaget af utætheder, idet de to problematikker skal udbedres på forskellig vis. Kuldenedfald kan bl.a. udbedres ved at:

- Bryde den kolde luftstrøm med hylder
- Montere nye velisolerede vinduer
- Modvirke den kolde nedadgående luftstrøm med en tilsvarende (eller større) varm opadgående luftstrøm fra eksempelvis en radiator/konvektor.

Kuldenedfald kan dokumenteres ved at registrere overfladetemperaturen med termografering. Herefter skal kuldenedfaldet eftervises ved beregning. Det er som udgangspunkt ikke muligt at måle luftstrømme i forbindelse med kuldenedfald.

Den vandrette lufthastighed for kuldenedfaldet i afstanden x (afstand fra flade til punkt i opholdszonen) kan bestemmes ud fra følgende formler (Danvak, 1997):

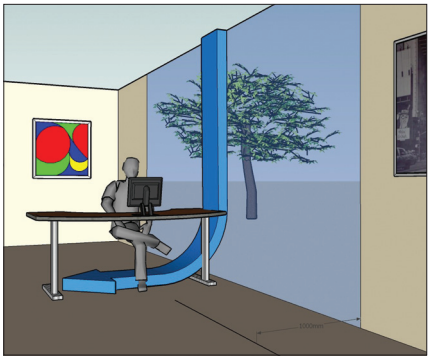
$$B_{flade} < B_{rum}: \; v_x = 0{,}134 \cdot \frac{\sqrt{h \cdot \Delta T}}{x + 2{,}04} \quad for \quad x \geq 0{,}4 \quad \left[\frac{m}{s}\right]$$

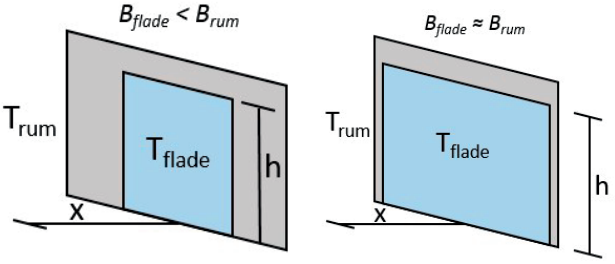
$$B_{flade} \approx B_{rum}: \; v_x = 0{,}095 \cdot \frac{\sqrt{h \cdot \Delta T}}{x + 1{,}32} \quad for \quad 0{,}4 \leq x \leq 2{,}0 \quad \left[\frac{m}{s}\right]$$

$$B_{flade} \approx B_{rum}: \; v_x = 0{,}028 \cdot \sqrt{h \cdot \Delta T} \quad for \quad x > 2{,}0 \quad \left[\frac{m}{s}\right]$$

hvor:

- B_{flade} er fladens bredde
- B_{rum} er rumbredden
- h er fladehøjden i meter
- ΔT er temperaturdifferensen mellem rum og flade i °C, $T_{rum} - T_{flade}$
- x er afstanden i meter mellem flade og punkt i rum





Figur 10.Kuldenedfald fra vindue nær glasfacade

2.6 Kolde og varme gulve

Kolde og varme gulve i opholdszonen kan føre til lokal ubehag hos de personer som befinder sig i rummet. For gulve uden gulvvarme bør gulvtemperaturen altid være højere end 19°C og mindre end 26 °C jf. indeklimaklasse A og B i DS 1752 og jf. DS 474. For konstruktioner med gulvvarme bør temperaturen altid være under 29°C.

Kolde gulve kan enten skyldes en utæthed eller en kuldebro i konstruktionen og kan bl.a. lokaliseres vha. termografering. Overfladetemperaturen af gulvet kan desuden måles med termografiudstyr og kontrolleres med overfladetemperaturfølere.

2.7 Strålingsasymmetri

Strålingsasymmetri er den maksimale temperaturdifferens mellem rummets vertikale og horisontale overflader og kan i opholdszonen føre til lokal ubehag hos de personer som befinder sig i rummet. Hvis strålingsasymmetrien, målt med termograferingsudstyr, fra to lodrette overflader (fx ydervæg eller vindue) er større end 8 °C eller for to vandrette flader (fx loft eller gulv) er mere end 5 °C, bør den eksakte temperatur måles med overfladetemperaturfølere (Sbi, kilde 1, 1983).

For at opretholde et acceptabelt komfortniveau bør temperaturdifferensen for kolde lodrette overflader ikke være højere end 10 °C og kolde vandrette flader ikke højere end 14 °C jf. indeklimaklasse A og B i DS 1752 (Dansk Standard, kilde 1, 2001). Hvis der antages, at de resterende overflader har samme overfladetemperatur som den dimensionerende rumtemperatur på 20°C, skal overfladetemperaturen altså være højere end 10 °C for ydervægge og højere end 6 °C for lofter.

Strålingsasymmetri skyldes ofte en kuldebro i konstruktionen, hvilket bl.a. kan lokaliseres og dokumenteres vha. termografering og/eller overfladetemperaturføler.

2.8 Kvalitativ og kvantitativ metode

En kvalitativ metode er, jf. DS/EN 13187, når overfladetemperaturen bestemmes vha. termografering.

En kvantitativ metode er når den kvalitative værdi (overfladetemperaturen) sammenlignes/analyseres ift. vejledende eller beregnede værdier.

Kategori	Strålingsasymmetri			
	Varmt loft	Kold væg	Koldt loft	Varm væg
A	<5°C	<10°C	<14°C	<23°C
B	<5°C	<10°C	<14°C	<23°C
C	<7°C	<13°C	<18°C	<35°C

Tabel 3. Tilladelig strålingsasymmetri. Tabel hentet fra DS 1752.

3 Generelt om termografering

Dette afsnit omfatter en beskrivelse af:

- ***Termografiudstyr***
- ***Operatør***
- ***Vejrforhold***
- ***Termografering af vinduesdetaljer***
- ***Afvigelsestyper***
- ***Måleudstyr***
- ***Rapport***

3.1 Termografiudstyr

Det er vigtigt at udstyret anvendes korrekt og matcher den givne termograferingsopgave. For at sikre korrekte målinger bør operatøren således have kendskab til følgende:

- **Opløsning.** Kameraets opløsning bør matche opgavens detaljeringsgrad. Hvis projektets detaljeringsgrad er høj bør kameraets opløsning være tilsvarende høj.
- **Skarphed/fokus.** Under termografering bør skarpheden justeres, så billedet fremstå klart og tydeligt.
- **Vidvinkel.** Der bør altid medbringes en vindvinkel-linse, således at store områder kan termograferes fra forholdsvis korte afstande.
- **Digitalbilleder.** Termografibilleder bør altid suppleres med digitalbilleder.

Figur 11. Termografiudstyr

- **Temperatur/farveskala.** For at fremhæve uregelmæssigheder i konstruktionen er det vigtigt at temperatur- og farveskalaen justeres korrekt.
- **Geografisk placering.** Nyt termografiudstyr kan lokalisere den geografiske placering af målingen vha. GPS
- **Kalibrering.** Termograferingsudstyr skal som minimum kalibreres hvert år
- **Syn- og skønssager.** Ved syn- og skønssager bør niveauet inden for ovenstående kategorier være ekstra høj.

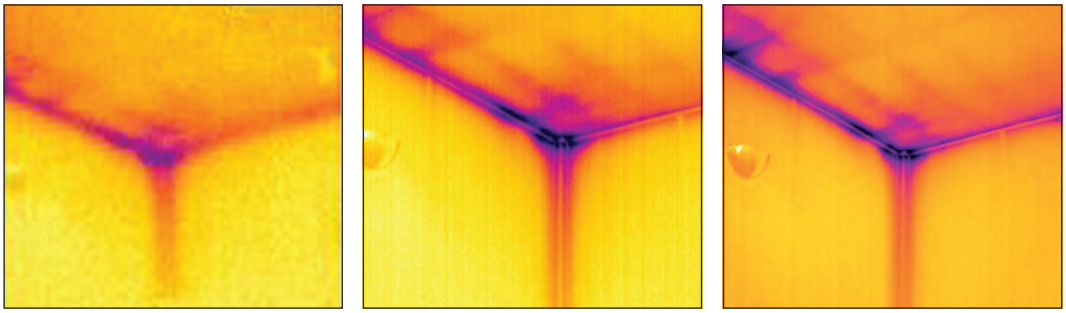
Opløsning

Den nødvendige opløsning af de termograferede objekter afhænger meget af den enkelte opgaves detaljeringsgrad. En høj opløsning gør det fx muligt at opdage temperaturvariationer i små områder, mens en lavere opløsning kun gør det muligt at opdage uregelmæssigheder/afvigelser på større områder. Tabel 4 angiver i hvilke sammenhænge de forskellige opløsninger bør anvendes:

- A: Opløsningen sikrer en god billedkvalitet, hvor det er muligt at opdage små afvigelser i konstruktionen fra lang afstand. Denne opløsning bør anvendes ved syn- og skønssager.
- B: Opløsningen defineres som professionel, men på lang afstand vil små afvigelser være svære at lokalisere. Denne opløsning bør således kun anvendes i projekter hvor det er tilstrækkeligt med termografering på kort afstand
- C: Opløsningen indikerer afvigelser i temperaturen. Denne opløsning bør så vidt muligt kun bruges til egenkontrol i en virksomhed og ikke ved rådgivningsopgaver. Opløsningen forventes inden for få år at udgå.

Opløsning	Anvendelsesmuligheder	
	Bygning	El installationer
1280 x 960	A	A
640 x 480	A	A*
320 x 240	B	B
160 x 120	C	C
80 x 60	C	C
40 x 30	C	C

Tabel 4. Anvendelsesmuligheder for termograferingskameraer med forskellige opløsninger.
* kræver DBI-godkendt operatør



Figur 12. Fra venstre: Opløsning 80 x 60, 320 x 240 og 640 x 480

Skarphed/fokus
På selve termograferingskameraet er det muligt at justere skarpheden (fokus) ift. afstanden mellem kamera og objekt. Dette er utrolig vigtigt at huske under termograferingen, idet:

- Dårlig fokus ikke kan korrigeres i efterfølgende software
- Mangel på fokus fører til uskarpe og dermed ubrugelige billeder

Vidvinkel
I nogle projekter kan det være vanskelligt, at opnå den rette afstand til objektet pga. rummets geometri, forhindringer eller lignende. Ved at anvende vidvinkel er det muligt at komme tættere på objektet og opnå samme resultat, som ved større afstand uden vidvinkel. Det anbefales at operatøren altid har en vidvinkel-linse med når der udføres bygningstermografi.

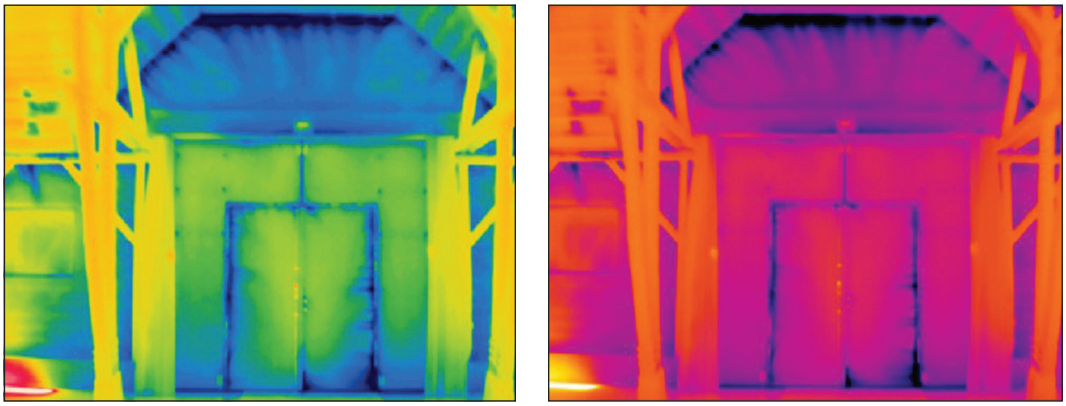
Digitalbilleder
Det kan i nogle tilfælde være vanskelligt at bedømme hvilket motiv der er termograferet, hvorfor det anses som fagligt korrekt at supplere med digitalbilleder af det termograferede objekt. Mange termograferingskameraer kan tage digitale billeder samtidig med termograferingen, men hvis dette ikke er muligt, kan der fx anvendes et almindeligt digitalkamera. Under forhold med dårligt lys, kan det evt. være nødvendigt at medbringe et digitalkamera med blitz, idet kun de færreste termograferingskameraer har indbygget lys.

Temperatur/farve skala

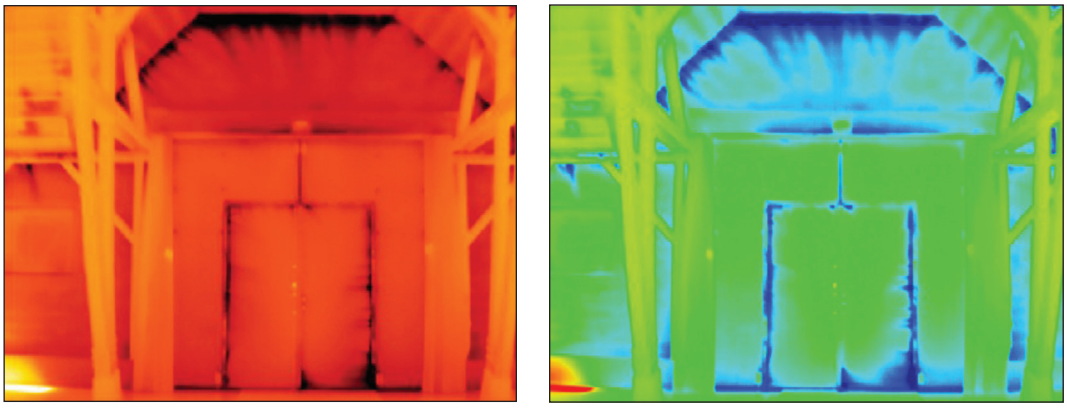
På et termografibillede indikerer hver farve en given overfladetemperatur (lyse farver angiver ofte varme flader, mens mørke farver angiver kolde flader). For at fremhæve kuldebroer og utætheder er det på termograferingskameraet, eller i efterfølgende software, muligt at ændre denne farveskala ved at øge den maksimale temperatur, sænke minimumstemperaturen eller anvende en anden farvepalet. Hvis temperaturdifferensen på skalaen ikke justeres korrekt, kan det øge risikoen for at fremhæve fejl, som ikke er til stede, idet små temperaturvariationer således kan fremstå meget ekstreme. Det anbefales derfor, at det termograferede objekt både omfatter den laveste og højeste temperatur på skalaen (Byg-erfa, kilde 1, 2011).

Figur 14 - 17 illustrerer anvendelsen af forskellige farvepaletter. Det termograferede objekt fremgår af figur 13.

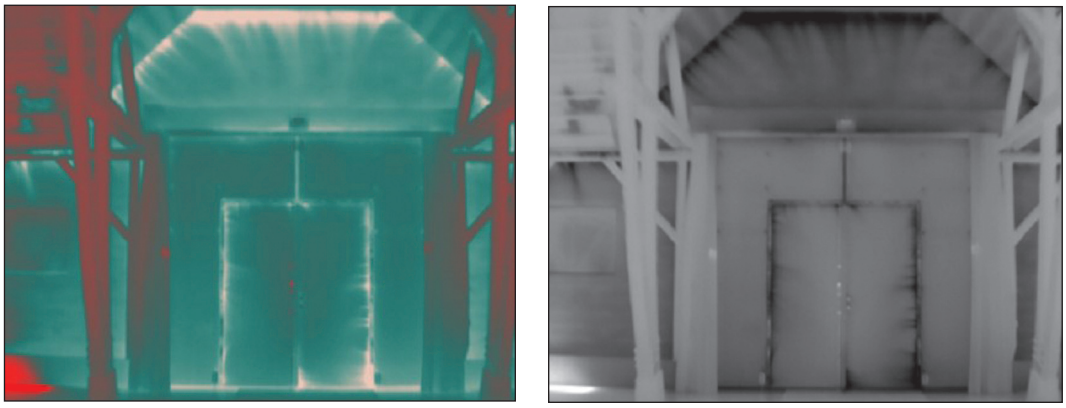
Figur 13. Fra venstre: "Opsætning i software" og "Digitalbillede af det termograferede objekt"



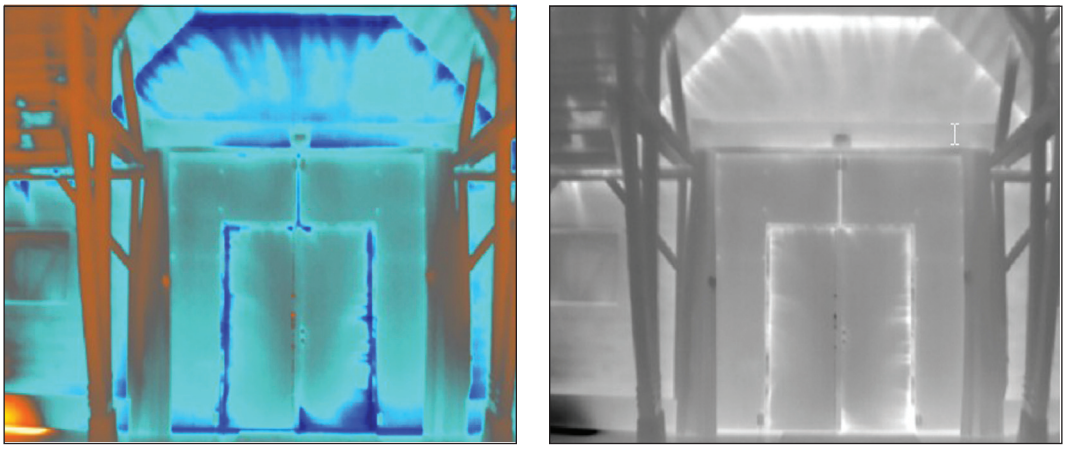
Figur 14. Fra venstre: Farveskala "Rain900 (Rainbow)" og "Iron"



Figur 15. Fra venstre: Farveskala "Glowbow" og "Midgreen"



Figur 16. Fra venstre: Farveskala "Greyred" og "Grey"

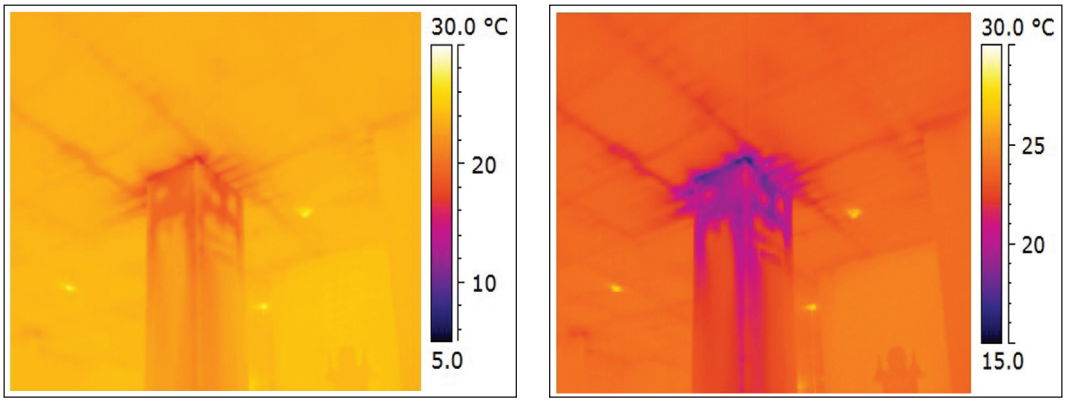


Figur 17. Fra venstre: Farveskala "Midgrey" og "InvertedGrey"

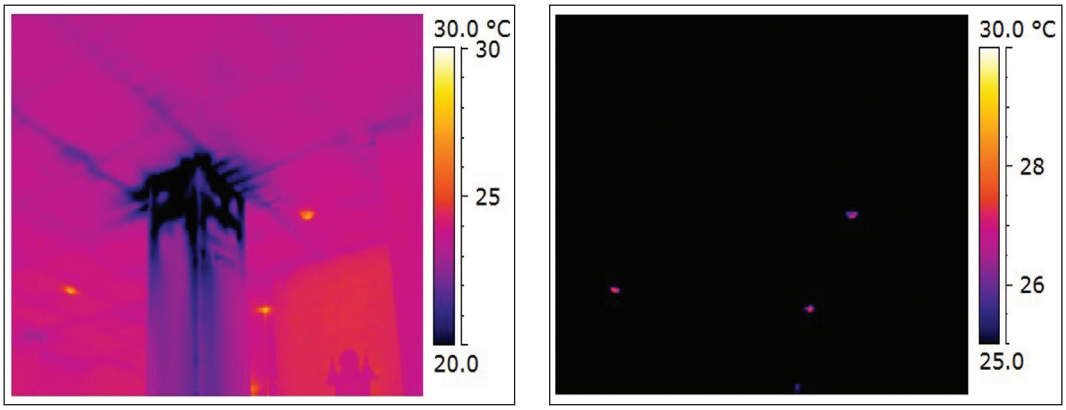
Det er op til operatøren selv, at vælge hvilken farvepalet der er mest velegnet til, at præsentere de afvigelser der skal dokumenteres i rapporten.

Figur 18 - 21 illustrerer en konstruktion med en afvigelse i form af en luftlækage/utæthed ved konstruktionens tæthedsplan. Billederne illustrerer hvor vigtigt det er, at vælge den rette farvepalet og temperaturskala.

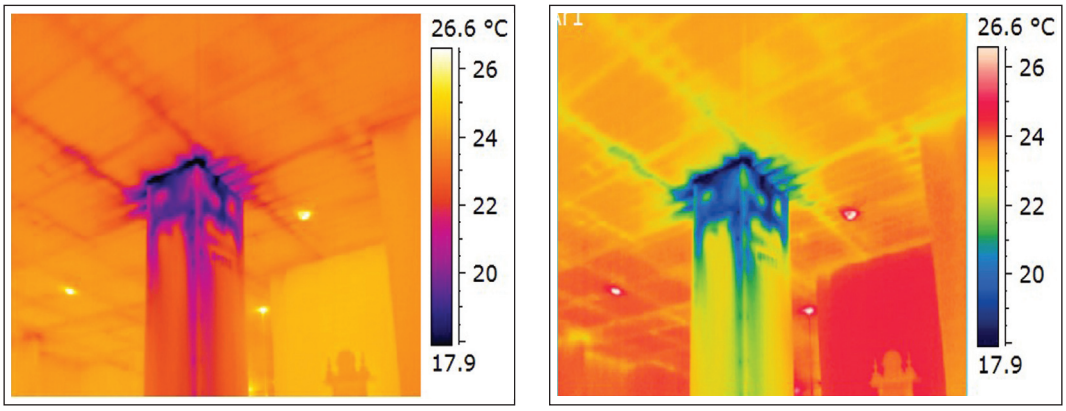
Figur 18. Digitalbillede af det termograferede objekt



Figur 19. Farveskala Iron. Fra venstre: "5-30°C" og "15-30°C"



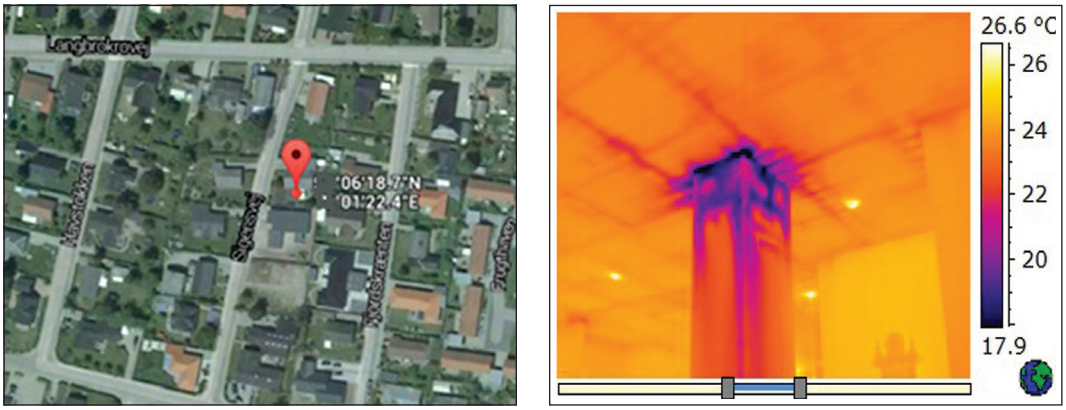
Figur 20. Farveskala Iron. Fra venstre: "20-30°C" og "25-30°C"



Figur 21. Fra venstre: "Farveskala Iron og temperaturskala 17,9-26,6°C" og "Farveskala Rain900 og temperaturskala 17,9-26,6°C"

Geografisk placering

Det nyeste termograferingsudstyr kan vha. GPS automatisk registre hvor hvert termograferings-billede er taget. En globus i termografiets hjørne indikerer at termografiet indeholder GPS-data (se nedenstående figur).



Figur 22. GPS-data for termografi

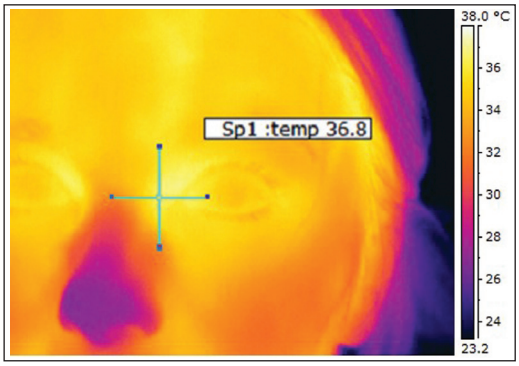
Kalibrering af udstyr

Som udgangspunkt skal et varmekamera kalibreres 1 gang om året, i henhold til leverandørens anvisninger.

Kameraet kan også efterkontrolleres ud fra følgende to metoder, som begge udføres ved at der foretages en hurtig temperaturkontrol af kameraet:

- Metode 1: Denne metode er almindeligt anerkendt i termografibranchen og kan enten udføres ved at måle temperaturen af kogende vand eller isvand, hvor beholderen er malet med sort maling med en emissivitet tæt på 1.
- Metode 2: En anden metode er at måle temperaturen lige ved øjenhulen. For almindeligt raske personer skal temperaturen være mellem 36-37 °C (figur 23). Fordelen ved denne metode er, at kontrollen bliver udført i et temperaturområde, som er tæt på temperaturområdet for bygningstermografering.

Disse kontroller kan imidlertid ikke gøre det ud for en egentlig kalibrering.



Figur 23. Temperatur ved Øjenhule

Syn- og skønssager

For at sikre et professionelt niveau og præcise resultater i syn- og skønssager anbefales det, at virksomheden:

- anvender termografiudstyr med termisk opløsning på minimum 640 x 480 pixel (uden interpolering)
- har et godkendt kvalitetssikringssystem som angivet i ISO-9001:2008 eller tilsvarende
- kan foreligge et certifikat, som efterviser at kameraet har gennemgået et årligt kalibreringscheck. Dette sikrer, at kameraet overholder producentens specifikationer ift. temperaturnøjagtighed. Kalibreringsreferencen skal desuden være sporbar og på certifikatet skal mållinjenøjagtigheden være angivet. Hvis der anvendes flere linser skal mållinjenøjagtigheden for hver linse fremgå af certifikatet.

3.2 Operatør

Inden for termografering findes der flere forskellige uddannelser og kurser, udbudt af hhv. termografiudstyrsproducenter samt andre private virksomheder. Der er ingen krav til, at operatøren skal have bestået eller deltaget i bestemte uddannelser eller kurser, men det anbefales dog at operatøren:

- har en god byggeteknisk viden
- har deltaget i anerkendte kurser
- som minimum er uddannet Level 1jf. ISO 18434
- er fortrolig med kameraets funktioner, muligheder og begrænsninger

Level 1 jf. ISO 18434 dikterer, at operatøren må udføre industrielle termografiske målinger og har kendskab til grundlæggende IR-termografi iht. etablerede og anerkendte procedurer. På niveau 1 skal operatøren desuden kunne dokumentere, at have:

1. Gennemgået mindst 40 timers samlet uddannelse i et godkendt program og bestået eksamen med mindst 75% rigtige svar.
2. Arbejdet i mindst 12 måneder som aktiv operatør
3. Mindst 400 timers kumulativ erfaring i termografi.

Inden for bygningstermografering kan supplerende kurser findes under itc Infrared Traning Center som kører et globalt dækkende uddannelseskoncept:

- Level 1 som ovenstående
- Level 2
- Level 3
- Bygningstermografering

Brancheforeningen Klimaskærm udbyder ligeledes forskellige suppleringskurser alt efter udbud og efterspørgsel. De respektive forhandlere af varmekameraer udbyder også forskellige betjeningskurser og bygningstermografikurser, men disse har imidlertid ikke altid fokus på dansk byggeteknik og lovgivning.

3.3 Vejrforhold

Ved bygningstermografering er det vigtigt, at vejrforholdende ikke har indflydelse på resultatet. Operatøren bør således være opmærksom på følgende:

- **Temperaturdifferens mellem ude og inde**. Der skal være den rette temperaturdifferens mellem ude og inde før der kan termograferes.
- **Vind.** Trykforskellen mellem inde og ude skal overholde kravene.
- **Solskin.** Bygningstermografi bør altid foretage i overskyet vejr.
- **Regn og sne.** Konstruktioner skal som udgangspunkt være tørre inden og under termografering.

Temperaturdifferens mellem ude og inde

For at fremhæve kuldebroer og utætheder i konstruktionen er det en fordel at temperaturdifferensen mellem ude og inde er så stor som muligt. Hvis udetemperaturen ikke er kold nok, er det evt. muligt at hæve indetemperaturen for at opnå den ønskede temperaturdifferens, men i så fald er det vigtigt at gøre det i god tid inden målingen foretages. Tabel 5 illustrerer anbefalede minimums temperaturdifferenser.

Vind

Vind påvirker den samlede trykforskel mellem ude og inde, hvilket har indflydelse på varmetransporten gennem bygningens utætheder. Det anbefales derfor at operatøren:

- Måler trykforskellen over klimaskærmen inden termograferingen påbegyndes og kontrollerer resultatet ift. kravene for hhv. kuldebroer og utætheder (se afsnit 4 og 5)
- Er opmærksom på om vindforholdende ændrer sig markant under termograferingen

Bygningstype	**Minimum temperaturdifferens mellem ude og inde**	
	Kuldebroer	**Utætheder**
Nye velisolerede bygninger (efter ca. år 2000)	15 °C	10 °C
Ældre bygninger (før ca. år 2000)	10 °C	6 °C

Tabel 5. Anbefalede minimums temperaturdifferenser

Solskin
Hvis den termograferede konstruktion udsættes for solpåvirkning, vil den udvendige overflade blive opvarmet og målingen vil fremstå upræcis. Bygningstermografi bør derfor altid udføres i overskyet vejr og gerne mindst et halvt døgn efter konstruktionen har været udsat for solpåvirkning (Dansk Standard, kilde 2, 1999).

Regn og sne
Regn og sne har den modsatte effekt af solskin og kan dermed være med til at sænke temperaturen af klimaskærmens udvendige overflade. Regn og sne kan dermed også føre til upræcise målinger, hvorfor konstruktioner altid bør være tørre når de termograferes. Udføres termograferingen inde fra (fagligt mest korrekt), vil mindre regn og snebyer imidlertid ikke have betydelig indflydelse på resultaterne.

3.4 Termografering af vinduesdetaljer
Til forskel fra termografering af plane flader som ydervægge, lofter og gulve, er termografering af vinduesdetaljer (ramme/karm-konstruktion og rude) ikke så ligetil.

Ramme/karm-konstruktion
Der vil altid forekomme variationer i udstrålingen fra ramme/karm-konstruktionen, idet denne er en inhomogen konstruktion sammensat af forskellige materialer (især oplukkelige vinduer med beslag, samlinger m.m.). Ved analyse af termograferingsresultater er det derfor vigtigt, at kunne skelne mellem normale variationer og variationer forårsaget af fejl i konstruktionen.

Følgende liste beskriver de områder som kan forårsage naturlige variationer i ramme/karm-konstruktionen:

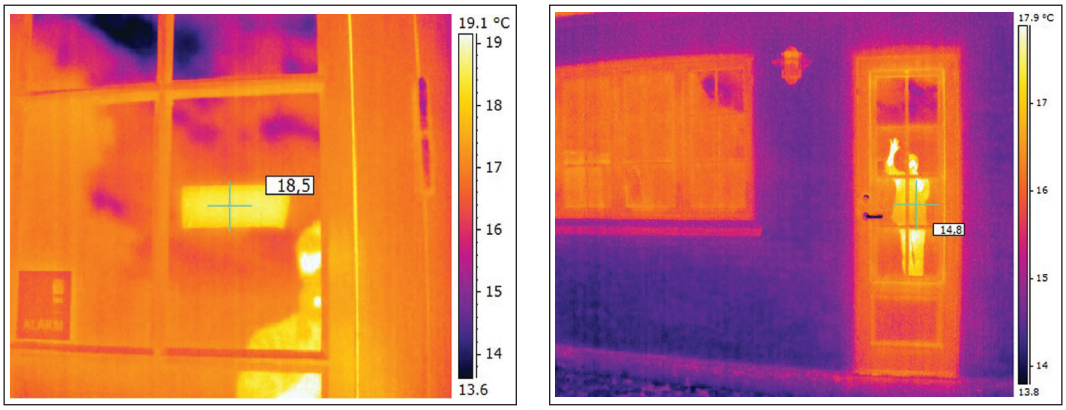
- Materialeovergange
- Randzone (rudekant)
- Beslag (synlige og skjulte)
- Hjørnesamlinger
- Friskluftventiler
- Tilbagetrukne fuger, fordybninger og noter
- Vinduesnicher
- Overfladers forskellige emissivitet

Følgende liste beskriver de områder som kan forårsage fejlrelaterede variationer:

- Manglende isolering i indbygninger/lysninger
- Manglende tæthed mellem dampspærre og vindue/lysningspanel
- Utætte samlinger mellem materialerne i ramme/karm-konstruktionen
- Udtjente vinduer med nedbrudte samlinger
- Manglende eller udtjente tætningslister
- Mangelfuld justering (af vinduer med dårligt anslag til tætningsliste og utæthed til følge)

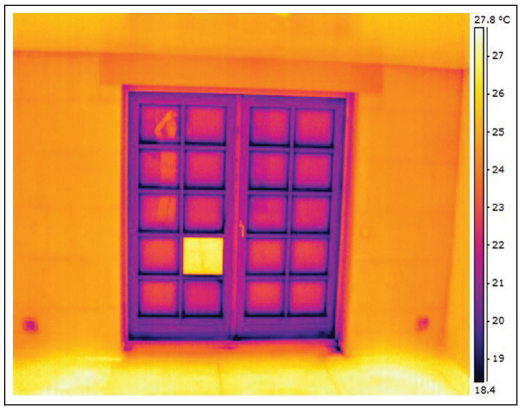
Rude
En rude kan opbygges på mange forskellige måder alt efter rudens fremstillingsår og formålet med ruden (fx har varmeisolerende ruder, solafskærmende ruder og lydisolerende ruder alle forskellige egenskaber). Det reflekterede, transmitterede og emitterede bidrag varierer således meget fra rude til rude. For at bestemme overfladetemperaturen af ruden vha. termografering bør der således altid anvendes tape med kendt emissivitet.

Figur 24 illustrerer en glasdør, termograferet udefra, hvor overfladetemperaturen i billedet til venstre er bestemt vha. tape, mens overfladetemperaturen i billedet til højre er bestemt vha. korrektion ift. termografens refleksion i glasset. Figuren illustrer således kompleksiteten ved termografering af ruder, idet overfladetemperaturen på billedet til venstre er 18,5 °C, mens temperaturen på billedet til højre er 14,8 °C. Billedet illustrerer desuden hvor store spejlinger glas kan medføre, idet operatøren ses meget tydeligt på begge billeder.



Figur 24. Fra venstre: "overfladetemperatur ved anvendelse af tape" og "Overfladetemperatur ved anvendelse af korrektion"

Figur 25 illustrerer en glasdør, termograferet inde fra, hvor den ene rude er erstattet med en energirude. På billedet er energiruden angivet som værende meget varmere end de resterende ruder (ca. 10°C), selvom der i realiteten kun burde være en mindre temperaturforskel. I dette tilfælde skyldes variationen, at energiruden reflekterer varmestrålingen meget bedre end de resterende ruder. På billedet er det altså gulvets temperatur som reflekteres i energiruden.



Figur 25. Energirude.

3.5 Afvigelsestyper

Afvigelser i konstruktionen kan enten forekomme som kuldebroer eller som utætheder. Ofte blandes de to afvigelsestyper sammen, men realiteten er, at de to begreber dækker over to vidt forskellige ting. Som operatør er det derfor vigtigt, at kunne adskille de to afvigelsestyper fra hinanden så der ikke opstår fejl og misforståelser.

Kuldebroer er relateret til konstruktionens evne til at modstå varmeledning, mens utætheder er relateret til konstruktionens evne til at modstå konvektiv luftstrømning gennem konstruktionen. Se afsnit 4 for en detaljeret beskrivelse af kuldebroer.

Se afsnit 5 for en detaljeret beskrivelse af utætheder.

Se appendiks D for andre anvendelsesmuligheder inden for termografering:

- D.1 Gulvvarmeslanger
- D.2 Utætheder i varmeslanger eller varmerør
- D.3 Elinstallationer
- D.4 Anlæg
- D.5 Skadedyr
- D.6 Fugt

3.6 Måleudstyr

Hvis en termografering indikerer at der en uregelmæssighed i konstruktionen i form af en kuldebro eller en utæthed, bør der udføres yderligere målinger, besigtigelser m.m. af konstruktionen. Nyttigt måleudstyr i forbindelse med termografering kan være:

- **Trykprøvning**. Anvendes ofte i forbindelse med termografering af utætheder.
- **Røgpatroner**. Anvendes bl.a. til at lokalisere utætheder.
- **Overfladetemperaturføler**. Anvendes til at dokumentere overfladetemperaturen
- **Lufthastighedsmåler/-varmetråds-anemometer**. Anvendes til at måle lufthastigheden ved og omkring utætheder.
- **Fotoudstyr**. Anvendes enten hvis termografiudstyret ikke er i stand til at tage digitalbilleder eller ved dårlige lysforhold hvor der er brug for blitz.
- **Endoskop/teknoskop**. Anvendes til at undersøge meget små og ikke tilgængelige hulrum i konstruktionen. Dette udstyr kan bl.a. anvendes til at dokumentere manglende isolering i klimaskærmen.
- **Boremaskine**. Anvendes til at bore et hul i konstruktionen i forbindelse med besigtigelse af konstruktionen vha. et endoskop.
- **Laserafstandsmåler/tommestok**. Anvendes bl.a. til opmåling af uregelmæssighedens omfang
- **Fugtmåler**. Anvendes til at dokumentere fugtindholdet i konstruktionen og til at eftervise problemer med fugt eller skimmelsvamp
- **Emissivitetstape**. Anvendes bl.a. i forbindelse med termografering af flader med ukendt emissivitet
- **Reflektor (sølvpapir)**. Anvendes til at bestemme det reflekterede bidrag
- **El-varmeblæser**. Anvendes til måling af emissivitet, hvor objektet skal opvarmes til min. 20°C mere end omgivelserne.

3.7 Rapport

Til dokumentation af måleresultater og analyser fra termograferingen skal der udarbejdes en forståelig og fyldestgørende rapport, så der ikke opstår misforståelser mellem de involverede parter. Af appendiks C fremgår en rapportskabelon, som kan anvendes i forbindelse med termografering.

De områder som rapporten som udgangspunkt skal indeholde er:

- Generelle oplysninger
- Bygningsforhold
- Vejrforhold
- Konstruktionsoplysninger for termograferet bygningsdetalje
- Måleresultater
- Analyse/konklusion

Generelle oplysninger

I rapporten bør følgende generelle oplysninger beskrives:

- Kundens kontaktoplysninger (Firma, ID-nummer, navn, adresse, postnummer)
- Navn på person(er) som har udarbejdet undersøgelsen og rapporten
- Beskrivelse af test med henvisning til DS/EN 13187
- Angivelse af, at målingen er udført med et IR kamera inkl. modeltype og serienummer
- Reference til operatørens uddannelse i form af certifikat, udsteder og certifikat nummer
- Kort beskrivelse af opgavens omfang
- Specifikation af det anvendte termograferingsudstyr (model, serienummer m.m.)
- Dato for udførelse af rapport og underskrift

Bygningsforhold
I rapporten bør følgende bygningsforhold beskrives:

- Adresse
- Kort beskrivelse af bygning ud fra bl.a. tegningsmateriale (fx opførelsesår, areal, antal plan og placering)
- Orientering af bygning inkl. kort beskrivelse af omgivelser
- Illustration af bygning med angivelse af placering for de termograferede konstruktioner

Vejrforhold under og inden måling
I rapporten bør følgende vejrforhold beskrives:

- Maksimum og minimum udvendig temperatur (24 timer inden måling og under måling)
- Oplysninger om solforhold under og 12 timer inden måling
- Oplysninger om nedbør og vindforhold (vindretning og hastighed)
- Indendørs rumtemperatur
- Indvendig og udvendig relativ fugtighed
- Dugpunktstemperatur
- Trykforskel over klimaskærmen for bygningens læside og vindside

Konstruktionsoplysninger for termograferet bygningsdetalje
I rapporten skal hver termograferet bygningsdetalje beskrives. Beskrivelsen bør omfatte:

- En beskrivelse af materiale/overfladetyper samt dertilhørende emissivitet
- Dato og klokkeslæt for termografering
- Angivelse af bygningsdetaljens placering i bygningen
- Angivelse af kameraets placering ift. bygningsdetaljen
- Angivelse af trykdifferens mellem ude og inde
- Andre betydelige faktorer som kan have indflydelse på resultatet

Måleresultater
Rapporten bør indeholder følgende måleresultater for hver bygningsdetalje:

- Termografi inkl. digitalbillede af og kommentarer til detaljen
- Angivelse af laveste og højeste temperatur på billedet samt temperaturdifferens
- Evt. beskrivelse af supplerende målinger og undersøgelser (fx fugt- eller lufthastighedsmålinger)

Analyse og konklusion
Afslutningsvis skal rapporten indeholde en analyse af resultaterne samt en konklusion, som beskriver forbedringsmuligheder. Analysen bør overordnet indeholde en beskrivelse af:

- Markante afvigelser ift. krav og anbefalinger
- Uregelmæssighedens type
- Fejlens størrelse/omfang (konsekvenser)
- Udbedringsforslag

4 Kuldebroer

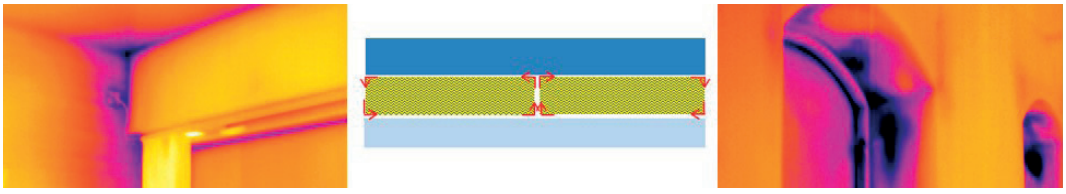
Dette afsnit omfatter en beskrivelse af kuldebroer i forbindelse med bygningstermografi og omhandler:

- **Kuldebrostyper.** En beskrivelse af hvilke kuldebrostyper der eksisterer.
- **Betingelser.** En kort beskrivelse af de betingelser der bør overholdes i forbindelse med bygningstermografering.
- **Udførelse.** En beskrivelse af hvordan termograferingen bør udføres.
- **Analyse.** En beskrivelse af hvorledes resultaterne fra termograferingen analyseres.
- **Rapport.** En vejledning til hvordan rapporten udarbejdes.
- **Eksempler.** Termograferingseksempler og beregningseksempler

4.1 Kuldebrostyper

En kuldebro kan defineres som et område i konstruktionen, hvor kulden har særlig let ved at trænge igennem. Kuldebroer kan overordnet inddeles i:

- **Konvektive kuldebroer** forårsaget af huller i isoleringslaget
- **Konstruktionsbetingede kuldebroer**, som opstår når isoleringslaget gennembrydes af en anden konstruktion
- **Geometriske kuldebroer** forårsaget af bygningens geometri
- **Fejlrelaterede kuldebroer** forårsaget af fejl eller mangler i konstruktionen



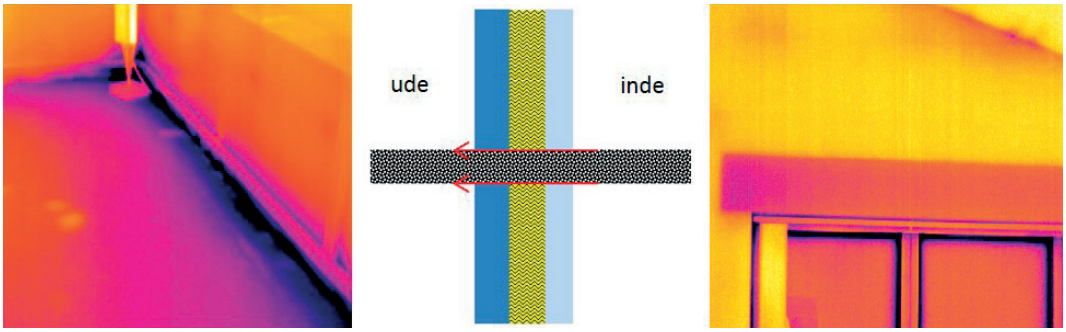
Figur 26. Konvektiv kuldebro.

Konvektive kuldebroer

En konvektiv kuldebro er når der opstår huller i isoleringslaget, som medfører utilsigtede luftstrømninger i konstruktionen. Konvektive kuldebroer kan forekomme når der opstår luftstrømninger:

- Gennem en spalte i isoleringen
- Gennem selve isoleringslaget
- Fra rumluften og ud i konstruktionen

Figur 26 illustrer en samlingsdetalje mellem tag og ydervæg (gavl), hvor der er opstået en konvektiv kuldebro, fordi isoleringen ikke ligger tæt nok ind til bagmuren. Dette skaber således luftstrømninger mellem gavl og isolering samt i forskallingslaget.



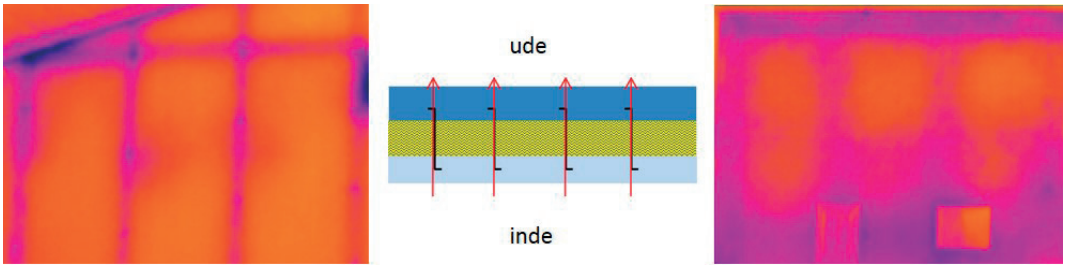
Figur 27. Konstruktionsbetinget kuldebroer.

Konstruktionsbetingede kuldebroer

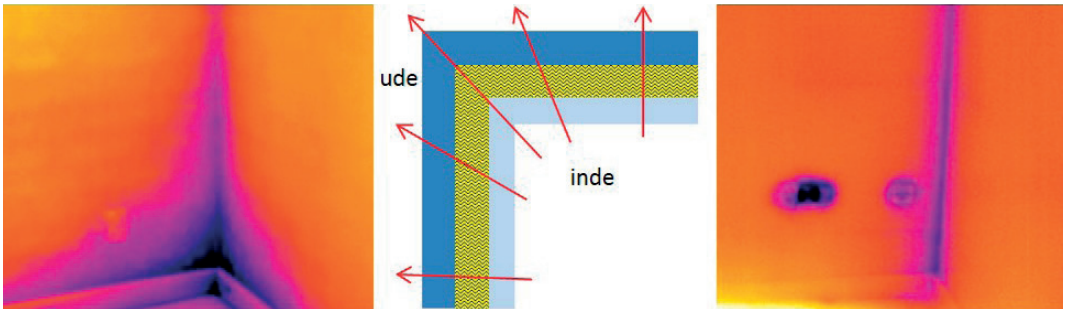
En konstruktionsbetinget kuldebro er når konstruktionen og dermed isoleringslaget gennembrydes af en anden konstruktion. Konstruktionsbetingede kuldebroer er generelt svære at undgå, idet de opstår pga. bygningens udformning. Konstruktive kuldebroer kan forekomme:

- Når bærende konstruktioner mødes (fx samling mellem etagedæk og ydervæg)
- Når konstruktioner gennembrydes eller delvist gennembrydes (fx huller til døre, vinduer, installationer m.m.)
- Ved systematisk gentagelse af elementer – systematisk kuldebro (fx murbindere, træskelet, stålskelet, lægter m.m.)

Figur 27 Figur illustrer en ydervægsopbygning med konstruktive kuldebroer forårsaget af den bærende trækonstruktion i isoleringslaget (systematisk kuldebro).



Figur 28. Konstruktionsbetinget kuldebro - systematisk gentagelse



Figur 29. Geometrisk kuldebro.

Geometriske kuldebroer

En geometrisk kuldebro forårsages af bygningens geometri og opstår bl.a. ved udadgående hjørner hvor den udvendige overflade er større end den indvendige overflade (figur 29). Som konstruktionsbetingede kuldebroer er geometriske kuldebroer også umulige at undgå og skyldes således ingen fejl i konstruktionen.

Figur 30. Fejlrelaterede kuldebroer.

Fejlrelaterede kuldebroer

En fejlrelateret kuldebro kan enten skyldes en projekteringsfejl eller at konstruktionen ikke er udført som angivet på tegningsmaterialet (fx pga. fejl under opførelse af bygningen eller i fremstillingen af den enkelte bygningskomponent). Fejlerelaterede kuldebroer skyldes ofte manglende isolering.

Figur 30 illustrer to loftkonstruktioner og en ydervæg med manglende isolering.

4.2 Betingelser

For at sikre brugbare målinger bør operatøren, før termograferingen påbegyndes, forholde sig til følgende områder:

- ***Vejrforhold og omgivelser***
- ***Udstyr og operatøruddannelse***

Vejrforhold og omgivelser

Før termograferingen påbegyndes er det vigtigt at kontrollere om vejrforholdene og de omkringliggende omgivelser lever op til de vejledende værdier angivet i tabel 6.

	DS/EN 13187	Vejledning/forklaring
1	Udetemperaturen må ikke have varieret mere end 10 °C inden for de seneste 24 timer.	Termografering bør altid foretages under statiske forhold.
2	Temperaturdifferensen mellem ude og inde må ikke have varieret mere end den laveste værdi af 5 °C og den numeriske værdi af 3/U-værdien inden for de seneste 24 timer.	Termografering bør altid foretages under statiske forhold. Ved nyere bygninger er det altid 5 °C som er det gældende krav. Hvis et rum uden varme pludselig tilføres varme, vil især tunge konstruktioner tage tid om at indregulere sig ift. den nye rumtemperatur. Overfladetemperaturen for disse konstruktioner vil således fremstå urealistisk kolde det første stykke tid. Det er derfor vigtigt at temperaturdifferensen ikke har varieret for meget før termograferingen påbegyndes.
3	Der skal som minimum være en temperaturdifferens mellem ude og inde på 10 °C	Ved nye højtisolerede bygninger opført efter år 2000 er 10 °C ikke nok. Ved disse bør der som minimum være en temperaturdifferens på 15 °C. Den ønskede temperaturdifferens opnås ofte i perioden fra og med oktober til og med april/maj. Temperaturdifferensen kan alternativt opnås ved at øge indetemperaturen.
4	Den termograferede konstruktion må ikke udsættes for regn, sne eller solskin inden eller under termograferingen. Hvis konstruktionen har været udsæt for regn, sne eller solskin skal der ca. gå 12 timer inden den må termograferes. Hvis konstruktionen termograferes indefra vil en smule regn eller sne imidlertid ikke have indflydelse på resultatet.	Opfugtede konstruktionsdele vil når fordampning starter, få en køling der kan resultere i forkerte konklusioner.
5	Forstyrrende elementer, som kan påvirke resultatet, skal være fjernet eller slukket inden termograferingen påbegyndes (fx fjernsyn, sofaer, reoler, ventilation m.m.)	Ved sager hvor der ikke er blevet taget højde for dette, er det bedre at lade de forstyrrende elementer stå end at fjerne dem. Dette skal blot noteres i rapporten.
6	Under termograferingen må udetemperaturen ikke variere mere end ± 5 °C og inde temperaturen må ikke variere mere end ± 2 °C	Termografering bør altid foretages under statiske forhold.
7	Der må ikke være en trykforskel over konstruktionen på mere end 5 Pa under termograferingen.	Jo tættere trykforskellen er på 0, jo mere veldefineret bliver registreringerne. 5 Pa svarer nogenlunde til at bygningen påvirkes med vind på 6 m/s.

Tabel 6. Vejrforhold og omgivelser

Udstyr og operatøruddannelse
Inden termograferingsopgaven påbegyndes bør operatøren være opmærksom på følgende:

- Operatøren bør medbringe termografiudstyr som matcher den enkelte opgaves detaljeringsgrad
- Operatøren skal have en uddannelse der matcher den enkelte opgaves detaljeringsgrad

Se afsnit 3 for mere information omkring ovenstående emner.

4.3 Udførelse

Varmestrømmen i en konstruktion går altid fra varm mod kold, idet systemet altid prøver at opnå balance ved at udligne energiforholdene på hver side af konstruktionen. I de måneder hvor der som oftest udføres termografering (november - april) er der koldere udenfor end indenfor, hvorfor varmestrømmen derfor vil gå fra inde mod ude.

Varmestrømmen kan foregå som:

- Varmeledning. Varme fra fast materiale til fast materiale.
- Konvektion. Varme fra fast materiale til luft eller fra luft til fast materiale

Med termografiudstyr er det udelukkende muligt at bestemme overfladetemperaturen af det materiale kameraet rettes mod (på nær PE-folie). Konstruktioner med ventilerede hulrum, hvor der opstå konvektion inde i konstruktionen, vil således ikke kunne termograferes udefra, idet varmestrømmen afbrydes og bortventileres før den når overfladen. I sådanne tilfælde vil der altså være stor risiko for fejlanalyse, idet den målte overfladetemperatur ikke vil matche konstruktionens egentlige isoleringsevne. Termografering bør derfor altid foretages indefra og udvendig termografering bør kun anvendes som supplement til de indvendige termograferinger.

For at sikre gode målingsresultater er det vigtigt at operatøren forholder sig til følgende områder:

- ***Praktiske forhold***
- ***Målinger***
- ***Korrektion af værdier***
- ***Udførelsen***
- ***Måleudstyr***

Praktiske forhold
Før termograferingen påbegyndes kan det være nyttigt at notere følgende praktiske forhold:

- Dato og klokkeslæt for termografering
- Er termograferingen foretaget inde eller ude?
- Er termograferingen foretaget i læ- eller vindside?
- Vejrforhold (sol, vindretning, vindhastighed og nedbør)
- Påvirkning fra omgivelser (fx fladskærms tv på væg eller lignende)
- Beskrivelseafdentermograferedekonstruktion (fx let eller tung konstruktion samt placering af vind- og dampspær)
- Den termograferede bygningsdetaljes placering (fx markering på plantegning over bygning)
- Orientering af bygningsdetalje
- Tilgængelighed (er bygningsdetaljen til at komme til?)
- Personer til stede under termografering
- Andre betydelige faktorer

Målinger
Inden eller efter termograferingen kan det være nyttigt at måle og notere følgende forhold:

- Trykforskel over klimaskærmen i Pa vha. en trykdifferensmåler
- Emissiviteter og beskrivelser af de termograferede overflader (afsnit 2.2)
- Reflekterede temperaturer (afsnit 2.2)
- Udendørs lufttemperatur (gennemsnit af 2 målinger foretaget 3-5 m fra facaden uden påvirkning fra sol)
- Udendørs relativ fugtighed (gennemsnit af 2 målinger foretaget 3-5 m fra facaden uden påvirkning fra sol)

- Indendørs lufttemperatur (gennemsnit af 2 målinger foretaget midt i rummet uden påvirkning fra sol, radiatorer m.m.)
- Indendørs relativ fugtighed (gennemsnit af 2 målinger foretaget midt i rummet uden påvirkning fra sol, radiatorer m.m.)
- Dugpunktstemperatur

Temperaturer måles med en maksimal usikkerhed på 2°C. Hvis rumtemperaturen afviger mere end 2°5°C anbefales det, at måle temperaturen i hvert rum og anvende gennemsnittemperaturen. Vær opmærksom på at udetemperaturen kan variere under målingen.

Korrektion af værdier

For at opnå præcise resultater er det vigtigt at korrigere den termograferede måling ift. de givne omgivelser. Dette kan ofte gøres i kameraets indstillinger eller efterfølgende i tilhørende software.

Der bør korrigeres i forhold til:

- Overfladens emissivitet
- Reflekterede temperaturer
- Relativ fugtighed

Se afsnit 2.2 for yderlige beskrivelse af korrektion ift. emissivitet og reflektans.

Ved afstande over 10 m bør der også korrigeres i forhold til:

- Afstand til objektet
- Rumtemperaturen

Udførelsen

Under termograferingen er det vigtigt, at operatøren er opmærksom på følgende:

- Stil skarpt, så bygningsdetaljen fremgår klart og tydeligt
- Tag et digitalbillede af bygningsdetaljen samtidig med det termograferede billede (husk blitz eller lys hvis lysforholdende er dårlige)
- Vælg den rette farve- og temperaturskala, så kuldebroen fremstår tydeligt (kan også gøres i efterfølgende software)
- Vær opmærksom på at vinduesdetaljer kan være særligt vanskellige at termografere

Se afsnit 3 for mere information omkring ovenstående emner.

Måleudstyr

Til dokumentation af kuldebroer kan termografering bl.a. kombineres med følgende måleudstyr:

- Endoskop og boremaskine
- Laserafstandsmåler/tommestok
- Fugtmåler
- Emissivitetstape
- Reflektor (sølvpapir)
- El-varmeblæser
- Overfladetemperaturføler

Se afsnit 3.6 for yderlige beskrivelse af måleudstyr.

4.4 Analyse

Resultatet fra termograferingen kan analyseres ud fra følgende vejledning:

1. Vurder termografibilledet:
   - Er der temperaturmæssige afvigelser som springer i øjnene?
   - Er der tale om en kuldebro?
2. Hvis ja, bestem dernæst omfanget af kuldebroen:
   - Hvad er kuldebroens laveste overfladetemperatur?
   - Hvor stor er kuldebroens samlede overfladeareal?
   - Hvilken kuldebrostype er der tale om?
   - Hvad skyldes kuldebroen (fx manglende isolering)?
   - Udfør evt. en undersøgelse med endoskop for at kunne bestemme kilden til kuldebroen
3. Vurder om der skal suppleres med yderligere målinger. Det kunne bl.a. være måling af:
   - Overfladetemperatur vha. en overfladetemperaturføler
   - Fugtindhold vha. en fugtmåler

4. Vurder om overfladetemperaturen giver anledning til **indeklimaproblemer**
5. Bestem de **årlige meromkostninger** til varme forårsaget af kuldebroen
6. Kom med anbefalinger til udbedringsforslag

Indeklimaproblemer

Ved nybyggeri kan kuldebroer, ifølge Bygningsreglementet (BR10), accepteres hvis overfladetemperaturen er så høj, at der ikke opstår indeklimaproblemer.

Kuldebroer kan primært føre til følgende indeklimaproblemer:

- Skimmelvækst
- Kondensdannelse
- Kolde gulve
- Strålingsasymmetri
- Kuldenedfald

For at be- eller afkræfte om en kuldebro kan give anledning til en af ovenstående indeklimaproblemer kan overfladetemperaturen fra termograferingen, og eventuelle supplerende målinger, sammenlignes med de vejledende minimumsværdier for overfladetemperaturen angivet i tabel 7.

Værdierne i tabellen er udarbejdet på baggrund af en fast rumtemperatur på 20°C, en udetemperatur på -0,6°C og en opholdszone 0,6 m fra væggen. I appendiks B fremgår der formler og tabeller, som kan anvendes til at korrigere de målte værdier, så de matcher forudsætningerne for værdierne i ta-

Konstruktionstype	Konsekvenstype	Kritisk overfladetemperatur
Vinduesrammer	Skimmelvækst	$T_o > 9,3°C$ (krav)
Lofter	Strålingsasymmetri	$T_o > 8,0°C$ (anbefaling)
Gulve	Kolde gulve	$T_o > 19,0°C$ (anbefaling)
Ydervægge	Strålingsasymmetri	$T_o > 12,0°C$ (anbefaling)
Tørre lagerhaller uden tilskuer og industribygninger uden fugtproduktion	Skimmelvækst	$T_o > 8,2°C$ (anbefaling)
Boliger med lav beboelsestæthed, kontorer og forretninger	Skimmelvækst	$T_o > 13,8°C$ (anbefaling)
Boliger med høj beboelsestæthed og idrætshaller med mange tilskuer	Skimmelvækst	$T_o > 15,9°C$ (anbefaling)
Storkøkkener, kantiner samt bade- og omklædningsrum	Skimmelvækst	$T_o > 18,8°C$ (anbefaling)
Tørre lagerhaller uden tilskuer og industribygninger uden fugtproduktion	Kondensdannelse	$T_o > 4,1°C$ (anbefaling)
Boliger med lav beboelsestæthed, kontorer og forretninger	Kondensdannelse	$T_o > 9,5°C$ (anbefaling)
Boliger med høj beboelsestæthed og idrætshaller med mange tilskuer	Kondensdannelse	$T_o > 11,5°C$ (anbefaling)
Storkøkkener, kantiner samt bade- og omklædningsrum	Kondensdannelse	$T_o > 14,3°C$ (anbefaling)
Kolde lodrette flader, h ≈ 2m	Kondensdannelse	$T_o > 15,5°C$ (anbefaling)
Kolde lodrette flader, h ≈ 1m	Kondensdannelse	$T_o > 11,0°C$ (anbefaling)

Tabel 7. Vejledende minimumsværdier for den kritiske overfladetemperatur.

bellen. Af afsnit 2 fremgår desuden en uddybelse af værdierne.

For bestemmelse af projektspecifikke kritiske overfladetemperaturer kan værktøjet beskrevet i afsnit 6 anvendes.

Vær opmærksom på, at i projekter hvor temperaturen af det damptætte lag varierer markant fra overfladetemperaturen (fx i lette konstruktioner), vil det ikke være tilstrækkeligt at sammenligne den målte overfladetemperatur med den kritiske overfladetemperatur. I disse tilfælde bør der foretages en detaljeret udregning efter DS/EN ISO 13788. Som et groft estimat kan temperaturen ved det damptætte lag sammenholdes med den kritiske overfladetemperatur. Af appendiks A fremgår det hvorledes temperaturen for det damptætte lag bestemmes ved antagelse af endimensionelle strømninger.

Den målte overfladetemperatur kan også sammenlignes med den teoretiske overfladetemperatur. Denne metode kræver imidlertid detaljeret tegningsmateriale for konstruktionen. Af appendiks E fremgår det hvordan den teoretiske overfladetemperatur bestemmes vha. simuleringsprogrammet Heat2.

Hvis den simple vurdering indikerer, at der er risiko for skimmelvækst på overfladen bør der foretages yderligere undersøgelser af den enkelte konstruktionsdel. Til at undersøge om der er skimmelvækst på overflader eller i luften kan der bl.a. anvendes Mycometer. Denne metode beskrives nærmere i appendiks G.

Årlige meromkostninger

Ved nybyggeri kan kuldebroer, ifølge Bygningsreglementet (BR10), accepteres hvis varmetabet fra kuldebroen indregnes i bygningens samlede varmetab.

Transmissionskoefficienten (U) eller linjetabet (ψ) må ifølge Bygningsreglementet (BR10) ikke overskride følgende værdier for nybyggeri:

- Fundamenter uden gulvarme:
  $\psi \leq 0{,}4$ W/mK
- Fundamenter med gulvvarme:
  $\psi \leq 0{,}2$ W/mK
- Samlinger mellem ydervægge og vinduer/yderdøre:
  $\psi \leq 0{,}06$ W/mK
- Samlinger mellem tagkonstruktion og ovenlysvinduer:
  $\psi \leq 0{,}2$ W/mK
- Ydervægge og kældervægge mod jord:
  $U \leq 0{,}3$ W/m²K
- Terrændæk, kældergulv mod jord og etageadskillelser over det fri:
  $U \leq 0{,}2$ W/m²K
- Loft- og tagkonstruktioner:
  $U \leq 0{,}2$ W/m²K
- Yderdøre og ovenlyskupler:
  $U \leq 1{,}8$ W/m²K

For at kontrollere om konstruktionen overholder ovenstående krav, kan linjetabet bestemmes vha. tabel 6.12.1 til 6.13.3 eller anneks B og C i DS 418 for vinduer, døre og fundamenter. Transmissionskoefficienten kan bestemmes vha. følgende formel (uden korrektion for sprækker og spalter i isoleringen):

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + \sum R} \qquad \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$$

hvor:

- R_{si} er den indvendige overgangsisolans
- R_{se} er den udvendig overgangsisolans
- ΣR er kuldebroens samlede isolans

I appendiks A fremgår 2 eksempler, hvor transmissionskoefficienten bestemmes for hhv. en tung og en let ydervæg.

For konstruktioner med kuldebroer kan det forøgede transmissionstab gennem kuldebroen bestemmes ud fra nedenstående formler. Formlerne er udarbejdet ud fra ligningerne beskrevet i kapitel 3 Beregning af transmissionstab i DS418, 6. udgave:

$$Q = Q_{flade} + Q_{kanter/hjørner} \quad [W]$$

$$Q_{flade} = (U_{kuldebro} - U_{konstruktion}) \cdot A \cdot (T_i - T_u) \quad [W]$$

$$Q_{kanter/hjørner} = (\psi_{kuldebro} - \psi_{konstruktion}) \cdot L \cdot (T_i - T_u) \quad [W]$$

hvor:

- U_{kuldebro} er kuldebroens transmissionskoefficient i W/m²K
- $U_{\text{konstruktion}}$ er konstruktionens teoretiske eller målte transmissionskoefficient i W/m²K
- A er kuldebroens overfladeareal i m²
- $\psi_{kuldebro}$ er linjetabet for kuldebroen i W/m²K
- $\psi_{konstruktion}$ er konstruktionens teoretiske eller målte linjetab i W/m²K
- L er kuldebroens længde i m
- T_i er den indvendige lufttemperatur i °C
- T_u er den udvendige luft/jord-temperatur i °C

Det årlige varmetab kan dernæst bestemmes ud fra følgende formel fra Varmeståbien:

$$E = \frac{Q}{(T_i - T_u)} \cdot GD \cdot \frac{24}{1000}$$

Ved at antage endimensionelle varmestrømme gennem konstruktionen, kan U-værdien for kuldebroen overslagmæssigt bestemmes som:

hvor:

- E er det årlige varmetab gennem afvigelsen angivet i kWh
- Q er det forøgede transmissionstab beskrevet nærmere i afsnit 3 og 4
- T_i er den dimensionerende indetemperatur angivet i °C
- T_u er den dimensionerende udetemperatur angivet i °C
- GD er antal graddage på et normalår angivet i °C dage (graddage)

Ved at indsætte formlerne for transmissionstabet Q i ovenstående formel for varmetabet E og anvende 3112 graddage på et normalår, fås følgende udtryk for det årlige energiforbrug forårsaget af kuldebroer i klimaskærmen:

$$E_{kuldebroer} = \sum E_{flader} + \sum E_{kanter/hjørner} \quad \left[\frac{kWh}{år}\right]$$

hvor:

$$E_{flader} = \frac{(U_{kuldebro} - U_{konstruktion}) \cdot A \cdot (T_i - T_u)}{(T_i - T_u)} \cdot GD \cdot \frac{24}{1000} \Rightarrow$$

$$E_{flader} = (U_{kuldebro} - U_{konstruktion}) \cdot A \cdot 3112 \cdot \frac{24}{1000} \Rightarrow$$

$$E_{flader} = (U_{kuldebro} - U_{konstruktion}) \cdot A \cdot 74{,}7 \quad \left[\frac{kWh}{år}\right]$$

$$E_{kanter/hjørner} = \frac{(\psi_{kuldebro} - \psi_{konstruktion}) \cdot L \cdot (T_i - T_u)}{(T_i - T_u)} \cdot GD \cdot \frac{24}{1000} \Rightarrow$$

$$E_{kanter/hjørner} = (\psi_{kuldebro} - \psi_{konstruktion}) \cdot L \cdot 3112 \cdot \frac{24}{1000} \Rightarrow$$

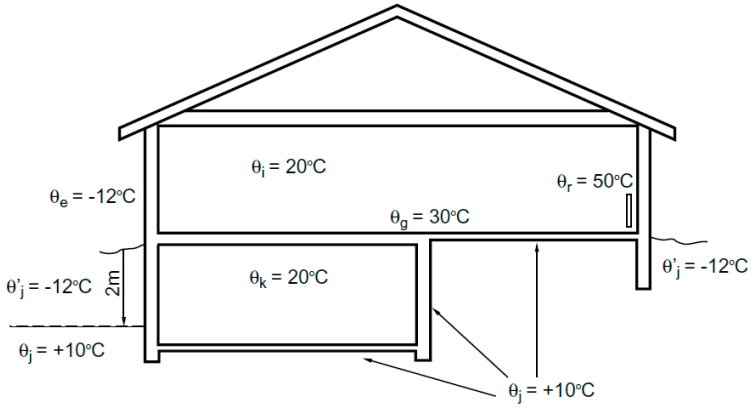
$$E_{kanter/hjørner} = (\psi_{kuldebro} - \psi_{konstruktion}) \cdot L \cdot 74{,}7 \quad \left[\frac{kWh}{år}\right]$$

For kuldebroer med en dimensionerende udetemperatur på 10°C bør graddagstallet på 74,7 korrigeres, idet den gennemsnitlige jordtemperatur er højere end den gennemsnitlige lufttemperatur i fyringssæsonen. Det korrigerede graddagstal bliver således:

$$GD_{kor} = 74{,}7 \cdot \frac{T_{i.GD} - T_{j,GD}}{T_{i.GD} - T_{u,GD}} = 74{,}7 \cdot \frac{17 - 10}{17 - 3} = 37{,}3$$

hvor:

- $T_{i.GD}$ er rumtemperaturen ved anvendelse af graddage på 17°C
- $T_{j,GD}$ er den gennemsnitlige jordtemperatur i fyringssæsonen på 10°C jf. DRY vejrdata
- $T_{u,GD}$ er den gennemsnitlige lufttemperatur i fyringssæsonen på 3°C jf. DRY vejrdata



Figur 31. Dimensionerende temperaturer jf. DS 418

Ved at antage endimensionelle varmestrømme gennem konstruktionen, kan U-og ψ-værdien for kuldebroen overslagmæssigt bestemmes som:

$$U_{kuldebro} = \frac{T_i - T_{o,kuldebro}}{(T_i - T_u) \cdot R_{si}} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$$

$$\psi_{kuldebro} = \psi_{konstruktion} \cdot \frac{T_i - T_i \cdot R_{si} \cdot \psi_{konstruktion}}{T_{o,kuldebro}} \quad \left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$$

hvor:
- $T_{o,kuldebro}$ er den målte overfladetemperatur for kuldebroen angivet i W/m²K
- R_{si} er den indvendige overgangsisolans i m²K/W

Formlen bør dog kun anvendes ved en temperaturdifferens mellem den indvendige rumtemperatur og den indvendige overfladetemperatur på mindst 5 °C. Ved anvendelse af formlen vil U-værdien desuden kunne afvige med op til ca. 40% ift. den reelle U-værdi. Dette er bestemt ud fra forudsætningen af at rumtemperaturen er over 20 °C og at der er en maksimal usikkerhed på:

- 1°C for T_i-$T_{o,kuldebro}$
- 1°C for T_i-T_u
- 10% for R_{si}

De årlige meromkostninger kan afslutningsvis bestemmes som:

$$p_{kuldebroer} = E_{kuldebroer} \cdot p_{varme} \quad \left[\frac{kr}{år}\right]$$

hvor:
- p_{varme} er energiprisen for varme i kr/kWh

4.5 Rapport

Se afsnit 3.7 for en beskrivelse af hvad rapporten bør indeholde. Af appendiks C fremgår desuden en rapportskabelon, som kan anvendes i forbindelse med termografering.

4.6 Eksempler

Af de næste sider fremgår syv eksempler på termograferede kuldebroer samt ét eksempel hvor det ekstra varmetab, forårsaget af en kuldebro, bestemmes.

Eksempel 1 – Fejlrelateret kuldebro i ydervæg

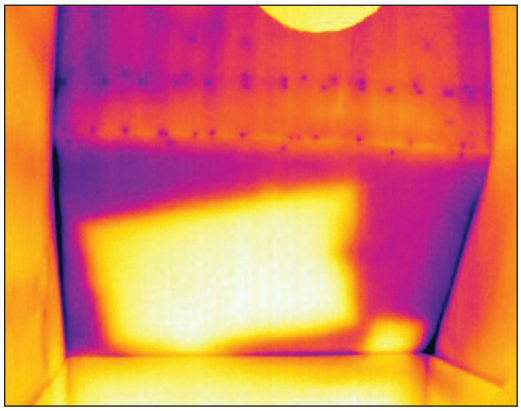
Billedet illustrerer en termograferet ydervæg i en bygning fra 1970, hvor der kun er blevet anvendt én isoleringsplade i hele konstruktionen (slæbebatts). Konstruktionen er således ikke ordentligt isoleret og der opstår massive kuldebroer der hvor isoleringen ikke er placeret.

Eksempel 2 – Fejlrelateret kuldebro i ydervæg

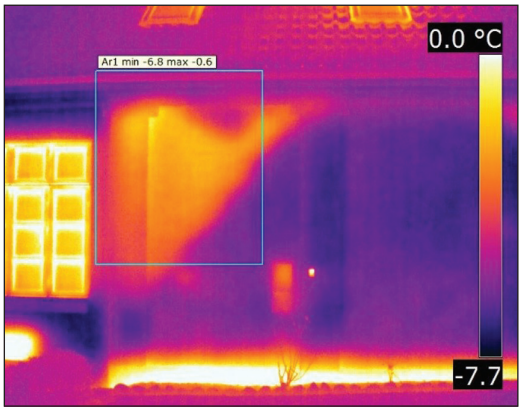
Billedet illustrer en termograferet ydervæg i forbindelse med kontrolsikring af efterisolering. Det kan i denne situation konstateres, at indblæsningen af isoleringen ikke er blevet udført korrekt, idet isoleringen ikke er nået ud til hjørnet.

Eksempel 3 – Konstruktionsbetinget kuldebro i ydervæg

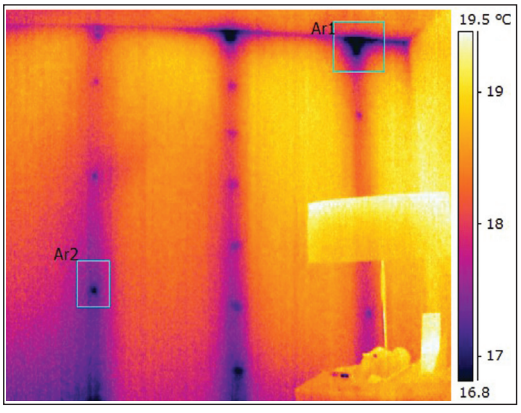
Billedet illustrerer en termograferet ydervæg, hvor montageskruerne fra gipspladerne danner kuldebroer, hvilket medfører overfladetemperaturer på hhv. 16,0 °C for Ar1 og 16,4 °C for Ar2. Værdierne er imidlertid over det acceptable niveau for skimmelvækst i boliger jf. tabel 7, hvorfor kuldebroen ikke nødvendigvis skal udbredes.



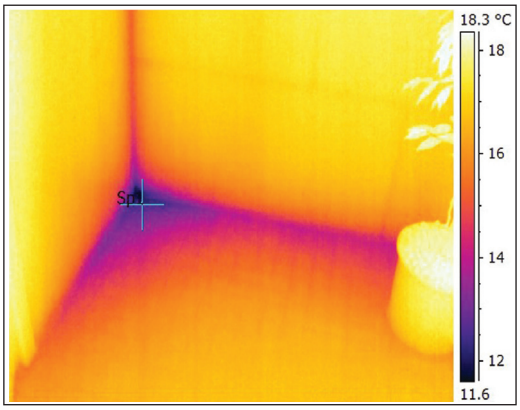
Figur 32. Ydervæg isoleret med én isoleringsplade.



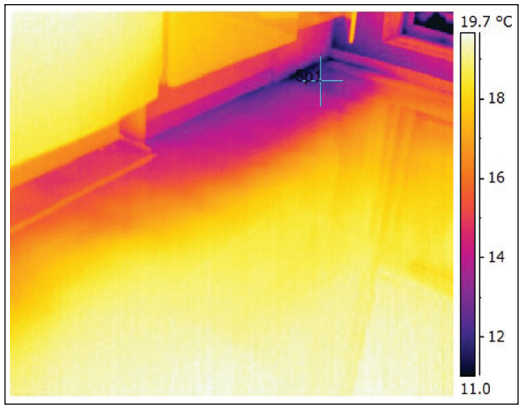
Figur 33. Ydervæg med manglende isolering.



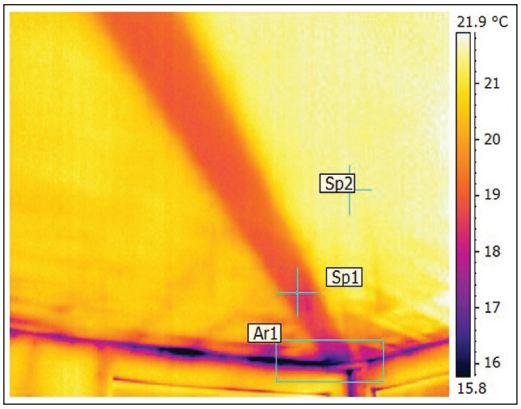
Figur 34. Kuldebro forårsaget af montageskruer.



Figur 35. Kuldebro ved fundamentsamling.



Figur 36. Fundamentsamling.



Figur 37. Konstruktiv kuldebro i loftkonstruktion.

Eksempel 4 – Geometrisk- og fejlrelateret kuldebro ved fundamentsamling

Billedet illustrerer en termograferet fundamentsamling, hvor den målte temperatur i hjørnet er målt til 12,4°C. Denne temperatur ligger under den anbefalede værdi for bl.a. skimmelvækst i boliger jf. tabel 7, hvorfor nærmere undersøgelser bør foretages.

Eksempel 5 – Konvektiv kuldebro ved fundamentsamling

Billedet illustrerer en termograferet fundamentsamling, hvor der er hul i fundamentet, men ingen direkte adgang til indeklimaet. Kulden kan imidlertid stadig trænge ind i rummet og give anledning til indeklimagener, idet isoleringen i terrændækket ligger på et betondæk med 5 cm luft op til gulvbelægningen (parket på strøer), hvor den kolde luft dermed kan trække ind i hulrummet under parketgulvet. Den målte overfladetemperatur er i dette tilfælde på 12,4°C, hvilket er under det acceptable niveau for bl.a. skimmelvækst i boliger jf. tabel 7. Fundamentsamlingen bør således straks undersøges nærmere, så kuldebroen kan udbedres.

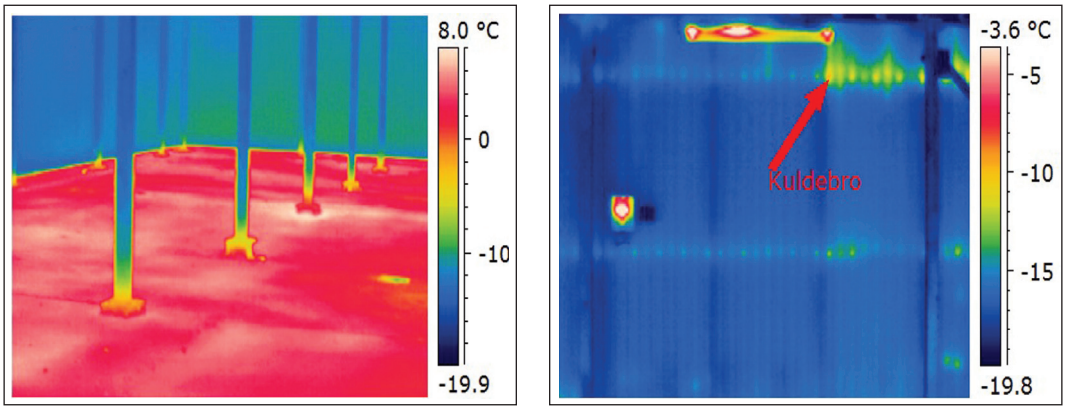
Eksempel 6 – Konstruktionsbetinget kuldebro i loftkonstruktion

Billedet illustrerer en termograferet loftkonstruktion med en tydelig kuldebro på tværs af loftet, hvor den målte overfladetemperatur i Sp1 er på 18,6°C. Temperaturen er over det acceptable niveau for bl.a. skimmelvækst i boliger jf. tabel 7, hvorfor denne overflade ikke bør undersøges nærmere. Temperaturen i Ar1 er imidlertid meget lavere og denne del af konstruktionen bør således undersøges nærmere (fx undersøgelse af dampspærre).

Eksempel 7 – Fejlrelateret kuldebro i kølerum

Billederne illustrer et termograferet kølerum. Kølerummet er placeret på 1. sal, hvor billederne tydeligt indikerer at der mangler isolering i etageadskillelsen under kølerummet. Derudover er der mindre kuldebroer langs kølerummets væg.

Fordi dette eksempel omhandler et kølerum, fremgår kuldebroen her som det varmeste punkt og rummet som den koldeste (-20 °C midt i rummet).



Figur 38. Fra venstre: "Kølerummets gulv" og "Kølerummets væg".

Eksempel 8 - Bestemmelse af meromkostning forårsaget af kuldebro

I dette eksempel beregnes de årlige meromkostning til varme forårsaget af en kuldebro i ydervæggen med et samlet overfladeareal på ca. 2 m². Ydervæggen har en teoretisk U-værdi på 0,1 W/m²K og en indvendig overgangsisolans på 0,13 m²K/W. Der er desuden målt en gennemsnitlig overfladetemperatur ved kuldebroen på 12°C, en indendørs rumtemperatur på 21°C og en udendørs lufttemperatur på -3°C. Der anvendes en fjernvarmepris på 0,8 kr./kWh varme.

Først bestemmes U-værdien for kuldebroen:

$$U_{kuldebro} = \frac{T_i - T_{o,kuldebro}}{(T_i - T_u) \cdot R_{si}} = \frac{21 - 12}{(21 + 3) \cdot 0{,}13} = 2{,}88 \frac{W}{m^2K}$$

Dernæst kan det årlige varmetab gennem konstruktionen bestemmes:

$$E_{kuldebroer} = E_{flader} = (U_{kuldebro} - U_{konstruktion}) \cdot A \cdot 74{,}688 = (2{,}88 - 0{,}1) \cdot 2 \cdot 74{,}688 = 416 \frac{kWh}{år}$$

Dette varmetab kan nu medregnes i bygningens samlede varmetabsramme.
Afslutningsvis kan den årlige meromkostning til varme beregnes som:

$$p = E_{kuldebroer} \cdot p_{varme} = 416 \cdot 0{,}8 = 333 \frac{kr}{år}$$

Eksempel 9 - Bestemmelse af kuldenedfald fra vinduesparti

I dette eksempel undersøges det om kuldenedfaldet fra et vinduesparti, smallere end rummet og med en højde på 2 meter, giver anledning til trækgener i opholdszonen (0,6 m fra vinduet). Eksemplet udføres for en rumtemperatur på 20 °C, en udetemperatur på 0 °C og en overfladetemperatur på 12°C.

Lufthastigheden i opholdszonen bestemmes som:

$$v_x = 0{,}134 \cdot \frac{\sqrt{h \cdot \Delta T}}{x + 2{,}04} = 0{,}134 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot (20 - 12)}}{0{,}6 + 2{,}04} = 0{,}2 \ \frac{m}{s}$$

Da lufthastigheden er højere end de anbefalede 0,15m/s, kan kuldenedfaldet altså give anledning til trækgener i opholdszonen.

Ved at korrigere formlen, vil afstanden, hvormed der ikke længere opstår træk, kunne bestemmes som:

$$x = \frac{0{,}134 \cdot \sqrt{h \cdot \Delta T}}{v_x} - 2{,}04 = \frac{0{,}134 \cdot \sqrt{2 \cdot (20 - 12)}}{0{,}15} - 2{,}04 = 1{,}5 \ m$$

Opholdszonen skal altså være mindst 1,5 meter fra vinduet før der ikke længere er risiko for trækgener.

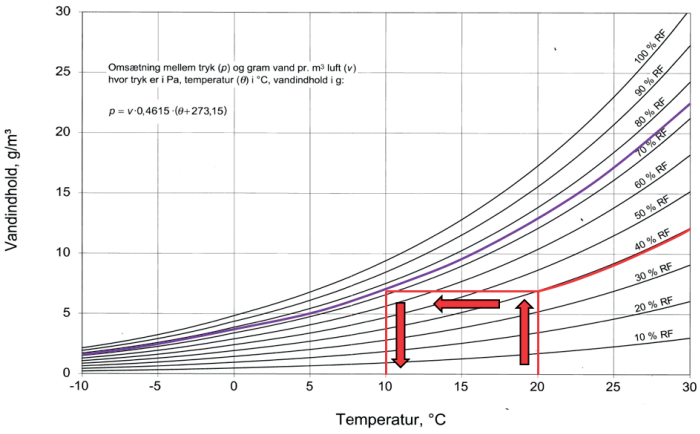
Eksempel 10 – Risiko for skimmelvækst og strålingsasymmetri

I dette eksempel undersøges risikoen for skimmelvækst og ubehag forårsaget af strålingsasymmetri for en vinduesramme af træ med en overfladetemperatur på 8°C. Eksemplet udføres for en rumtemperatur på 20 °C, en udetemperatur på 0 °C, en indvendig relativ luftfugtighed på 40% og en kritisk luftfugtighed ved overfladen på 75%.

Ved at anvende et vanddampdiagram, kan den kritiske overfladetemperatur for skimmelvækst bestemmes til ca. 10 °C.

Derudover kan den kritiske overfladetemperatur ift. strålingsasymmetri også bestemmes til 10°C (20°C-10°C).

Overfladetemperaturen på 8°C kan altså både give anledning til skimmelvækst og medføre ubehag fra strålingsasymmetri. Derudover overholdes temperaturen heller ikke kravet fra Bygningsreglementet på mindst 9,3 °C for vinduesrammer.



5 Utætheder/luftlækager

– **Utæthed.** En beskrivelse af begreberne utæthed og tæthedsundersøgelse
– **Betingelser.** En beskrivelse af de betingelser der bør overholdes i forbindelse med tæthedsundersøgelsen.
– **Udførelse.** En beskrivelse af hvordan tæthedsundersøgelsen udføres.
– **Analyse.** En beskrivelse af hvorledes resultaterne fra tæthedsundersøgelsen analyseres.
– **Rapport.** En vejledning til hvordan rapporten udarbejdes.
– **Eksempler.** Termograferingseksempler og beregningseksempler

5.1 Utæthed

En utæthed er en uønsket luftstrøm gennem konstruktionen forårsaget af et utæt tætningslag samt en trykforskel mellem ude og inde. Tætningslaget er den del af klimaskærmen som gør konstruktionen vind- og damptæt og kan for lette konstruktioner bestå af en vind- eller dampspærre og for tunge konstruktioner bestå af et betonelement, gasbetonelement eller lignende. Det er vigtigt at fastslå at porøs isolering i denne sammenhæng ingen tæthed giver.

En tæthedsundersøgelse anvendes til at lokalisere utæthederne, bestemme deres størrelse og undersøge konsekvenserne. En tæthedsundersøgelse omfatter:

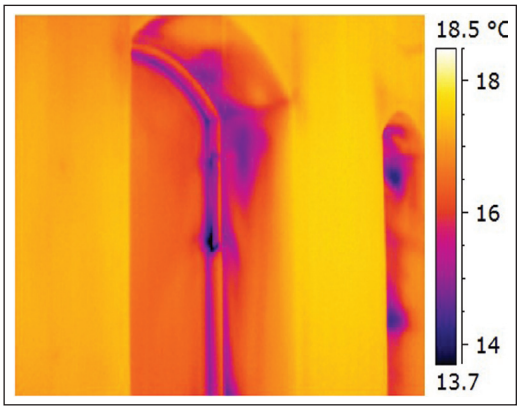
– ***Trykprøvning***
– ***Termografering***
– ***Evt. røg***
– ***Måling af middellufthastigheden***

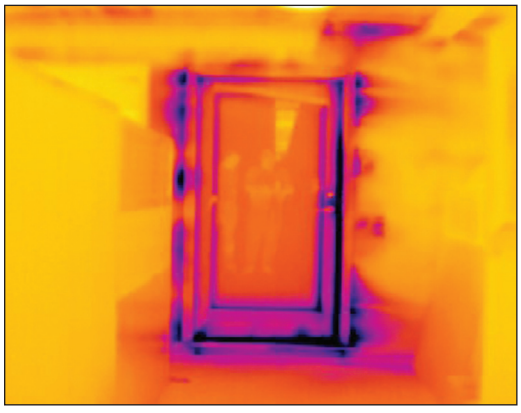
5.2 Betingelser

For at sikre brugbare målinger bør operatøren, før tæthedsundersøgelsen igangsættes, forholde sig til følgende områder:

– ***Vejrforhold og omgivelser***
– ***Udstyr og operatøruddannelse***

Betingelserne er baseret på, at termograferingen udføres under trykprøvning med et etableret undertryk i bygningen på 50 Pa.





Figur 39. Eksempler på utætheder.

Vejrforhold og omgivelser
Før tæthedsundersøgelsen påbegyndes er det vigtigt at kontrollere om vejrforholdene og de omkringliggende omgivelser lever op til vejledende værdier angivet i nedenstående tabel.

	DS/EN 13187	Vejledning/forklaring
1	Der skal som minimum være en temperaturdifferens mellem ude og inde på 10 °C	Ved termografering af utætheder skal der blot sikres en effektiv køling af områderne i og omkring utæthederne. Dette kan ofte opnås med en temperaturdifferens på 5-6 °C.
2	Forstyrrende elementer, som kan påvirke resultatet, skal være fjernet eller slukket inden termograferingen påbegyndes (fx sofaer, reoler, ventilation m.m.)	Genstande kan flyttes uden problemer ved termografering af utætheder.
3	Der skal som minimum være et undertryk i bygningen på 5 Pa ved termografering af utætheder	I praksis etableres der et konstant undertryk i bygningen på 50 Pa vha. trykprøvning.

Tabel 8. Vejrforhold og omgivelser

Udstyr og operatøruddannelse
Inden termograferingsopgaven påbegyndes bør operatøren være opmærksom på følgende:

- Operatøren bør medbringe termografiudstyr som matcher den enkelte opgaves detaljeringsgrad
- Operatøren skal have en uddannelse der matcher den enkelte opgaves detaljeringsgrad

Se afsnit 3 for mere information omkring ovenstående emner.

5.3 Udførelse

En tæthedsundersøgelse kan udføres ud fra følgende metodik:

1. ***Praktiske forhold***. Noter praktiske forhold som dato, klokkeslet m.m.
2. ***Målinger.*** Mål forhold som emissivitet, reflekterede temperaturer m.m.
3. ***Trykprøvning.*** Opstil trykprøvning, opnå et undertryk i bygningen på 50 Pa og mål det samlede infiltrationstab
4. ***Termografering.*** Lokaliser utæthederne vha. termografering
5. ***Røg.*** Lokaliser evt. utætheder vha. røg
6. ***Måling*** af strømningshastighed. Mål luftstrømningerne gennem utæthederne
7. ***Måleudstyr***. Suppler evt. med andre målinger (fx fugtmåling)

Praktiske forhold
Før tæthedsundersøgelsen påbegyndes er det nyttigt at notere følgende praktiske forhold:

- Dato og klokkeslet for undersøgelse
- Er undersøgelsen foretaget inde eller ude?
- Er undersøgelsen foretaget i læ- eller vindside?
- Vejrforhold (sol, vindretning, vindhastighed og nedbør)
- Påvirkning fra omgivelser (fx fladskærms tv på væg eller lignende)

- Beskrivelse af de undersøgte konstruktionsdele (fx let eller tung konstruktion samt placering af vind- og dampspær)
- De undersøgte bygningsdetaljers placering (fx markering på plantegning over bygning)
- Orientering af bygningsdetalje
- Tilgængelighed (er bygningsdetaljen til at komme til?)
- Personer til stede ved tæthedsundersøgelsen
- Andre betydelige faktorer

Målinger

Inden eller efter termograferingen kan det være nyttigt at måle og notere følgende forhold:

- Trykforskel over klimaskærmen i Pa vha. en trykdifferensmåler
- Udendørs lufttemperatur (gennemsnit af 2 målinger foretaget 3-5 m fra facaden uden påvirkning fra sol)
- Indendørs relativ fugtighed (gennemsnit af 2 målinger foretaget midt i rummet uden påvirkning fra sol, radiatorer m.m.)
- Dugpunktstemperatur
- Temperaturer måles med en maksimal usikkerhed på 2°C. Hvis rumtemperaturen afviger mere end 2-5°C anbefales det, at måle temperaturen i hvert rum og anvende gennemsnittemperaturen. Vær opmærksom på at udetemperaturen kan variere under målingen.

Trykprøvning

Trykprøvning anvendes til at bestemme utætheder nes omfang og udføres ved, at:

1. En ventilator (Blowerdoor) monteres i et af husets yderdøre (figur 40)
2. Alle tilsigtede ventilationskanaler, aftræk m.m. afspærres
3. Ventilatoren (Blowerdooren) tændes, hvilket skaber undertryk i bygningen
4. Når undertrykket i bygningen er på 50 Pa aflæses luftskiftet. Dette luftskifte svarer således til luftskiftet gennem de utætheder der optræder i bygningen.

Af DS 13829 fremgår en detaljeret beskrivelse af hvordan en trykprøvning bør udføres. Ud fra denne standard har bl.a. Foreningen Klimaskærm udarbejdet metoder til udførelse af trykprøvning for henholdsvis:

- Bygninger over 1600 m²
- Bygninger under 1600 m²
- Passiv huse over 1600 m²
- Passiv huse under 1600 m²
- Rækkehuse
- Lejligheder

Disse vejledninger er frit tilgængelige på Foreningen Klimaskærms hjemmeside.

Figur 40. Trykprøvningsudstyr

Jf. Bygningsreglementet (BR10) må luftskiftet gennem utætheder i klimaskærmen for nye bygninger ikke overstige:

BR10: 1,5 l/s pr. m² opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa
BR15: 1,0 l/s pr. m² opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa
BR20: 0,5 l/s pr. m² opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa
Passiv hus: 0,42 l/s pr. m² opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa og en bygningshøjde på 2,5 m (0,6 gange luftskifte i timen)

For nye høje bygninger, hvor klimaskærmens overfladeareal divideret med etagearealet overstiger 3,0, må luftskiftet ikke overstige:

BR10: 0,5 l/s pr. m² opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa
BR15: 0,3 l/s pr. m² opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa
BR20: 0,15 l/s pr. m²

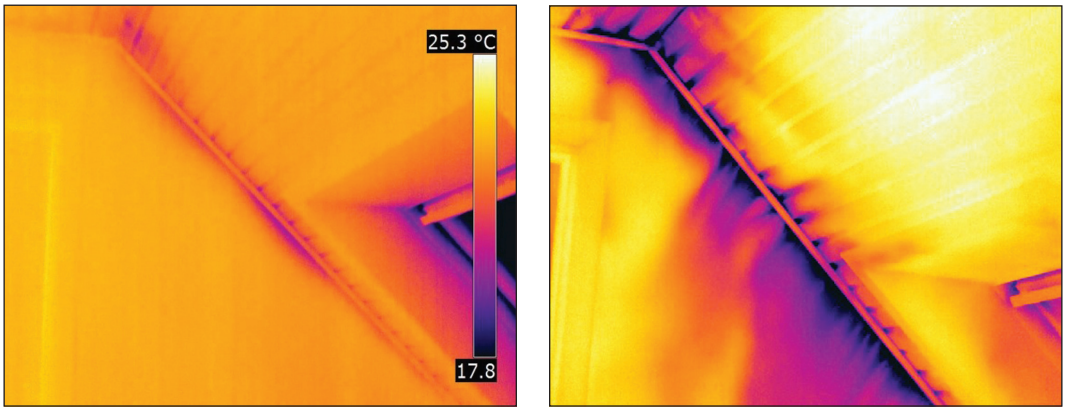
I stedet for at anvende trykprøvning, kan undertrykket i nogle tilfælde også skabes vha. eget ventilationsanlæg eller i nogle tilfælde (ofte små bygninger) egen emhætte.

De naturligt forekommende vejrforhold kan også i nogen grad benyttes ved tæthedsundersøgelse. En vindpåvirkning kan fx anvendes til at etablere et undertryk i bygningen. Dette kan bl.a. anvendes i de situationer hvor det kan være omfattende at etablere et undertryk vha. trykprøvning (fx pga. delvist åbne konstruktionsdele). Ved anvendelse af denne metode skal der opsættes en logger, der måler og dokumenter trykforskellen skabt af vindpåvirkningen. Acceptable termograferingsbetingelser verificeres med et reference-billede, som illustrer en bevidst skabt utæthed (vindue på klem). Denne utæthed skal dermed let kunne ses med varmekameraet og skal derudover indgå som en del af rapporten. Metoden er dog ikke fuldstændig sikker og det er kun den vindpåvirkede facadedel som kan undersøges.

Tabel 9 indikerer vejledende ventetider ift. at opnå et undertryk i bygningen på 50 Pa vha. trykprøvning. Ventetiden er afhængig af hvordan bygningen er konstrueret. Årstal for opførelses og evt. renovering spiller ind, samt hvor i konstruktionen utætheden er placeret (fx vil utætheder i klimaskærmens overflade fremstå hurtigere end utætheder inde i konstruktioner). Det er derfor op til operatøren selv, at vurdere hvor lang tid trykprøvningen bør køre, før utæthederne i konstruktionen er afkølet tilstrækkeligt til effektivt at kunne visualiseres vha. termografering.

Temperaturdifferens mellem inde og ude	Ventetid
5 °C	90 - 120 min
10 °C	60 - 90 min
15 °C	30 - 60 min
20 °C	20 - 45 min
25 °C	15 - 30 min

Tabel 9. Vejledende ventetider i minutter ved anvendelse af trykprøvning. Værdierne er basseret på et ønsket undertryk i bygningen på 50 Pa.



Figur 41. Termograferet utæthed i tagkonstruktion. Fra venstre: termografering før trykprøvning og termografering under trykprøvning

Termografering

Termografering kan udelukkende anvendes til at lokalisere utætheder og ikke til at bestemme utæthedernes omfang.

Jf. DS/EN 13187 bør der som minimum være et undertryk i bygningen på 5 Pa, hvis der skal kunne registreres utætheder med termografering. Det anbefales imidlertid at termografering af kuldebroer udføres i forbindelse med trykprøvning med et etableret undertryk på 50 Pa.

Figur 41 illustrer en termograferet tagkonstruktion i en villa fra 1985, hvor billedet til venstre er taget før trykprøvning og billedet til højre er taget under trykprøvning. Figuren understreger, at termografering af utætheder bør udføres i forbindelse med trykprøvning.

Det anbefales desuden at termografering af utætheder altid foretages inde fra, idet tæthedsundersøgelsen udføres med undertryk (varmestrømmens retning går derfor fra ude mod ind) og ofte anvendes til at lokalisere gener i indeklimaet.

Under termograferingen er det også vigtigt, at operatøren er opmærksom på følgende:

- Stil skarpt, så bygningsdetaljen fremgår klart og tydeligt
- Tag et digitalbillede af bygningsdetaljen samtidig med det termograferede billede (husk blitz eller lys hvis lysforholdende er dårlige)
- Vælg den rette farve- og temperaturskala, så utætheden fremstår tydeligt (kan også gøres i efterfølgende software)
- Vær opmærksom på vinduesdetaljer, idet disse kan være særligt vanskellige at termografere
- Anvend det rette termografiudstyr (fx kamera med høj opløsning og vidvinkel hvis projektet kræver dette)
- Operatøren skal være tilstrækkeligt uddannet

Se afsnit 3 for mere information omkring ovenstående emner.

Figur 42. Anvendelse af røg til lokalisering af utætheder i klimaskærmen. Fra venstre: Lokalisering af utæthed vha. røg fra udvendig side og lokalisering af utæthed vha. røgpen inde fra.

Røg

Røg kan udelukkende anvendes til at lokalisere utætheder og ikke til at bestemme utæthedernes omfang. Den mest anvendte metode til lokalisering af utætheder vha. røg er ved at anvende en røgpind. En røgpind fås i mange forskellige udformninger, men fælles for dem alle er, at de genererer en lille røgsøjle, som kan bruges til spore utætheder.

Alternativt er det muligt at lokalisere utætheder vha. et røgkammer etableret på klimaskærmens yderside (røgen kan bl.a. holdes inde vha. en presenning eller lignende) og et undertryk i bygningen. Derefter vil røgen langsomt sive ind gennem de utætheder der vil være i klimaskærmen.

Utætheder kan også lokaliseres ude fra ved at anvende røg og overtryk i bygningen. Røgen vil således komme ud gennem klimaskærmens utætheder. Der er imidlertid ikke altid sammenhæng med hvor røgen kommer ud og hvor utætheden er, idet utætheden som oftest ligger på den indvendige side af konstruktionen (dampspærren). Hvis muligt, anbefales det derfor at lokalisere utætheder vha. røg inde fra.

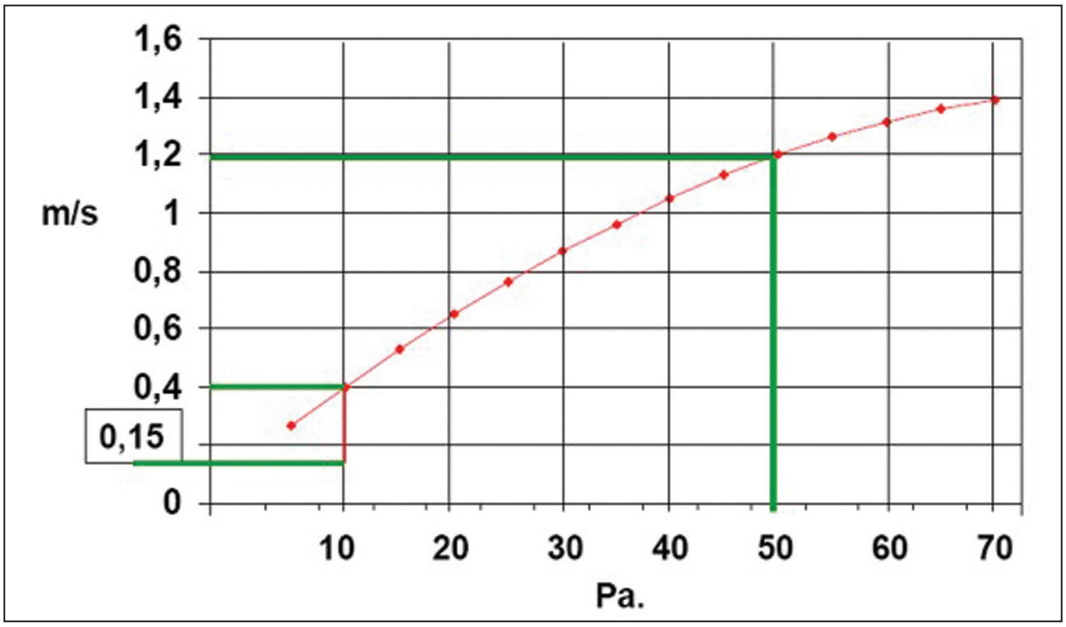
Måling af strømningshastighed

Måling af strømningshastighed anvendes til at undersøge trækgener de steder hvor der er lokaliseret utætheder vha. termografering og/eller røg. For at undgå træk skal middellufthastigheden i opholdszonen (0,6 m fra klimaskærmen) være mindre end 0,15 m/s ved en lufttemperatur på minimum 21 °C (Arbejdstilsynet, kilde 3, 2012).

At måle en strømningshastighed på 0,15 m/s er stort set umuligt, idet den mindste bevægelse i rummet medfører ændringer i strømningsmønsteret samtidig med at vind-påvirkningen på konstruktionen varierer. For at sikre et mere nøjagtigt målingsresultat, kan strømningshastigheden derfor (i stedet for at blive målt i opholdszonen) måles ved utæthedens oprindelse (klimaskærmens overflade) under trykprøvning med et etableret undertryk i bygningen på 50 Pa. Undertrykket medfører at strømningshastighederne gennem utæthederne i konstruktionen øges, hvilket medfører at påvirkningen fra omgivelserne (fx vind og bevægelser) reduceres.

Ved anvendelse af denne metode antages det at normaltrykket i bygningen er på 10 Pa. For at undgå træk i opholdszonen medfører dette at den maksimale middellufthastighed ved klimaskærmen må være 0,4 m/s ved normaltryk og 1,2 m/s ved et etableret undertryk på 50 Pa (figur 43).

Kriterierne for de 1,2 m/s er empirisk fastsat og er mere detaljeret beskrevet i BYG-ERFA (99) 101118 *Utætheder i klimaskærmen – måling, lokalisering og vurdering.*



Figur 43. Korrektion af strømningshastighed ved 50 Pa til strømningshastighed ved normaltryk (10 Pa).

Middellufthastigheden kan bl.a. måles med en lufthastighedsmåler eller en varmetrådsanemometer.

Udstyr som anvendes til måling af lufthastigheder gennem lokale utætheder i bygningens klimaskærm og/eller til måling af inden- eller udendørs lufttemperaturer, bør opfylde følgende krav:

- Måleområde, vindhastighed: 0 til 50 m/s
- Måleområde, temperatur: -10°C til +60 °C
- Målenøjagtighed, vindhastighed: 3 %
- Målenøjagtighed, temperatur: 0,3 °C

Måleudstyr

Tætheds undersøgelsen kan bl.a. kombineres med følgende måleudstyr:

- Endoskop og boremaskine
- Laserafstandsmåler/tommestok
- Fugtmåler

Se afsnit 3.6 for yderlige beskrivelse af måleudstyr.

5.4 Analyse

Under tæthedsprøvningen kan der foretages en analyse ud fra følgende vejledning:

1. Overholder trykprøvningen kravet til **maksimalt luftskifte** (gælder kun for nye bygninger)?
2. Vurder termografibillederne:
   - Er der afvigelser som springer i øjnene?
   - Er der tale om en utæthed?
3. Hvis ja, bestem dernæst luftstrømningen gennem den enkelte utæthed og noter:
   - Hvad er luftstrømningen ved utætheden?
   - Hvordan er strømningsretningen? Peger strømningsretningen ind mod opholdszonen?
   - Hvad er utæthedens størrelse?
   - Hvad skyldes utætheden (fx hul i dampspærre)?
   - Udfør evt. en undersøgelse med endoskop for at kunne bestemme kilden til utætheden
4. Vurder om der skal suppleres med yderligere målinger. Det kunne bl.a. være måling af:
   - Fugtindhold vha. en fugtmåler

5. Vurder om utætheden giver anledning til **trækgener**
6. Bestem de **årlige meromkostninger** til varme forårsaget af utætheder
7. Kom med anbefalinger til udbedringsforslag

De målte overfladetemperaturer under trykprøvningen kan ikke anvendes som en analyseparameter, idet det påførte undertryk medfører en konstant afkøling af områderne omkring utæthederne. Den målte temperatur vil således ikke være den samme før og under trykprøvningen.

Maksimalt luftskifte

Krav til maksimalt luftskifte gennem utætheder i nye bygninger står beskrevet i afsnit 5.3.

Trækgener

For at undgå træk fra utætheder skal middellufthastigheden ved klimaskærmens overflade være under 1,2 m/s ved anvendelse af trykprøvning med et etableret undertryk i bygningen på 50 Pa. Vurderingen af træk bør dog sammenholdes med følgende:

- Strømningsretningen. Vil luftstrømmen fra utætheden påvirke opholdszonen?
- Utæthedens størrelse. Vil den samlede luftmængde påvirke opholdszonen?

Hvis utæthedens strømningsretning og størrelse ikke medfører direkte trækgener i opholdszonen kan utætheden accepteres. Et mindre hul som vist ved figur 44, hvor der måles ca. 5 m/s igennem et skruehul, vil fx ikke give anledning til trækgener, idet den samlede luftmængde er for lille. .

Årlige meromkostninger

Det årlige varmetab forårsaget af utætheder i konstruktionen kan bestemmes ud fra følgende formel (Varmeståbien, 2012):

$$E = \frac{Q}{(T_i - T_u)} \cdot GD \cdot \frac{24}{1000} \quad \left[\frac{kWh}{år}\right]$$

hvor:

- Q er infiltrationstabet i W
- T_i er den dimensionerende indetemperatur angivet i °C
- T_u er den dimensionerende udetemperatur angivet i °C
- GD er antal graddage på et normalår angivet i °C dage (graddage)

Infiltrationstabet Q kan bestemmes ud fra følgende formel (Dansk standard, kilde 4, 2002):

$$Q_{utætheder} = \rho \cdot c \cdot q \cdot (T_i - T_u) \quad [W]$$

hvor:

- p er luftens massefylde i kg/m³
- c er luftens varmekapacitet i J/kgK
- q er luftskiftet gennem utætheden i m³/s ved normaltryk

Figur 44. Utæthed fra hul.

Jævnfør SBi-anvisning 213 kan et målt luftskifte ved trykprøvning med 50 Pa (q50) omskrives til et luftskifte under normale forhold (q) vha. følgende formler:

$$q = q_{brugstid} \cdot B + q_{uden\ for\ brugstid} \cdot (1 - B) \quad \left[\frac{m^3}{s}\right]$$

$$q_{brugstid} = \frac{(q_{50} \cdot 0{,}06 + 0{,}04) \cdot A}{1000} \quad \left[\frac{m^3}{s}\right]$$

$$q_{uden\ for\ brugstid} = \frac{(q_{50} \cdot 0{,}06) \cdot A}{1000} \quad \left[\frac{m^3}{s}\right]$$

hvor:

- $q50$ er luftskiftet, målt ved tæthedsprøvning med 50 Pa, i l/s pr. m² opvarmet etageareal
- A er det opvarmede etageareal, som trykprøvningen har omfattet, i m²
- B er den gennemsnitlige årlige andel af tiden hvor bygningen er i brug. B skal være et tal mellem 0 og 1, hvor 1 angiver at bygningen altid er i brug, mens 0 angiver at bygningen aldrig er i brug. For boliger angives brugstiden til 1, mens den for kontorer ofte vil være omkring 0,25 (8 timers arbejdsdag fra mandag til fredag).

Ved at indsætte infiltrationstabet Q i formlen for varmetabet E samt anvende 3112 graddage på et normalår, 1005 J/kgK som luftens varmefylde og 1,205 kg/m³ som luftens densitet, kan det årlige varmetab bestemmes som:

$$E_{utætheder} = \frac{\rho \cdot c \cdot q \cdot (T_i - T_u)}{(T_i - T_u)} \cdot GD \cdot \frac{24}{1000} = 1005 \cdot 1{,}205 \cdot q \cdot 3112 \cdot \frac{24}{1000} = 90449 \cdot q \quad \left[\frac{kWh}{år}\right]$$

Formlerne for luftskiftet (inden og uden for brugstiden) kan derefter indsættes i formlen for varmetab, hvilket giver en endelig formel for det årlige varmetab forårsaget af utætheder i konstruktionen:

$$E_{utætheder} = 90449 \cdot q = 90449 \cdot \left(q_{brugstid} \cdot B + q_{uden\ for\ brugstid} \cdot (1 - B)\right) \Longrightarrow$$

$$E_{utætheder} = 90449 \cdot \left(\frac{(q_{50} \cdot 0{,}06 + 0{,}04) \cdot A}{1000} \cdot B + \frac{(q_{50} \cdot 0{,}06) \cdot A}{1000} \cdot (1 - B)\right) \Longrightarrow$$

$$E_{utætheder} = 90{,}45 \cdot A \cdot \left((q_{50} \cdot 0{,}06 + 0{,}04) \cdot B + q_{50} \cdot 0{,}06 \cdot (1 - B)\right) \quad \left[\frac{kWh}{år}\right]$$

Dette varmetab kan nu indgå i bygningens samlede varmetabsramme som ventilationstab.

Kravet til varmetab gennem utætheder i konstruktionen kan bestemmes ud fra samme formel, blot med anvendelse af det gældende luftskiftekrav frem for det målte luftskifte:

$$E_{krav} = 90{,}45 \cdot A \cdot \left(\left(q_{50,krav} \cdot 0{,}06 + 0{,}04\right) \cdot B + q_{50,krav} \cdot 0{,}06 \cdot (1 - B)\right) \quad \left[\frac{kWh}{år}\right]$$

hvor:

- $q_{50,krav}$ er luftskiftekravet fra Bygningsreglementet i l/s pr. m² opvarmet etageareal

De årlige meromkostninger til varme kan afslutningsvis bestemmes som:

$$p_{utætheder} = (E_{utætheder} - E_{krav}) \cdot p_{varme} \quad \left[\frac{kr}{år}\right]$$

hvor:

- p_{varme} er energiprisen for varme i kr/kWh

5.5 Rapport

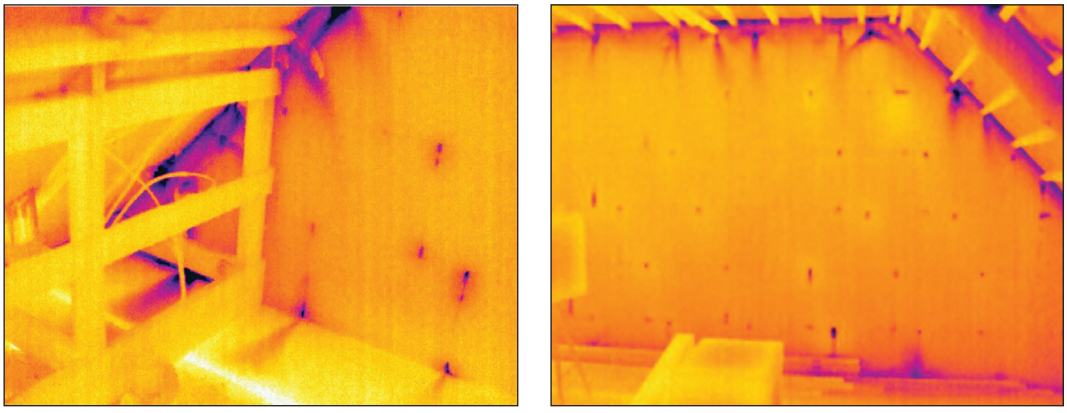
Se afsnit 3.7 for en beskrivelse af hvad rapporten bør indeholde. Af appendiks C fremgår desuden en rapportskabelon, som kan anvendes i forbindelse med termografering.

5.6 Eksempler

Af de næste sider fremgår seks eksempler på termograferede utætheder og ét eksempel hvor det årlige varmetab gennem utætheder i konstruktionen bestemmes.

Eksempel 1 – Utæthed i gasbetongavl

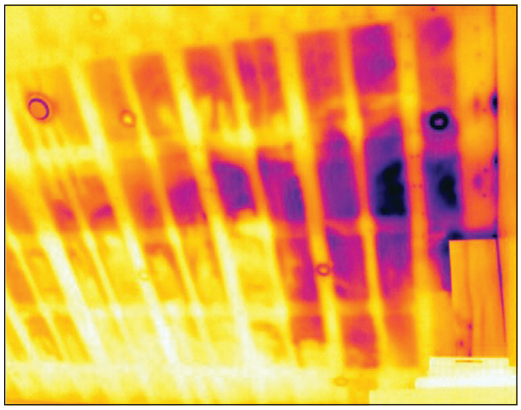
Billedet er taget i en tagkonstruktion og viser en termograferet gasbetongavl, hvor gasbetonen udgør det tætte lag i konstruktionen. I opholdszonen spartles væggen (hvilket gør konstruktionen tæt), men i den opvarmede skunk forbliver konstruktionen uspartlet. Det betyder (som termograferingsbilledet indikerer), at gavlvæggen i skunken er meget utæt og at der dermed opstår uhensigtsmæssig afkøling af rummet.



Figur 45. Manglende tætning i gasbetongavl.

Eksempel 2 – Utæthed ved rørføring

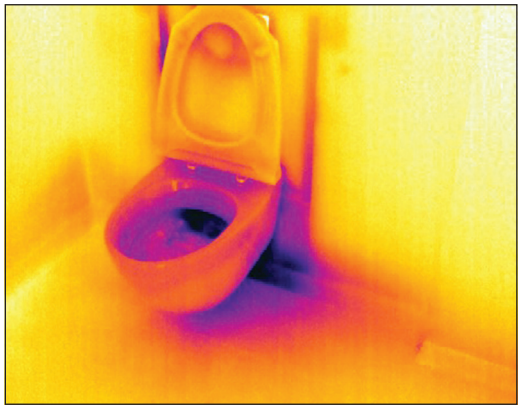
Billedet viser en termograferet tagkonstruktion, hvor rørføringen fra en emhætte er trukket igennem dampspærren uden korrekt tætning omkring røret. Luften fra utætheden fordeler sig derfor ud i forskallingslaget og kommer ud i rummet hvor det er muligt. I dette tilfælde er detaljen altså opbygget fagligt ukorrekt og skyldes således ikke et hul i tætningslaget.



Figur 46. Manglende tætning omkring rør.

Eksempel 3 – Utæthed ved toilet ud mod hulmur

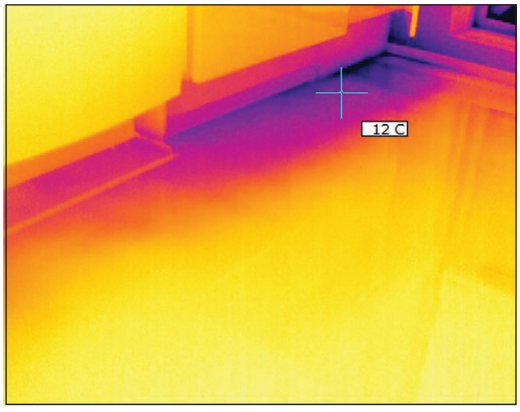
Billedet illustrerer et termografibillede af et væghængt toilet ud mod en hulmur. Som billedet indikerer er toiletkassen uden tætning, hvilket betyder at der er fri luftstrømning mellem rum og hulmur. Som i ovenstående eksempel er der altså også her tale om dårligt håndværk, hvilket har resulteret i manglende tætning.



Figur 47. Manglende tætning ved toilet mod hulmur.

Eksempel 4 – Utæthed ved fundament/ terrændæk

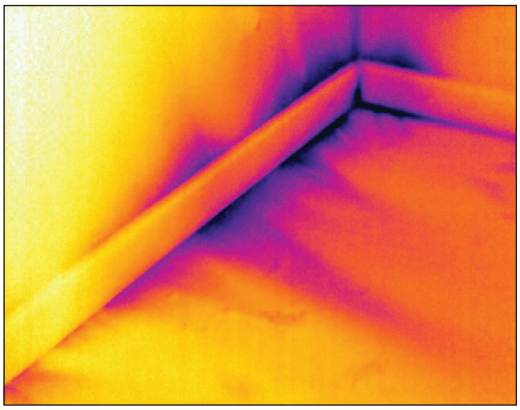
Billedet illustrerer et termograferet terrændæk, som bliver afkølet langs kanten af væggen pga. manglende tæthed i fundamentet. I dette tilfælde giver den manglende tæthed ikke anledning til luftstrømme i opholdszonen, men medfører derimod en afkøling af gulvet. Sagen vil derfor blive vurderet efter kuldebro-princippet, selv om kølingen i realiteten kommer fra en utæthed.

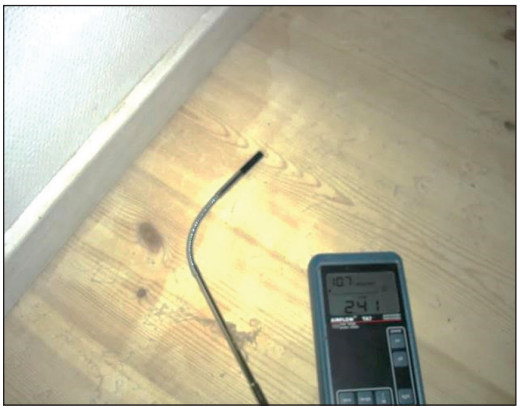


Figur 48. Manglende tætning ved fundament.

Eksempel 5 – Trækgener fra utæt fundament

Billedet illustrerer en utæt fundamentsamling, hvor der ved utætheden er blevet målt en strømningshastighed på 2,4 m/s med et varmetrådsanemometer og ved et undertryk på 50 Pa i bygningen. Utætheden har desuden en størrelse på ca. 0,5 m, hvilket medfører at luften ledes langs gulvet og direkte ind i opholdszonen. I dette tilfælde kan utætheden altså give anledning til trækgener (2,4 > 1,2 m/s) og bør stræks udbedres.



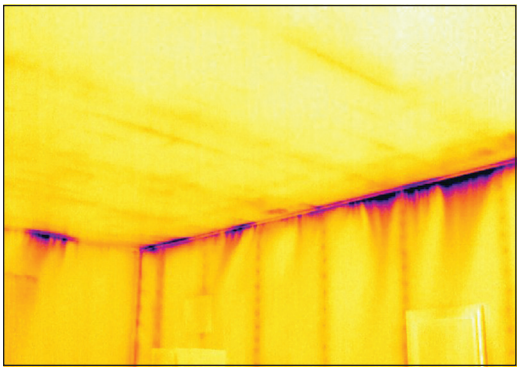


Figur 49. Utæthed ved fundamentet.

Eksempel 6 – Utæthed langs facaden

Billedet illustrer en termograferet loftkonstruktion, hvor utætheder langs facaden medfører tydelige luftstrømninger ned langs væggen. Luftstrømningerne blev målt til 2,5 m/s ved væggen med et etableret undertryk på 50 Pa.

En undersøgelse med røg illustrerede efterfølgende, at strømningerne nåede ind i opholdszonen. Utætheden blev derfor kategoriseret som kritisk (2,5 > 1,2 m/s) og en udbedring blev anbefalet.



Figur 50. Utæthed langs facade.

Eksempel 7 - Bestemmelse af meromkostning forårsaget af utætheder

I dette eksempel beregnes det årlige varmetab forårsaget af utætheder i et parcelhus på 150 m² og sammenholdes med kravet fra Bygningsreglementet. Derudover belyses de økonomiske konsekvenser. Der er vha. trykprøvning på 50 Pa blevet målt et samlet luftskifte gennem bygningens klimaskærm på 525 l/s. Der antages en energipris på 0,8 kr./kWh og en brugstid på 1.

Det målte luftskifte svarer til 3,5 l/s pr. m² opvarmet etageareal, hvilket overstiger 2010-kravet i Bygningsreglementet på 1,5 L/s pr. m² opvarmet etageareal. Bygningen overholder altså ikke kravet til tæthed.

Det årlige varmetab gennem utætheder i bygningen bestemmes som:

$$E_{utætheder} = 90{,}45 \cdot A \cdot \big((q_{50} \cdot 0{,}06 + 0{,}04) \cdot B + q_{50} \cdot 0{,}06 \cdot (1 - B)\big) \Rightarrow$$

$$E_{utætheder} = 90{,}45 \cdot 150 \cdot \big((3{,}5 \cdot 0{,}06 + 0{,}04) \cdot 1 + 3{,}5 \cdot 0{,}06 \cdot (1 - 1)\big) = 3392 \frac{kWh}{\text{år}}$$

Det årlige varmetab for utætheder jf. 2010-kravet bestemmes som:

$$E_{krav} = 90{,}45 \cdot 150 \cdot \big((1{,}5 \cdot 0{,}06 + 0{,}04) \cdot 1 + 1{,}5 \cdot 0{,}06 \cdot (1 - 1)\big) = 1764 \frac{kWh}{\text{år}}$$

Ved at udbedre utæthederne i bygningen, så bygningen efterlever kravene til 2010, kan de årlige varmeudgifter altså reduceres med:

$$Besparelse = (E_{utætheder} - E_{krav}) \cdot p_{varme} = (3392 - 1764) \cdot 0{,}8 = 1302 \frac{kr}{\text{år}}$$

6 Analyseværktøj

I forbindelse med udarbejdelsen af vejledningen er der blevet udviklet et analyseværktøj, som anvender den viden som er beskrevet i de foregående afsnit.

Værktøjet kan anvendes til at:

- Korrigere de målte overfladetemperaturer
- Undersøge om der er risiko for skimmelvækst
- Bestemme det samlede ekstra årlige varmetab forårsaget af afvigelser i konstruktionen.
- Bestemme de årlige ekstraomkostninger til varme forårsaget af afvigelser i konstruktionen.
- Værktøjet omfatter både kuldebroer og utætheder og er udarbejdet i Excel/VBA.

Værktøjet indeholder en:

- Forside
- Fane til behandling af termograferingsresultater i forbindelse med kuldebroer
- Fane til behandling af termograferingsresultater i forbindelse med utætheder

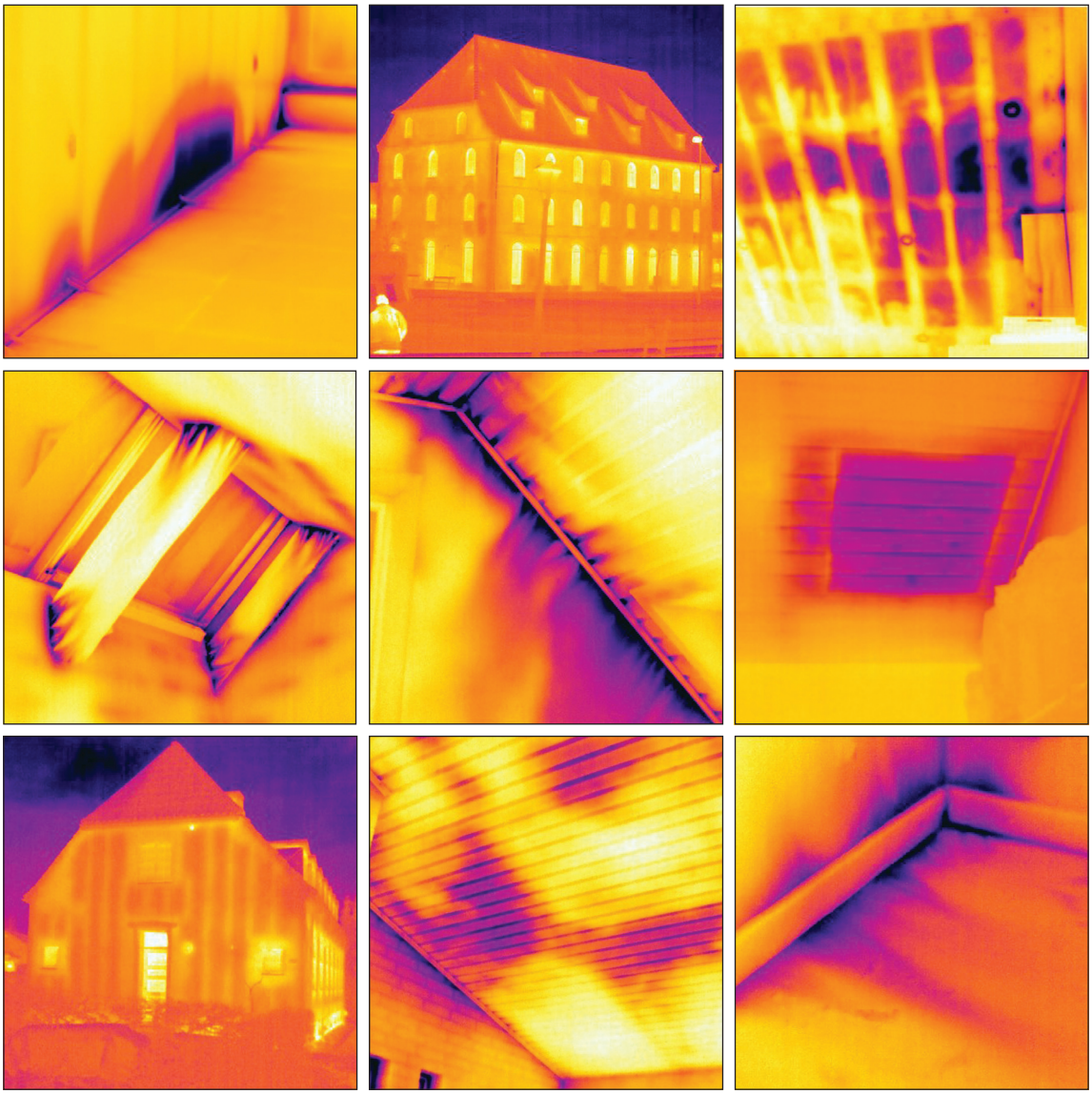
Værktøjet kan findes på følgende hjemmeside: **www.termografivejledning.dk**

Se appendiks F for yderligere beskrivelse af værktøjet.

Figur 50. Screenshots af brugerfladen.

Appendiks A

Beregningsdokumentation



Appendiks A - Beregningsdokumentation

I dette appendiks beskrives det hvorledes transmissionskoefficienten U bestemmes for hhv. lette og tunge konstruktioner samt hvordan overfladetemperaturen ved dampspærren bestemmes ud fra endimensionel varmestrømning.

A.1 Bestemmelse af U-værdi

Transmissionskoefficienten U beskriver konstruktionens evne til at isolere, hvor en lav U-værdi betyder at konstruktionen isolerer godt, mens en høj U-værdi betyder at konstruktionen isolerer dårligt.

For at reducere energiforbruget i Danmark, skærpes krævende til U-værdien således løbende i Bygningsreglementet. På nuværende tidspunkt er der følgende krav til U-værdien:

Ydervægge og kældervægge mod jord:	$U \leq 0{,}3$ W/m²K
Terrændæk, kældergulv mod jord og etageadskillelser over det fri:	$U \leq 0{,}2$ W/m²K
Loft- og tagkonstruktioner:	$U \leq 0{,}2$ W/m²K
Yderdøre og ovenlyskupler:	$U \leq 1{,}8$ W/m²K

For at kontrollere om konstruktionen overholder kravene i Bygningsreglementet, kan U-værdien bestemmes ud fra følgende formel (uden korrektion for sprækker og spalter i isoleringen):

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + \sum R} \qquad \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$$

hvor:

- R_{si} er den indvendige overgangsisolans [m2K/W], som kan aflæses af tabel 10
- R_{se} er den udvendig overgangsisolans [m2K/W], som kan aflæses af tabel 10
- Σ R er konstruktionens samlede isolans.

	Varmestrømmens retning		
	Opad	**Vandret**	**Nedad**
R_{si} (indvendig)	0,10	0,13	0,17
R_{se} (udvendig)	0,04	0,04	0,04
R_j (jord) for terrændæk	-	-	1,5
R_j (jord) for kældergulve	-	-	2,0
R_j (jord) for kældervægge, h ≤ 2 m	-	0,2 + 0,3h	-
R_j (jord) for kældervægge, h > 2 m	-	2,0	-

Tabel 10. Overgangsisolans. Tabel hentet fra DS 418.

Konstruktionens samlede isolans R kan derefter bestemmes for konstruktioner med hhv. homogene lag (ofte tunge konstruktioner) eller konstruktioner med uhomogene lag (ofte lette konstruktioner):

Isolans for konstruktion med homogene lag: $$\sum_{1}^{x} R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \cdots \frac{d_x}{\lambda_x} \qquad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$$

Isolans for konstruktion med inhomogene lag: $$\sum_{1}^{x} R = \frac{d_1}{\lambda'_1} + \frac{d_2}{\lambda'_2} + \frac{d_3}{\lambda'_3} + \cdots \frac{d_x}{\lambda'_x} \qquad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$$

hvor:

- d_1 er tykkelsen af materiale 1 [m], d2 er tykkelsen af materiale 2, d3 er tykkelsen af materiale 3 osv.
- λ_1 er varmeledningsevnen for materiale 1 [W/mK], λ 2 er varmeledningsevnen for materiale 2, λ 3 er varmeledningsevnen for materiale 3 osv.
- λ'_1 er den vægtede varmeledningsevne for materiale 1, λ'2 er den vægtede varmeledningsevne for materiale 2, λ'3 er den vægtede varmeledningsevne for materiale 3 osv.

Den vægtede varmeledningsevne for konstruktioner med uhomogene lag kan bestemmes ud fra følgende formel:

$$\lambda' = \frac{A_a \cdot \lambda_a + A_b \cdot \lambda_b + A_c \cdot \lambda_c + \cdots A_x \cdot \lambda_x}{A_a + A_b + A_c + \cdots A_x} \qquad \left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$$

hvor:

- A_a er arealet af materiale A [m²] i det inhomogene lag, Ab er arealet af materiale B i det inhomogene lag, Ac er arealet af materiale C i det inhomogene lag osv.
- λ_a er varmledningsevnen for materiale A [W/mK] i det inhomogene lag, λb er varmledningsevnen for materiale B i det inhomogene lag, λc er varmledningsevnen for materiale C i det inhomogene lag osv.

Hvis konstruktionen indeholder et svagt ventileret hulrum skal isolansen for dette lag bestemmes på anden vis (se DS 418, 6 udgave, kap. 6.4).

Hvis konstruktionen indeholder et ventileret hulrum skal isolansen af hulrummet, inkl. alle lag mellem hulrum og udvendig overflade, erstattes af den indvendige overgangsisolans.

For korrektion ift. sprækker og spalter i isoleringen, se DS 418.

Se afsnit A.3 og A.4 for bestemmelse af transmissionskoefficienten for hhv. en tung og en let ydervægskonstruktion.

A.2 Bestemmelse af overfladetemperaturer

Dette afsnit omfatter en beskrivelse af hvordan temperaturen inde i konstruktionen kan bestemmes ved antagelse af endimensionelle varmestrømme.

Overfladetemperaturen i materialelaget x [°C] bestemmes ud fra følgende ligning (Danvak, 1997):

$$T_{o,x} = T_{x-1} - \Delta T \cdot \frac{R_{x-1}}{R_{si} + R_{se} + \sum R}$$

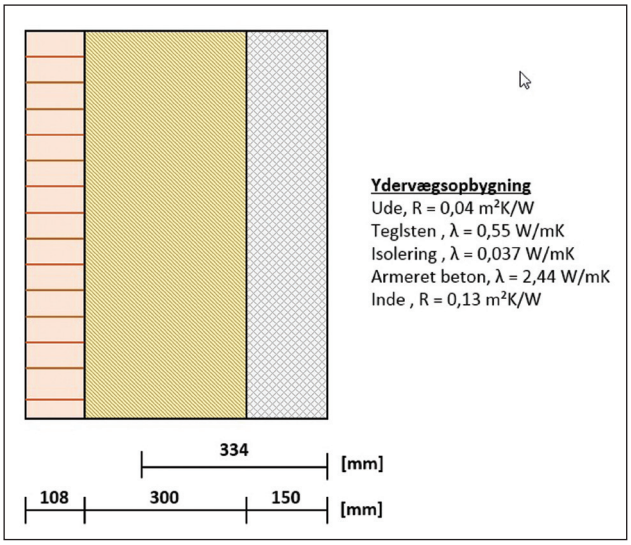
hvor:

- T_{x-1} er temperaturen i materialelaget før x [°C]
- ΔT er temperaturdifferensen mellem inde og ude $\Delta T = T_i - T_u$ *[°C]*
- R_x er isolansen for materialelaget x [m2K/W]

Se afsnit A.4 for bestemmelse af temperaturen ved dampspærren for en let ydervægskonstruktion.

A.3 Eksempel 1 – Tung ydervæg

I dette eksempel bestemmes transmissionskoefficienten U for en tung ydervægskonstruktion, opbygget som illustreret ved nedenstående figur. I eksemplet undersøges det om U-værdien overholder Bygningsreglementets (BR10) krav på maks. 0,3 W/m²K.



Figur 52.Ydervægsopbygning

For at kunne bestemme U-værdien, skal konstruktionens samlede isolans først bestemmes. I dette tilfælde er konstruktionen homogen, hvorfor isolansen bliver:

$$\sum R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{108mm}{0{,}55W/mK} + \frac{300mm}{0{,}037W/mK} + \frac{150mm}{2{,}44W/mK} = 8{,}37m^2K/W$$

Med den beregnede isolans kan U-værdien nu bestemmes:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + \sum R} = \frac{1}{0{,}13 + 0{,}04 + 8{,}37} = 0{,}12W/m^2K$$

U-værdien er altså lavere end kravet på 0,3 W/m²K, hvilket betyder at konstruktionen overholder kravet fra Bygningsreglementet (BR10).

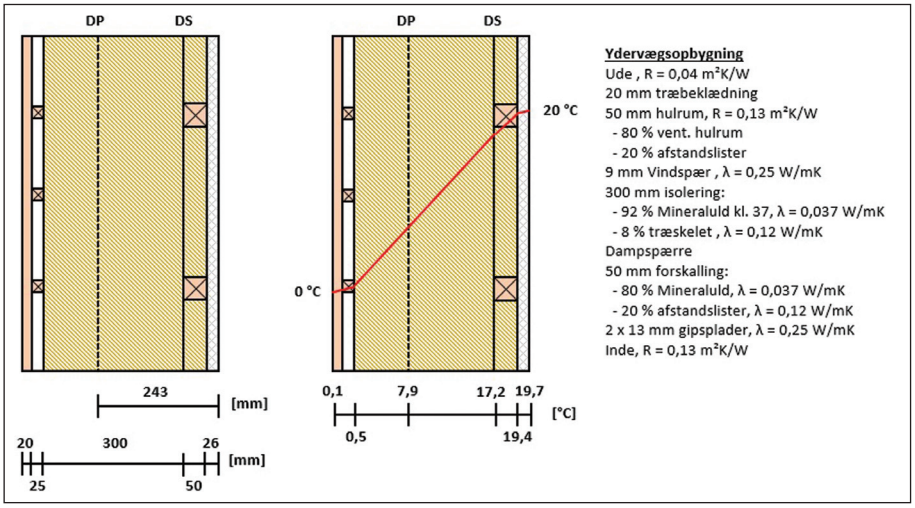
A.4 Eksempel 2 – Let ydervæg

I dette eksempel bestemmes følgende:

- Transmissionskoefficienten U for at kontrollere om U-værdien overholder Bygningsreglementets (BR10) krav på maks. 0,3 W/m²K
- Dugpunktet DP for at kontrollere om dugpunktet er placeret på den rigtige side af dampspærren DS
- Temperaturen ved dampspærren for at kontrollere om denne giver anledning til skimmelvækst

Eksemplet udføres for en let ydervægskonstruktion opbygget som illustreret ved nedenstående figur og med følgende forudsætninger:

- Indetemperatur på 20°C
- Udetemperatur på 0°C
- Indvendig relativ luftfugtighed på 45 procent
- Varmestrømmen gennem konstruktionen foregår endimensionelt



Figur 53. Fra venstre: "Ydervægsopbygning" og "Temperaturforløb gennem konstruktion"

Transmissionskoefficienten U

For at kunne bestemme U-værdien, skal konstruktionens samlede isolans først bestemmes. I dette tilfælde består konstruktionen af uhomogene lag og et ventileret hulrum, hvorfor isolansen bestemmes som:

$$\sum R = R_{vent} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda'_2} + \frac{d_3}{\lambda'_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} =$$

$$0{,}13\frac{W}{m^2K} + \frac{9mm}{0{,}25\frac{W}{mK}} + \frac{300mm}{0{,}92 \cdot 0{,}037\frac{W}{mK} + 0{,}08 \cdot 0{,}12\frac{W}{mK}} +$$

$$\frac{50mm}{0{,}80 \cdot 0{,}037\frac{W}{mK} + 0{,}10 \cdot 0{,}12\frac{W}{mK}} + \frac{26mm}{0{,}25\frac{W}{mK}} = 8{,}08\frac{m^2K}{W}$$

Med den beregnede isolans kan U-værdien nu bestemmes:

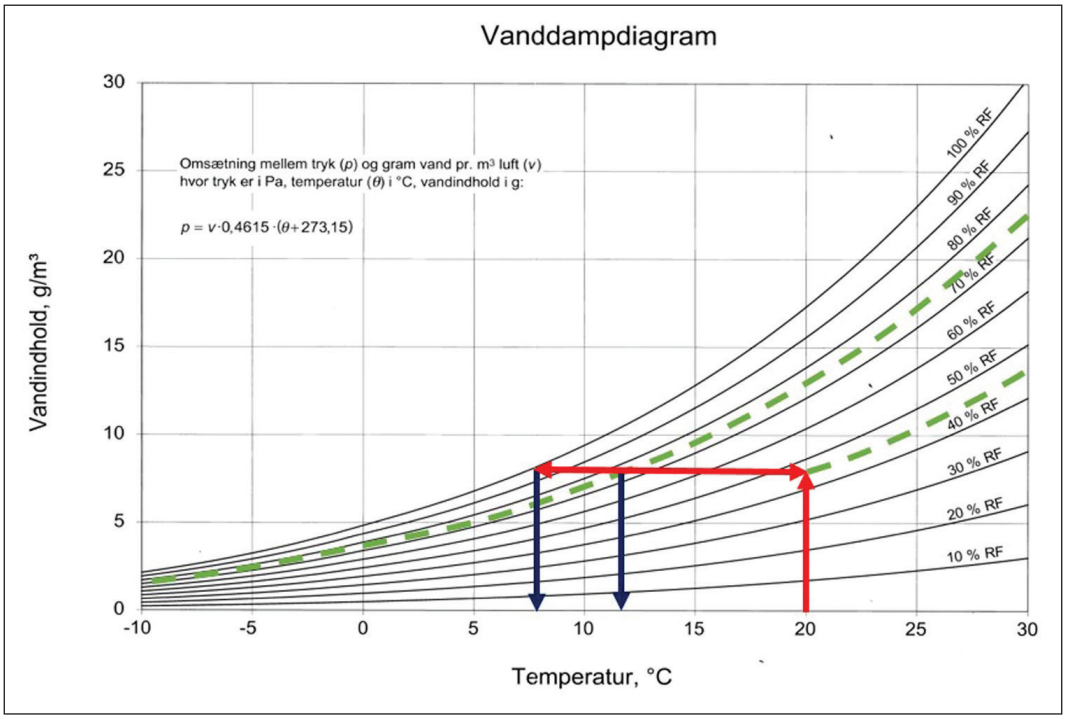
$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + \sum R} = \frac{1}{0{,}13 + 0{,}04 + 8{,}08} = 0{,}12 \frac{W}{m^2K}$$

Teoretisk bestemmelse af dugpunkt og skimmelvækst

Dugpunktet beskriver den temperatur, hvormed der opstår kondens (100 % fugtighed) og er afhængig af den indvendige lufttemperatur og den relative luftfugtighed.

Skimmelvækst beskriver den temperatur, hvormed der er risiko for skimmelvækst (75 % fugtighed).

Dugpunktstemperaturen og skimmelvæksttemperaturen kan aflæses på nedenstående vanddampsdiagram til hhv. ca. 8 og 12 °C.



Figur 54. Vanddampsdiagram

Teoretisk temperaturforløb gennem konstruktionen

Temperaturforløbet gennem konstruktionen kan overslagsmæssigt bestemmes som endimensionelle strømninger, vha. formlen beskrevet i afsnit A.2:

$$T_{gips} = 20°C - 20°C \cdot \frac{0{,}13 \frac{W}{m^2K}}{8{,}25 \frac{m^2K}{W}} = 19{,}7°C \ , hvor\ R_{si} = 0{,}13 \frac{W}{m^2K}$$

$$T_{forskalling} = 19{,}7°C - 20°C \cdot \frac{0{,}10 \frac{W}{m^2K}}{8{,}25 \frac{m^2K}{W}} = 19{,}4°C \ , hvor\ R_{gips} = 0{,}10 \frac{W}{m^2K}$$

$$T_{dampspær} = 19{,}4°C - 20°C \cdot \frac{0{,}93\frac{W}{m^2K}}{8{,}25\frac{m^2K}{W}} = 17{,}2°C \ , hvor\ R_{forskalling} = 0{,}93\frac{W}{m^2K}$$

$$T_{vindspær} = 17{,}2°C - 20°C \cdot \frac{6{,}87\frac{W}{m^2K}}{8{,}25\frac{m^2K}{W}} = 0{,}5°C \ , hvor\ R_{isolering} = 6{,}87\frac{W}{m^2K}$$

$$T_{hulrum} = 0{,}5°C - 20°C \cdot \frac{0{,}036\frac{W}{m^2K}}{8{,}25\frac{m^2K}{W}} = 0{,}4°C \ , hvor\ R_{vindspær} = 0{,}036\frac{W}{m^2K}$$

$$T_{træbeklædning} = 0{,}4°C - 20°C \cdot \frac{0{,}13\frac{W}{m^2K}}{8{,}25\frac{m^2K}{W}} = 0{,}1°C \ , hvor\ R_{hulrum} = 0{,}13\frac{W}{m^2K}$$

hvor:

$$R_{si} + R_{se} + \sum R = 8{,}25\frac{m^2K}{W}$$

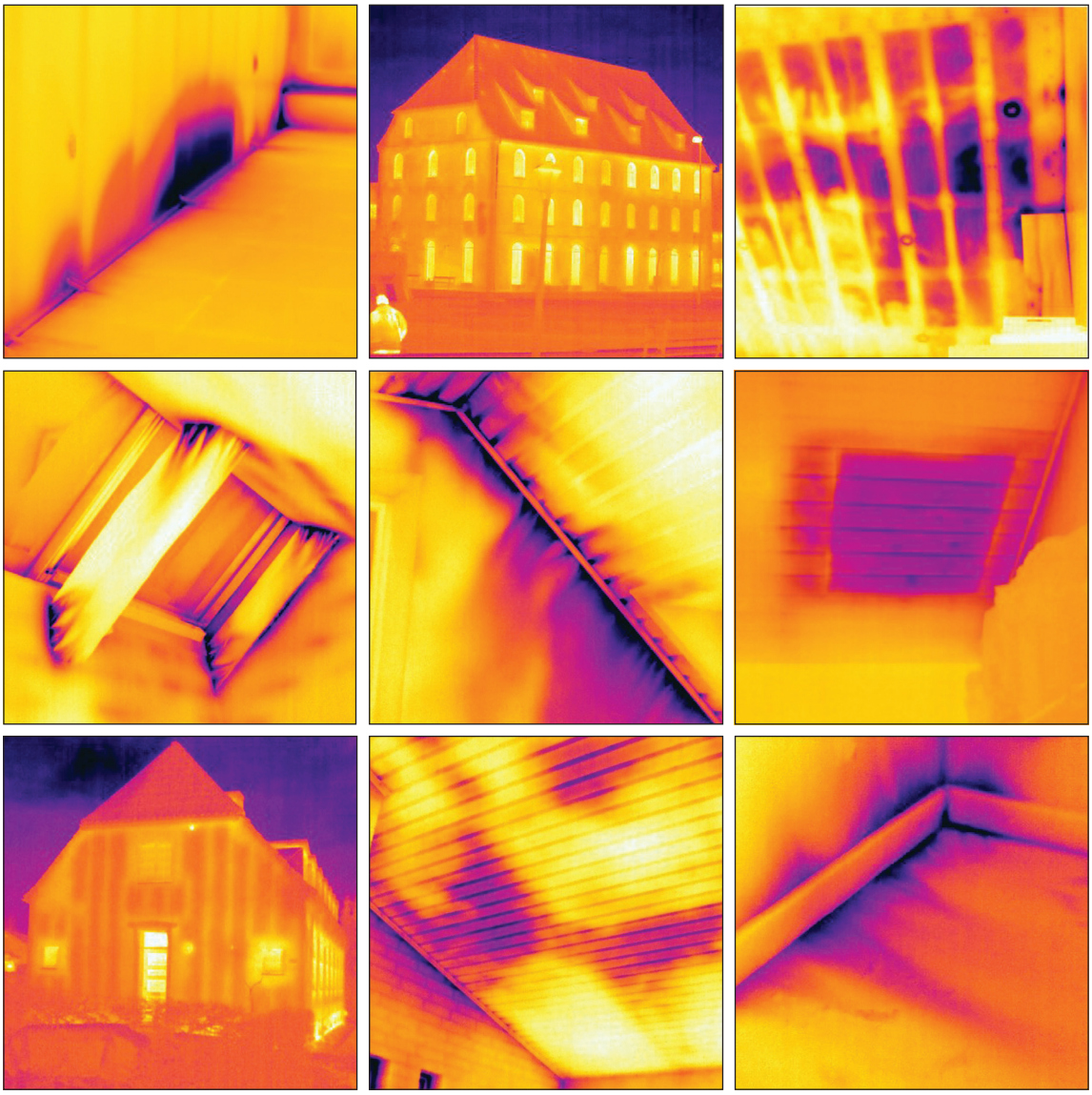
Konklusion

Der kan konkluderes følgende:

- U-værdien på 0,12 W/m²K er lavere end kravet på 0,3 W/m²K, hvorfor ydervægskonstruktionen overholder kravet fra Bygningsreglementet (BR10).
- Dugpunktet ligger i isoleringslaget mellem dampspærren og vindspærret.
- Temperaturen ved dampspærren er over den kritiske overfladetemperatur ift. skimmelvækst (17,2°C > 12°C).

Appendiks B

Korrektion af overfladetemperaturer



TEKNOLOGISK INSTITUT
BOLIUS
ISOLINK BlowerDoor • Termografering
Dansk infrarød INSPEKTION

Appendiks B - Korrektion af overfladetemperaturer

Dette appendiks omfatter en beskrivelse af hvordan:
Målte overfladetemperaturer og overfladetemperaturdifferenser med en given inde- og udetemperatur kan korrigeres, så de matcher en bestemt inde- og udetemperatur.
Beregnede overfladetemperaturer med en bestemt inde- og udetemperatur kan korrigeres, så de matcher målte inde- og udetemperaturer.

B.1 Korrektion af målte overfladetemperaturer

Dette afsnit omhandler en beskrivelse af hvordan de målte overfladetemperaturer og overfladetemperaturdifferenser kan korrigeres, så de matcher en bestemt inde- og udetemperatur.

Overfladetemperatur på indvendig overflade

Overfladetemperaturen målt på den indvendige overflade af en konstruktion kan, ved antagelse af lineære forhold mellem overfladetemperaturen og differensen mellem inde- og udetemperaturen, korrigeres ud fra følgende formel:

$$T_{o,kor} = T_{i,kor} - \frac{(T_i - T_{oi})}{(T_i - T_u)} \cdot (T_{i,kor} - T_{u,kor})$$

hvor:

- $T_{o,kor}$ = den korrigerede overfladetemperatur
- $T_{i,kor}$ = den korrigerede indetemperatur
- $T_{u,kor}$ = den korrigerede udetemperatur
- T_{oi} = den målte indvendige overfladetemperatur
- T_i = den målte indvendige lufttemperatur
- T_u = den målte udvendige lufttemperatur

Med en korrigeret indetemperatur på 20 °C og en korrigeret udetemperatur på 0 °C giver det følgende formel:

$$T_{o,kor} = 20 - \frac{(T_i - T_{oi})}{(T_i - T_u)} \cdot 20$$

Ud fra denne formel er tabel 11 udarbejdet.

Overfladetemperatur på udvendig overflade

Overfladetemperaturen målt på den udvendige overflade af en konstruktion kan, ved antagelse af lineære forhold mellem overfladetemperaturen og differensen mellem inde- og udetemperaturen, korrigeres ud fra følgende formel:

$$T_{o,kor} = T_{u,kor} + \frac{(T_u - T_{ou})}{(T_i - T_u)} \cdot (T_{i,kor} - T_{u,kor})$$

- hvor T_{ou} = den målte udvendige overfladetemperatur

Med en korrigeret indetemperatur på 20 °C og en korrigeret udetemperatur på 0 °C giver det følgende formel:

$$T_{o,kor} = 0 + \frac{(T_u - T_{ou})}{(T_i - T_u)} \cdot 20$$

Ud fra denne formel er tabel 12 udarbejdet.

Overfladetemperaturdifferens

Den største temperaturdifferens målt på den ind- og udvendige overflade af en konstruktion kan, ved antagelse af lineære forhold mellem overfladetemperaturdifferensen og forskellen mellem inde- og udetemperaturen, korrigeres ud fra følgende formel:

$$\Delta T_{o,kor} = \frac{\Delta T}{(T_i - T_u)} \cdot \left(T_{i,kor} - T_{u,kor}\right)$$

hvor:

- $\Delta T_{o,kor}$ = den korrigerede overfladetemperaturdifferens
- ΔT = den målte overfladetemperaturdifferens

Med en korrigeret indetemperatur på 20 °C og en korrigeret udetemperatur på 0 °C giver det følgende formel:

$$\Delta T_{o,kor} = \frac{\Delta T}{(T_i - T_u)} \cdot 20$$

Ud fra denne formel er tabel 13 udarbejdet.

B.2 Korrektion af beregnede overfladetemperaturer

Dette afsnit omhandler en beskrivelse af hvordan beregnede overfladetemperaturer og overfladetemperaturdifferenser kan korrigeres, så de matcher målte inde- og udetemperaturer.

Overfladetemperatur på indvendig overflade

Den beregnede overfladetemperatur på den indvendige overflade kan, ved antagelse af lineære forhold mellem overfladetemperaturen og differensen mellem inde- og udetemperaturen, korrigeres ud fra følgende formel:

$$T_{o,kor} = \frac{T_{o,beregn}}{\left(T_{i,beregn} - T_{u,beregn}\right)} \cdot (T_i - T_u)$$

hvor:

- $T_{o,beregn}$ = den beregnede overfladetemperatur
- $T_{i,beregn}$ = den beregnede indetemperatur
- $T_{u,beregn}$ = den beregnede udetemperatur

Med en beregnet indetemperatur på 20 °C og en beregnet udetemperatur på 0 °C giver det følgende formel:

$$T_{o,kor} = \frac{T_{o,beregnet}}{20} \cdot (T_i - T_u)$$

Ud fra denne formel er tabel 14 og 15 udarbejdet.

Overfladetemperaturdifferens

Den beregnet største overfladetemperaturdifferens på den ind- og udvendige overflade kan, ved antagelse af lineære forhold mellem overfladetemperaturdifferensen og forskellen mellem inde- og udetemperaturen, korrigeres ud fra følgende formel:

$$\Delta T_{o,kor} = \frac{\Delta T_{o,beregn}}{\left(T_{i,beregn} - T_{u,beregn}\right)} \cdot (T_i - T_u)$$

hvor $\Delta T_{o,beregnet}$ = den beregnede overfladetemperaturdifferens

Med en beregnet indetemperatur på 20 °C og en beregnet udetemperatur på 0 °C giver det følgende formel:

$$\Delta T_{o,kor} = \frac{\Delta T_{o,beregn}}{20} \cdot (T_i - T_u)$$

Ud fra denne formel er tabel 16 udarbejdet.

B.3 Eksempel på anvendelse af tabeller

Den målte indvendige overfladetemperatur ønskes korrigeret så den matcher en udetemperatur på 0 °C og en indetemperatur på 20 °C.

Der er målt følgende temperaturer:

- Indetemperatur Ti på 22 °C
- Udetemperatur Tu på -5 °C
- Indvendig overfladetemperatur To på 15 °C

Dette giver følgende temperaturdifferenser:

- ΔT_1 = 22 °C - 15 °C = 7 °C
- ΔT_2 = 22 °C – (-5 °C) = 27 °C

Ved at anvende ovenstående temperaturdifferenser i tabel 11 fås en korrigeret overfladetemperatur på 14,8 °C.

Målt udetemperatur, T_u - målt indetemperatur, T_i	Målt indetemperatur, T_i - målt indvendig overfladetemperatur, T_o																				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
10	20,0	19,0	18,0	17,0	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,0
11	20,0	19,1	18,2	17,3	16,4	15,5	14,5	13,6	12,7	11,8	10,9	10,0	9,1	8,2	7,3	6,4	5,5	4,5	3,6	2,7	1,8
12	20,0	19,2	18,3	17,5	16,7	15,8	15,0	14,2	13,3	12,5	11,7	10,8	10,0	9,2	8,3	7,5	6,7	5,8	5,0	4,2	3,3
13	20,0	19,2	18,5	17,7	16,9	16,2	15,4	14,6	13,8	13,1	12,3	11,5	10,8	10,0	9,2	8,5	7,7	6,9	6,2	5,4	4,6
14	20,0	19,3	18,6	17,9	17,1	16,4	15,7	15,0	14,3	13,6	12,9	12,1	11,4	10,7	10,0	9,3	8,6	7,9	7,1	6,4	5,7
15	20,0	19,3	18,7	18,0	17,3	16,7	16,0	15,3	14,7	14,0	13,3	12,7	12,0	11,3	10,7	10,0	9,3	8,7	8,0	7,3	6,7
16	20,0	19,4	18,8	18,1	17,5	16,9	16,3	15,6	15,0	14,4	13,8	13,1	12,5	11,9	11,3	10,6	10,0	9,4	8,8	8,1	7,5
17	20,0	19,4	18,8	18,2	17,6	17,1	16,5	15,9	15,3	14,7	14,1	13,5	12,9	12,4	11,8	11,2	10,6	10,0	9,4	8,8	8,2
18	20,0	19,4	18,9	18,3	17,8	17,2	16,7	16,1	15,6	15,0	14,4	13,9	13,3	12,8	12,2	11,7	11,1	10,6	10,0	9,4	8,9
19	20,0	19,5	18,9	18,4	17,9	17,4	16,8	16,3	15,8	15,3	14,7	14,2	13,7	13,2	12,6	12,1	11,6	11,1	10,5	10,0	9,5
20	20,0	19,5	19,0	18,5	18,0	17,5	17,0	16,5	16,0	15,5	15,0	14,5	14,0	13,5	13,0	12,5	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0
21	20,0	19,5	19,0	18,6	18,1	17,6	17,1	16,7	16,2	15,7	15,2	14,8	14,3	13,8	13,3	12,9	12,4	11,9	11,4	11,0	10,5
22	20,0	19,5	19,1	18,6	18,2	17,7	17,3	16,8	16,4	15,9	15,5	15,0	14,5	14,1	13,6	13,2	12,7	12,3	11,8	11,4	10,9
23	20,0	19,6	19,1	18,7	18,3	17,8	17,4	17,0	16,5	16,1	15,7	15,2	14,8	14,3	13,9	13,5	13,0	12,6	12,2	11,7	11,3
24	20,0	19,6	19,2	18,8	18,3	17,9	17,5	17,1	16,7	16,3	15,8	15,4	15,0	14,6	14,2	13,8	13,3	12,9	12,5	12,1	11,7
25	20,0	19,6	19,2	18,8	18,4	18,0	17,6	17,2	16,8	16,4	16,0	15,6	15,2	14,8	14,4	14,0	13,6	13,2	12,8	12,4	12,0
26	20,0	19,6	19,2	18,8	18,5	18,1	17,7	17,3	16,9	16,5	16,2	15,8	15,4	15,0	14,6	14,2	13,8	13,5	13,1	12,7	12,3
27	20,0	19,6	19,3	18,9	18,5	18,1	17,8	17,4	17,0	16,7	16,3	15,9	15,6	15,2	14,8	14,4	14,1	13,7	13,3	13,0	12,6
28	20,0	19,6	19,3	18,9	18,6	18,2	17,9	17,5	17,1	16,8	16,4	16,1	15,7	15,4	15,0	14,6	14,3	13,9	13,6	13,2	12,9
29	20,0	19,7	19,3	19,0	18,6	18,3	17,9	17,6	17,2	16,9	16,6	16,2	15,9	15,5	15,2	14,8	14,5	14,1	13,8	13,4	13,1
30	20,0	19,7	19,3	19,0	18,7	18,3	18,0	17,7	17,3	17,0	16,7	16,3	16,0	15,7	15,3	15,0	14,7	14,3	14,0	13,7	13,3
31	20,0	19,7	19,4	19,0	18,7	18,4	18,1	17,7	17,4	17,1	16,8	16,5	16,1	15,8	15,5	15,2	14,8	14,5	14,2	13,9	13,5
32	20,0	19,7	19,4	19,1	18,8	18,4	18,1	17,8	17,5	17,2	16,9	16,6	16,3	15,9	15,6	15,3	15,0	14,7	14,4	14,1	13,8
33	20,0	19,7	19,4	19,1	18,8	18,5	18,2	17,9	17,6	17,3	17,0	16,7	16,4	16,1	15,8	15,5	15,2	14,8	14,5	14,2	13,9
34	20,0	19,7	19,4	19,1	18,8	18,5	18,2	17,9	17,6	17,4	17,1	16,8	16,5	16,2	15,9	15,6	15,3	15,0	14,7	14,4	14,1
35	20,0	19,7	19,4	19,1	18,9	18,6	18,3	18,0	17,7	17,4	17,1	16,9	16,6	16,3	16,0	15,7	15,4	15,1	14,9	14,6	14,3

Figur 55. Korrektion af overfladetemperatur

Målt udetemperatur, T_u - målt indetemperatur, T_i	Målt indetemperatur, T_i - målt indvendig overfladetemperatur, T_o																				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
10	20,0	19,0	18,0	17,0	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,0
11	20,0	19,1	18,2	17,3	16,4	15,5	14,5	13,6	12,7	11,8	10,9	10,0	9,1	8,2	7,3	6,4	5,5	4,5	3,6	2,7	1,8
12	20,0	19,2	18,3	17,5	16,7	15,8	15,0	14,2	13,3	12,5	11,7	10,8	10,0	9,2	8,3	7,5	6,7	5,8	5,0	4,2	3,3
13	20,0	19,2	18,5	17,7	16,9	16,2	15,4	14,6	13,8	13,1	12,3	11,5	10,8	10,0	9,2	8,5	7,7	6,9	6,2	5,4	4,6
14	20,0	19,3	18,6	17,9	17,1	16,4	15,7	15,0	14,3	13,6	12,9	12,1	11,4	10,7	10,0	9,3	8,6	7,9	7,1	6,4	5,7
15	20,0	19,3	18,7	18,0	17,3	16,7	16,0	15,3	14,7	14,0	13,3	12,7	12,0	11,3	10,7	10,0	9,3	8,7	8,0	7,3	6,7
16	20,0	19,4	18,8	18,1	17,5	16,9	16,3	15,6	15,0	14,4	13,8	13,1	12,5	11,9	11,3	10,6	10,0	9,4	8,8	8,1	7,5
17	20,0	19,4	18,8	18,2	17,6	17,1	16,5	15,9	15,3	14,7	14,1	13,5	12,9	12,4	11,8	11,2	10,6	10,0	9,4	8,8	8,2
18	20,0	19,4	18,9	18,3	17,8	17,2	16,7	16,1	15,6	15,0	14,4	13,9	13,3	12,8	12,2	11,7	11,1	10,6	10,0	9,4	8,9
19	20,0	19,5	18,9	18,4	17,9	17,4	16,8	16,3	15,8	15,3	14,7	14,2	13,7	13,2	12,6	12,1	11,6	11,1	10,5	10,0	9,5
20	20,0	19,5	19,0	18,5	18,0	17,5	17,0	16,5	16,0	15,5	15,0	14,5	14,0	13,5	13,0	12,5	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0
21	20,0	19,5	19,0	18,6	18,1	17,6	17,1	16,7	16,2	15,7	15,2	14,8	14,3	13,8	13,3	12,9	12,4	11,9	11,4	11,0	10,5
22	20,0	19,5	19,1	18,6	18,2	17,7	17,3	16,8	16,4	15,9	15,5	15,0	14,5	14,1	13,6	13,2	12,7	12,3	11,8	11,4	10,9
23	20,0	19,6	19,1	18,7	18,3	17,8	17,4	17,0	16,5	16,1	15,7	15,2	14,8	14,3	13,9	13,5	13,0	12,6	12,2	11,7	11,3
24	20,0	19,6	19,2	18,8	18,3	17,9	17,5	17,1	16,7	16,3	15,8	15,4	15,0	14,6	14,2	13,8	13,3	12,9	12,5	12,1	11,7
25	20,0	19,6	19,2	18,8	18,4	18,0	17,6	17,2	16,8	16,4	16,0	15,6	15,2	14,8	14,4	14,0	13,6	13,2	12,8	12,4	12,0
26	20,0	19,6	19,2	18,8	18,5	18,1	17,7	17,3	16,9	16,5	16,2	15,8	15,4	15,0	14,6	14,2	13,8	13,5	13,1	12,7	12,3
27	20,0	19,6	19,3	18,9	18,5	18,1	17,8	17,4	17,0	16,7	16,3	15,9	15,6	15,2	14,8	14,4	14,1	13,7	13,3	13,0	12,6
28	20,0	19,6	19,3	18,9	18,6	18,2	17,9	17,5	17,1	16,8	16,4	16,1	15,7	15,4	15,0	14,6	14,3	13,9	13,6	13,2	12,9
29	20,0	19,7	19,3	19,0	18,6	18,3	17,9	17,6	17,2	16,9	16,6	16,2	15,9	15,5	15,2	14,8	14,5	14,1	13,8	13,4	13,1
30	20,0	19,7	19,3	19,0	18,7	18,3	18,0	17,7	17,3	17,0	16,7	16,3	16,0	15,7	15,3	15,0	14,7	14,3	14,0	13,7	13,3
31	20,0	19,7	19,4	19,0	18,7	18,4	18,1	17,7	17,4	17,1	16,8	16,5	16,1	15,8	15,5	15,2	14,8	14,5	14,2	13,9	13,5
32	20,0	19,7	19,4	19,1	18,8	18,4	18,1	17,8	17,5	17,2	16,9	16,6	16,3	15,9	15,6	15,3	15,0	14,7	14,4	14,1	13,8
33	20,0	19,7	19,4	19,1	18,8	18,5	18,2	17,9	17,6	17,3	17,0	16,7	16,4	16,1	15,8	15,5	15,2	14,8	14,5	14,2	13,9
34	20,0	19,7	19,4	19,1	18,8	18,5	18,2	17,9	17,6	17,4	17,1	16,8	16,5	16,2	15,9	15,6	15,3	15,0	14,7	14,4	14,1
35	20,0	19,7	19,4	19,1	18,9	18,6	18,3	18,0	17,7	17,4	17,1	16,9	16,6	16,3	16,0	15,7	15,4	15,1	14,9	14,6	14,3

Tabel 11. Korrektion af den målte indvendige overfladetemperatur

Målt indetemperatur, T_i - målt udetemperatur, T_u	Målt udetemperatur, T_u - målt udvendig overfladetemperatur, T_o																				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
10	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0
11	0,0	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1	10,0	10,9	11,8	12,7	13,6	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
12	0,0	0,8	1,7	2,5	3,3	4,2	5,0	5,8	6,7	7,5	8,3	9,2	10,0	10,8	11,7	12,5	13,3	14,2	15,0	15,8	16,7
13	0,0	0,8	1,5	2,3	3,1	3,8	4,6	5,4	6,2	6,9	7,7	8,5	9,2	10,0	10,8	11,5	12,3	13,1	13,8	14,6	15,4
14	0,0	0,7	1,4	2,1	2,9	3,6	4,3	5,0	5,7	6,4	7,1	7,9	8,6	9,3	10,0	10,7	11,4	12,1	12,9	13,6	14,3
15	0,0	0,7	1,3	2,0	2,7	3,3	4,0	4,7	5,3	6,0	6,7	7,3	8,0	8,7	9,3	10,0	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3
16	0,0	0,6	1,3	1,9	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	5,6	6,3	6,9	7,5	8,1	8,8	9,4	10,0	10,6	11,3	11,9	12,5
17	0,0	0,6	1,2	1,8	2,4	2,9	3,5	4,1	4,7	5,3	5,9	6,5	7,1	7,6	8,2	8,8	9,4	10,0	10,6	11,2	11,8
18	0,0	0,6	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	5,0	5,6	6,1	6,7	7,2	7,8	8,3	8,9	9,4	10,0	10,6	11,1
19	0,0	0,5	1,1	1,6	2,1	2,6	3,2	3,7	4,2	4,7	5,3	5,8	6,3	6,8	7,4	7,9	8,4	8,9	9,5	10,0	10,5
20	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
21	0,0	0,5	1,0	1,4	1,9	2,4	2,9	3,3	3,8	4,3	4,8	5,2	5,7	6,2	6,7	7,1	7,6	8,1	8,6	9,0	9,5
22	0,0	0,5	0,9	1,4	1,8	2,3	2,7	3,2	3,6	4,1	4,5	5,0	5,5	5,9	6,4	6,8	7,3	7,7	8,2	8,6	9,1
23	0,0	0,4	0,9	1,3	1,7	2,2	2,6	3,0	3,5	3,9	4,3	4,8	5,2	5,7	6,1	6,5	7,0	7,4	7,8	8,3	8,7
24	0,0	0,4	0,8	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,3	6,7	7,1	7,5	7,9	8,3
25	0,0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0
26	0,0	0,4	0,8	1,2	1,5	1,9	2,3	2,7	3,1	3,5	3,8	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,5	6,9	7,3	7,7
27	0,0	0,4	0,7	1,1	1,5	1,9	2,2	2,6	3,0	3,3	3,7	4,1	4,4	4,8	5,2	5,6	5,9	6,3	6,7	7,0	7,4
28	0,0	0,4	0,7	1,1	1,4	1,8	2,1	2,5	2,9	3,2	3,6	3,9	4,3	4,6	5,0	5,4	5,7	6,1	6,4	6,8	7,1
29	0,0	0,3	0,7	1,0	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8	3,1	3,4	3,8	4,1	4,5	4,8	5,2	5,5	5,9	6,2	6,6	6,9
30	0,0	0,3	0,7	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0	4,3	4,7	5,0	5,3	5,7	6,0	6,3	6,7
31	0,0	0,3	0,6	1,0	1,3	1,6	1,9	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,9	4,2	4,5	4,8	5,2	5,5	5,8	6,1	6,5
32	0,0	0,3	0,6	0,9	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	6,3
33	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,2	5,5	5,8	6,1
34	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9
35	0,0	0,3	0,6	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	4,9	5,1	5,4	5,7

Tabel 12. Korrektion af den målte udvendige overfladetemperatur

Målt indetemperatur, T_i - målt udetemperatur, T_u	Maksimal målt overfladetemperaturdifferens, ΔTo																				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
10	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0
11	0,0	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1	10,0	10,9	11,8	12,7	13,6	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
12	0,0	0,8	1,7	2,5	3,3	4,2	5,0	5,8	6,7	7,5	8,3	9,2	10,0	10,8	11,7	12,5	13,3	14,2	15,0	15,8	16,7
13	0,0	0,8	1,5	2,3	3,1	3,8	4,6	5,4	6,2	6,9	7,7	8,5	9,2	10,0	10,8	11,5	12,3	13,1	13,8	14,6	15,4
14	0,0	0,7	1,4	2,1	2,9	3,6	4,3	5,0	5,7	6,4	7,1	7,9	8,6	9,3	10,0	10,7	11,4	12,1	12,9	13,6	14,3
15	0,0	0,7	1,3	2,0	2,7	3,3	4,0	4,7	5,3	6,0	6,7	7,3	8,0	8,7	9,3	10,0	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3
16	0,0	0,6	1,3	1,9	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	5,6	6,3	6,9	7,5	8,1	8,8	9,4	10,0	10,6	11,3	11,9	12,5
17	0,0	0,6	1,2	1,8	2,4	2,9	3,5	4,1	4,7	5,3	5,9	6,5	7,1	7,6	8,2	8,8	9,4	10,0	10,6	11,2	11,8
18	0,0	0,6	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	5,0	5,6	6,1	6,7	7,2	7,8	8,3	8,9	9,4	10,0	10,6	11,1
19	0,0	0,5	1,1	1,6	2,1	2,6	3,2	3,7	4,2	4,7	5,3	5,8	6,3	6,8	7,4	7,9	8,4	8,9	9,5	10,0	10,5
20	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
21	0,0	0,5	1,0	1,4	1,9	2,4	2,9	3,3	3,8	4,3	4,8	5,2	5,7	6,2	6,7	7,1	7,6	8,1	8,6	9,0	9,5
22	0,0	0,5	0,9	1,4	1,8	2,3	2,7	3,2	3,6	4,1	4,5	5,0	5,5	5,9	6,4	6,8	7,3	7,7	8,2	8,6	9,1
23	0,0	0,4	0,9	1,3	1,7	2,2	2,6	3,0	3,5	3,9	4,3	4,8	5,2	5,7	6,1	6,5	7,0	7,4	7,8	8,3	8,7
24	0,0	0,4	0,8	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,3	6,7	7,1	7,5	7,9	8,3
25	0,0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0
26	0,0	0,4	0,8	1,2	1,5	1,9	2,3	2,7	3,1	3,5	3,8	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,5	6,9	7,3	7,7
27	0,0	0,4	0,7	1,1	1,5	1,9	2,2	2,6	3,0	3,3	3,7	4,1	4,4	4,8	5,2	5,6	5,9	6,3	6,7	7,0	7,4
28	0,0	0,4	0,7	1,1	1,4	1,8	2,1	2,5	2,9	3,2	3,6	3,9	4,3	4,6	5,0	5,4	5,7	6,1	6,4	6,8	7,1
29	0,0	0,3	0,7	1,0	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8	3,1	3,4	3,8	4,1	4,5	4,8	5,2	5,5	5,9	6,2	6,6	6,9
30	0,0	0,3	0,7	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0	4,3	4,7	5,0	5,3	5,7	6,0	6,3	6,7
31	0,0	0,3	0,6	1,0	1,3	1,6	1,9	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,9	4,2	4,5	4,8	5,2	5,5	5,8	6,1	6,5
32	0,0	0,3	0,6	0,9	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	6,3
33	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,2	5,5	5,8	6,1
34	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9
35	0,0	0,3	0,6	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	4,9	5,1	5,4	5,7

Tabel 13. Korrektion af den målte ind- og udvendige overfladetemperaturdifferens

Målt indetemperatur, T_{inde} - målt udetemperatur, T_{ude}	Beregnet indvendig overfladetemperatur, T_o																			
	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,5	20,0
10	5,0	5,3	5,5	5,8	6,0	6,3	6,5	6,8	7,0	7,3	7,5	7,8	8,0	8,3	8,5	8,8	9,0	9,3	9,8	10,0
11	5,5	5,8	6,1	6,3	6,6	6,9	7,2	7,4	7,7	8,0	8,3	8,5	8,8	9,1	9,4	9,6	9,9	10,2	10,7	11,0
12	6,0	6,3	6,6	6,9	7,2	7,5	7,8	8,1	8,4	8,7	9,0	9,3	9,6	9,9	10,2	10,5	10,8	11,1	11,7	12,0
13	6,5	6,8	7,2	7,5	7,8	8,1	8,5	8,8	9,1	9,4	9,8	10,1	10,4	10,7	11,1	11,4	11,7	12,0	12,7	13,0
14	7,0	7,4	7,7	8,1	8,4	8,8	9,1	9,5	9,8	10,2	10,5	10,9	11,2	11,6	11,9	12,3	12,6	13,0	13,7	14,0
15	7,5	7,9	8,3	8,6	9,0	9,4	9,8	10,1	10,5	10,9	11,3	11,6	12,0	12,4	12,8	13,1	13,5	13,9	14,3	14,6	15,0
16	8,0	8,4	8,8	9,2	9,6	10,0	10,4	10,8	11,2	11,6	12,0	12,4	12,8	13,2	13,6	14,0	14,4	14,8	15,2	15,6	16,0
17	8,5	8,9	9,4	9,8	10,2	10,6	11,1	11,5	11,9	12,3	12,8	13,2	13,6	14,0	14,5	14,9	15,3	15,7	16,2	16,6	17,0
18	9,0	9,5	9,9	10,4	10,8	11,3	11,7	12,2	12,6	13,1	13,5	14,0	14,4	14,9	15,3	15,8	16,2	16,7	17,1	17,6	18,0
19	9,5	10,0	10,5	10,9	11,4	11,9	12,4	12,8	13,3	13,8	14,3	14,7	15,2	15,7	16,2	16,6	17,1	17,6	18,1	18,5	19,0
20	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0
21	10,5	11,0	11,6	12,1	12,6	13,1	13,7	14,2	14,7	15,2	15,8	16,3	16,8	17,3	17,9	18,4	18,9	19,4	20,0	20,5	21,0
22	11,0	11,6	12,1	12,7	13,2	13,8	14,3	14,9	15,4	16,0	16,5	17,1	17,6	18,2	18,7	19,3	19,8	20,4	20,9	21,5	22,0
23	11,5	12,1	12,7	13,2	13,8	14,4	15,0	15,5	16,1	16,7	17,3	17,8	18,4	19,0	19,6	20,1	20,7	21,3	21,9	22,4	23,0
24	12,0	12,6	13,2	13,8	14,4	15,0	15,6	16,2	16,8	17,4	18,0	18,6	19,2	19,8	20,4	21,0	21,6	22,2	22,8	23,4	24,0
25	12,5	13,1	13,8	14,4	15,0	15,6	16,3	16,9	17,5	18,1	18,8	19,4	20,0	20,6	21,3	21,9	22,5	23,1	23,8	24,4	25,0
26	13,0	13,7	14,3	15,0	15,6	16,3	16,9	17,6	18,2	18,9	19,5	20,2	20,8	21,5	22,1	22,8	23,4	24,1	24,7	25,4	26,0
27	13,5	14,2	14,9	15,5	16,2	16,9	17,6	18,2	18,9	19,6	20,3	20,9	21,6	22,3	23,0	23,6	24,3	25,0	25,7	26,3	27,0
28	14,0	14,7	15,4	16,1	16,8	17,5	18,2	18,9	19,6	20,3	21,0	21,7	22,4	23,1	23,8	24,5	25,2	25,9	26,6	27,3	28,0
29	14,5	15,2	16,0	16,7	17,4	18,1	18,9	19,6	20,3	21,0	21,8	22,5	23,2	23,9	24,7	25,4	26,1	26,8	27,6	28,3	29,0
30	15,0	15,8	16,5	17,3	18,0	18,8	19,5	20,3	21,0	21,8	22,5	23,3	24,0	24,8	25,5	26,3	27,0	27,8	28,5	29,3	30,0
31	15,5	16,3	17,1	17,8	18,6	19,4	20,2	20,9	21,7	22,5	23,3	24,0	24,8	25,6	26,4	27,1	27,9	28,7	29,5	30,2	31,0
32	16,0	16,8	17,6	18,4	19,2	20,0	20,8	21,6	22,4	23,2	24,0	24,8	25,6	26,4	27,2	28,0	28,8	29,6	30,4	31,2	32,0
33	16,5	17,3	18,2	19,0	19,8	20,6	21,5	22,3	23,1	23,9	24,8	25,6	26,4	27,2	28,1	28,9	29,7	30,5	31,4	32,2	33,0
34	17,0	17,9	18,7	19,6	20,4	21,3	22,1	23,0	23,8	24,7	25,5	26,4	27,2	28,1	28,9	29,8	30,6	31,5	32,3	33,2	34,0
35	17,5	18,4	19,3	20,1	21,0	21,9	22,8	23,6	24,5	25,4	26,3	27,1	28,0	28,9	29,8	30,6	31,5	32,4	33,3	34,1	35,0

Tabel 14. Korrektion af den beregnede indvendige overfladetemperatur

Målt indetemperatur, T_{inde} - målt udetemperatur, T_{ude}	Beregnet udvendig overfladetemperatur, T_o																			
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
10	0,0	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8	4,0	4,3	4,5	4,8	5,0
11	0,0	0,3	0,6	0,8	1,1	1,4	1,7	1,9	2,2	2,5	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	4,1	4,4	4,7	5,0	5,2	5,5
12	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0
13	0,0	0,3	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	2,9	3,3	3,6	3,9	4,2	4,6	4,9	5,2	5,5	5,9	6,2	6,5
14	0,0	0,4	0,7	1,1	1,4	1,8	2,1	2,5	2,8	3,2	3,5	3,9	4,2	4,6	4,9	5,3	5,6	6,0	6,3	6,7	7,0
15	0,0	0,4	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3	2,6	3,0	3,4	3,8	4,1	4,5	4,9	5,3	5,6	6,0	6,4	6,8	7,1	7,5
16	0,0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0
17	0,0	0,4	0,9	1,3	1,7	2,1	2,6	3,0	3,4	3,8	4,3	4,7	5,1	5,5	6,0	6,4	6,8	7,2	7,7	8,1	8,5
18	0,0	0,5	0,9	1,4	1,8	2,3	2,7	3,2	3,6	4,1	4,5	5,0	5,4	5,9	6,3	6,8	7,2	7,7	8,1	8,6	9,0
19	0,0	0,5	1,0	1,4	1,9	2,4	2,9	3,3	3,8	4,3	4,8	5,2	5,7	6,2	6,7	7,1	7,6	8,1	8,6	9,0	9,5
20	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
21	0,0	0,5	1,1	1,6	2,1	2,6	3,2	3,7	4,2	4,7	5,3	5,8	6,3	6,8	7,4	7,9	8,4	8,9	9,5	10,0	10,5
22	0,0	0,6	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	5,0	5,5	6,1	6,6	7,2	7,7	8,3	8,8	9,4	9,9	10,5	11,0
23	0,0	0,6	1,2	1,7	2,3	2,9	3,5	4,0	4,6	5,2	5,8	6,3	6,9	7,5	8,1	8,6	9,2	9,8	10,4	10,9	11,5
24	0,0	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4	9,0	9,6	10,2	10,8	11,4	12,0
25	0,0	0,6	1,3	1,9	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	5,6	6,3	6,9	7,5	8,1	8,8	9,4	10,0	10,6	11,3	11,9	12,5
26	0,0	0,7	1,3	2,0	2,6	3,3	3,9	4,6	5,2	5,9	6,5	7,2	7,8	8,5	9,1	9,8	10,4	11,1	11,7	12,4	13,0
27	0,0	0,7	1,4	2,0	2,7	3,4	4,1	4,7	5,4	6,1	6,8	7,4	8,1	8,8	9,5	10,1	10,8	11,5	12,2	12,8	13,5
28	0,0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4	9,1	9,8	10,5	11,2	11,9	12,6	13,3	14,0
29	0,0	0,7	1,5	2,2	2,9	3,6	4,4	5,1	5,8	6,5	7,3	8,0	8,7	9,4	10,2	10,9	11,6	12,3	13,1	13,8	14,5
30	0,0	0,8	1,5	2,3	3,0	3,8	4,5	5,3	6,0	6,8	7,5	8,3	9,0	9,8	10,5	11,3	12,0	12,8	13,5	14,3	15,0
31	0,0	0,8	1,6	2,3	3,1	3,9	4,7	5,4	6,2	7,0	7,8	8,5	9,3	10,1	10,9	11,6	12,4	13,2	14,0	14,7	15,5
32	0,0	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6	6,4	7,2	8,0	8,8	9,6	10,4	11,2	12,0	12,8	13,6	14,4	15,2	16,0
33	0,0	0,8	1,7	2,5	3,3	4,1	5,0	5,8	6,6	7,4	8,3	9,1	9,9	10,7	11,6	12,4	13,2	14,0	14,9	15,7	16,5
34	0,0	0,9	1,7	2,6	3,4	4,3	5,1	6,0	6,8	7,7	8,5	9,4	10,2	11,1	11,9	12,8	13,6	14,5	15,3	16,2	17,0
35	0,0	0,9	1,8	2,6	3,5	4,4	5,3	6,1	7,0	7,9	8,8	9,6	10,5	11,4	12,3	13,1	14,0	14,9	15,8	16,6	17,5

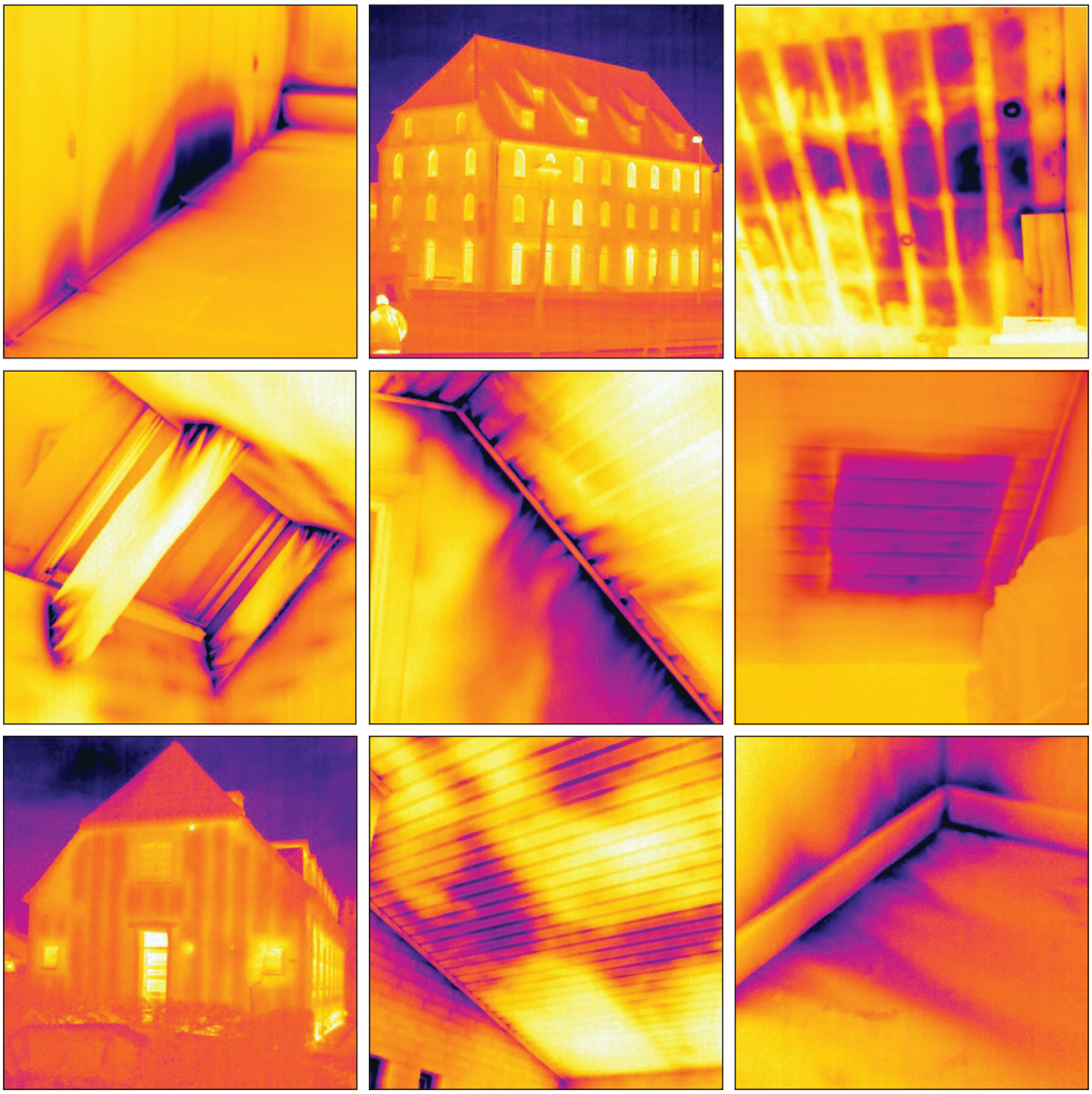
Tabel 15. Korrektion af den beregnede udvendige overfladetemperatur

Målt indetemperatur, T_{inde} - målt udetemperatur, T_{ude}	Beregnet overfladetemperaturdifferens, ΔT_o																			
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
10	0,0	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8	4,0	4,3	4,5	4,8	5,0
11	0,0	0,3	0,6	0,8	1,1	1,4	1,7	1,9	2,2	2,5	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	4,1	4,4	4,7	5,0	5,2	5,5
12	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0
13	0,0	0,3	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	2,9	3,3	3,6	3,9	4,2	4,6	4,9	5,2	5,5	5,9	6,2	6,5
14	0,0	0,4	0,7	1,1	1,4	1,8	2,1	2,5	2,8	3,2	3,5	3,9	4,2	4,6	4,9	5,3	5,6	6,0	6,3	6,7	7,0
15	0,0	0,4	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3	2,6	3,0	3,4	3,8	4,1	4,5	4,9	5,3	5,6	6,0	6,4	6,8	7,1	7,5
16	0,0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0
17	0,0	0,4	0,9	1,3	1,7	2,1	2,6	3,0	3,4	3,8	4,3	4,7	5,1	5,5	6,0	6,4	6,8	7,2	7,7	8,1	8,5
18	0,0	0,5	0,9	1,4	1,8	2,3	2,7	3,2	3,6	4,1	4,5	5,0	5,4	5,9	6,3	6,8	7,2	7,7	8,1	8,6	9,0
19	0,0	0,5	1,0	1,4	1,9	2,4	2,9	3,3	3,8	4,3	4,8	5,2	5,7	6,2	6,7	7,1	7,6	8,1	8,6	9,0	9,5
20	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
21	0,0	0,5	1,1	1,6	2,1	2,6	3,2	3,7	4,2	4,7	5,3	5,8	6,3	6,8	7,4	7,9	8,4	8,9	9,5	10,0	10,5
22	0,0	0,6	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	5,0	5,5	6,1	6,6	7,2	7,7	8,3	8,8	9,4	9,9	10,5	11,0
23	0,0	0,6	1,2	1,7	2,3	2,9	3,5	4,0	4,6	5,2	5,8	6,3	6,9	7,5	8,1	8,6	9,2	9,8	10,4	10,9	11,5
24	0,0	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4	9,0	9,6	10,2	10,8	11,4	12,0
25	0,0	0,6	1,3	1,9	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	5,6	6,3	6,9	7,5	8,1	8,8	9,4	10,0	10,6	11,3	11,9	12,5
26	0,0	0,7	1,3	2,0	2,6	3,3	3,9	4,6	5,2	5,9	6,5	7,2	7,8	8,5	9,1	9,8	10,4	11,1	11,7	12,4	13,0
27	0,0	0,7	1,4	2,0	2,7	3,4	4,1	4,7	5,4	6,1	6,8	7,4	8,1	8,8	9,5	10,1	10,8	11,5	12,2	12,8	13,5
28	0,0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4	9,1	9,8	10,5	11,2	11,9	12,6	13,3	14,0
29	0,0	0,7	1,5	2,2	2,9	3,6	4,4	5,1	5,8	6,5	7,3	8,0	8,7	9,4	10,2	10,9	11,6	12,3	13,1	13,8	14,5
30	0,0	0,8	1,5	2,3	3,0	3,8	4,5	5,3	6,0	6,8	7,5	8,3	9,0	9,8	10,5	11,3	12,0	12,8	13,5	14,3	15,0
31	0,0	0,8	1,6	2,3	3,1	3,9	4,7	5,4	6,2	7,0	7,8	8,5	9,3	10,1	10,9	11,6	12,4	13,2	14,0	14,7	15,5
32	0,0	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6	6,4	7,2	8,0	8,8	9,6	10,4	11,2	12,0	12,8	13,6	14,4	15,2	16,0
33	0,0	0,8	1,7	2,5	3,3	4,1	5,0	5,8	6,6	7,4	8,3	9,1	9,9	10,7	11,6	12,4	13,2	14,0	14,9	15,7	16,5
34	0,0	0,9	1,7	2,6	3,4	4,3	5,1	6,0	6,8	7,7	8,5	9,4	10,2	11,1	11,9	12,8	13,6	14,5	15,3	16,2	17,0
35	0,0	0,9	1,8	2,6	3,5	4,4	5,3	6,1	7,0	7,9	8,8	9,6	10,5	11,4	12,3	13,1	14,0	14,9	15,8	16,6	17,5

Tabel 16. Korrektion af den beregnede ind- og udvendige overfladetemperaturdifferens

Appendiks C

Skabelon til termograferingsrapport



TEKNOLOGISK INSTITUT

BOLIUS

ISOLINK BlowerDoor • Termografering

Dansk infrarød INSPEKTION

Appendiks C - Skabelon til termograferingsrapport

Dette appendiks indeholder en skabelon, som illustrerer hvorledes en termograferingsrapport kan opsættes. Skabelonen fremgår af de følgende sider, hvor grøn tekst indikerer områder hvor teksten skal ændres ift. den aktuelle sag.

Kundens navn / firmanavn	Sider	XX	Firma (termograf)
Firmaets ID nummer	Bilag	XX	Adresse
Kundens adresse	Initialer	XX/XX	Postnummer og by
Kundens postnummer og by	Ordrenr.:	XX	telefonnummer
Land			email
			hjemmeside

Termograferingsrapport

Opgavebeskrivelse: Opgaven beskrives her

Udført af: Navn og dato indsættes her

Kontrolsikret af: Navn og dato indsættes her

Metode: Termografering er udført jf. DS/EN 13187, 1. udgave med termograferingskamera af typen XX og med serienummer XX. Kameraet lever op til kravene defineret af brancheforeningen Klimaskærm.

Bilag: Af bilag A fremgår certifikat for bestået uddannelse.

Af bilag B fremgår en plantegning af bygningen med markering af de termograferede bygningsdetaljer.

Konklusion: Kort konklusion af fund/resultater beskrives her.

Bemærkning: Resultatet af rapporten må kun gengives i sin helhed. Uddrag af rapporten må kun anvendes med godkendelse fra XX.

Indsæt dato, firma, afdeling, by

Underskrift	Underskrift
_____	_____
Indsæt navn (udført af)	Indsæt navn (kontrolsikret af)
Indsæt stilling	Indsæt stilling
Indsæt telefonnummer	Indsæt telefonnummer
Indsæt e-mail	Indsæt e-mail

1.0 Opgavebeskrivelse

Beskriv opgaven:

- Hvorfor skal der termograferes? Hvilke problemer er der? (fx fugt, skimmel eller kolde overflader)
- Bygningens adresse og type (fx enfamiliehus, kontor eller børnehave)
- Bygningsbeskrivelse (fx årstal, rum, varmeforsyning, placering ift. læ)
- Henvisning til bilag B

2.0 Metode

Termograferingen er udført iht. DS/EN 13187, 1. udgave med et IR-kamera af typen XX med serienummeret XX. Kameraet lever op til kravene defineret af brancheforeningen Klimaskærm.

Termograferingen er udført af XX. Certtifikat for bestået uddannelse fremgår af bilag A.

Opgaven blev tilsendt d. XX og termograferingerne blev udført d. XX.

I forbindelse med termograferingen er alle betingelserne beskrevet i bilag A overholdt.
Tilføj yderlig beskrivelse af metode

3.0 Beskrivelse af de termograferede bygningskonstruktioner

Der er udført termografering af:

- Bygningsdetalje 1
- Bygningsdetalje 2
- Bygningsdetalje 3
- Osv.

3.1 Generelt

Angiv og beskriv resultat for overordnede forudsætninger og resultater. Det kunne bl.a. være forudsætninger og resultater fra trykprøvning (evt. sammenlignet med krav)

3.2 Bygningsdetalje 1

Forudsætninger

Forudsætningerne for termograferingen fremgår af nedenstående tabel.

Beskrivelse	Svar
Problemstilling?	
Dato og klokkeslæt for termografering?	
Orientering?	
Indvendig- eller udvendig termografering?	
Læ- eller lyside?	
Er der anvendt trykprøvning i forbindelse med termografering?	
Beskrivelse af konstruktion?	
Maksimum udvendig temperatur, 24 timer inden termografering?	°C
Udvendig relativ fugtighed	%
Maksimum udvendig temperatur, under termografering?	°C
Minimum udvendig temperatur, 24 timer inden termografering?	°C
Minimum udvendig temperatur, under termografering?	°C
Indvendig rumtemperatur under termografering?	°C
Indvendig relativ fugtighed	%
Dugpunktstemperatur	°C
Solforhold under termografering?	
Nedbør under termografering?	
Vindretning?	
Vindhastighed?	m/s
Trykforskel mellem læside og vindside?	Pa
Påvirkning fra andre omgivelser? Hvilke?	
Overflader og emissiviteter?	
Reflekterede emner og deres temperaturer?	
Tilgængelighed?	
Placering af termograferet detalje i bygning?	Henvisning til bilag B (evt. henvisning til detaljenummer)
Andre betydelige faktorer?	

Resultater
Resultatet fremgår af nedenstående tabel.

Beskrivelse	Svar
Målt maksimum overfladetemperatur	°C
Målt minimum overfladetemperatur	°C
Maksimal temperaturdifferens	°C
Trykdifferens mellem ude og inde, ΔP (kun nødvendig ved utætheder)	Pa
Lufthastighed ved utæthed målt med varmetrådsanemometer	m/s
Overfladetemperatur målt med overfladetemperaturføler	°C
Resultat af visuel besigtigelse	
Termografi	Henvisning til figur
Uregelmæssighedens type	
Konklusion	
Forslag til forbedringer	

Indsæt termograferingsbilleder her inkl. digitalbilleder og beskrivelse af observationerne. Vær opmærksom på at der skal angives:

- Den laveste og højeste temperatur på billedet
- Referencetemperatur og temperaturdifferens for hvert spot

3.3 Bygningsdetalje 2
Dette afsnit opbygges på samme måde som afsnit 3.1

3.4 Bygningsdetalje 3
Dette afsnit opbygges på samme måde som afsnit 3.1

4.0 Konklusion

Indsæt konklusion her

Bilag A

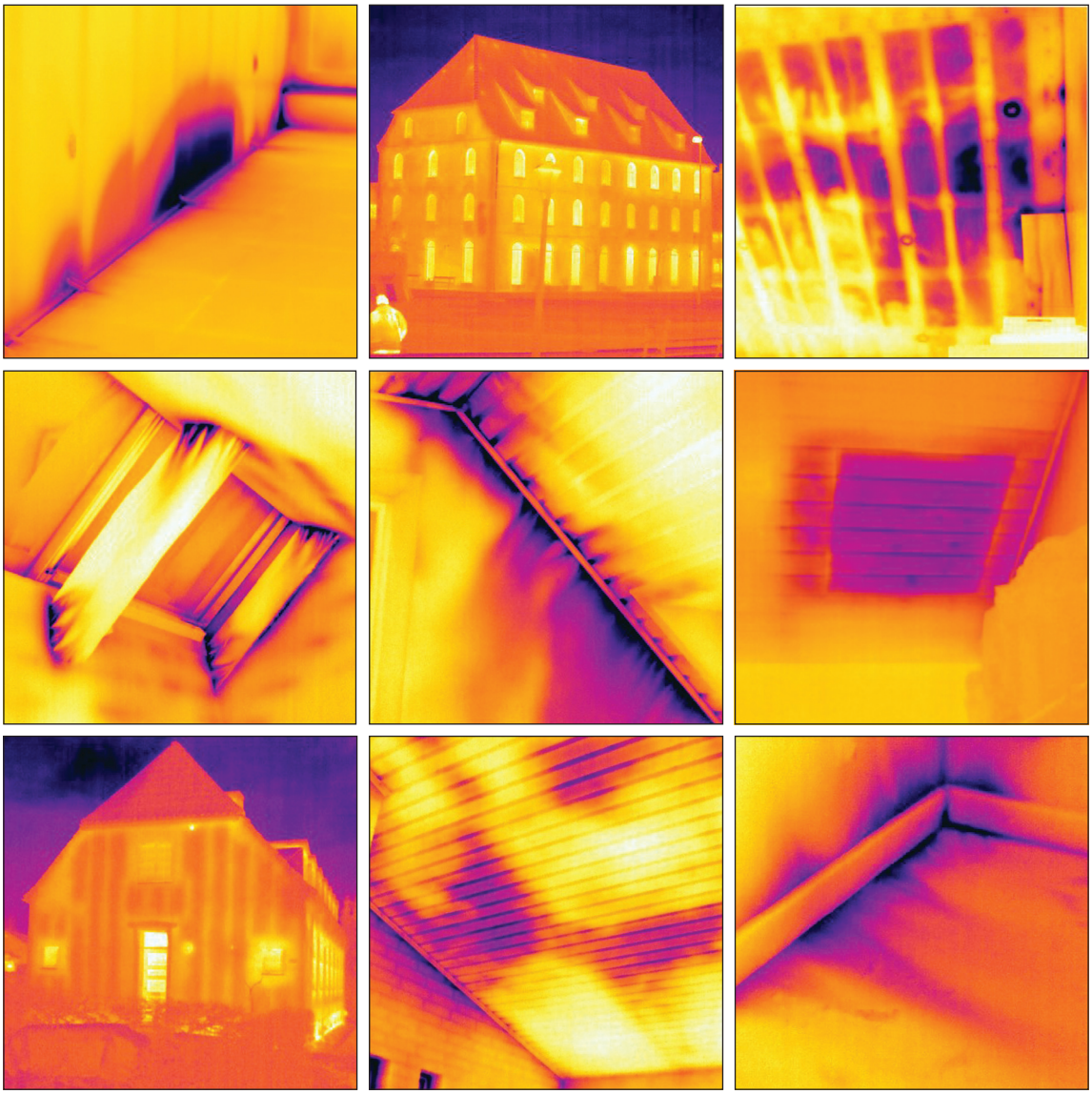
Indsæt certifikat her

Bilag B

Indsæt plantegning her

Appendiks D

Andre anvendelsesmuligheder inden for termografering



Appendiks D – Andre anvendelsesmuligheder inden for termografering

Termografering kan anvendes alle de steder, hvor der er markante temperaturforskelle. Termografering anvendes primært til bygningstermografi, men kan også anvendes til andre formål som fx lokalisering af:

- Gulvvarmeslanger
- Utætheder i varmeslanger eller varmerør
- Elinstallationer
- Anlæg
- Skadedyr
- Fugt

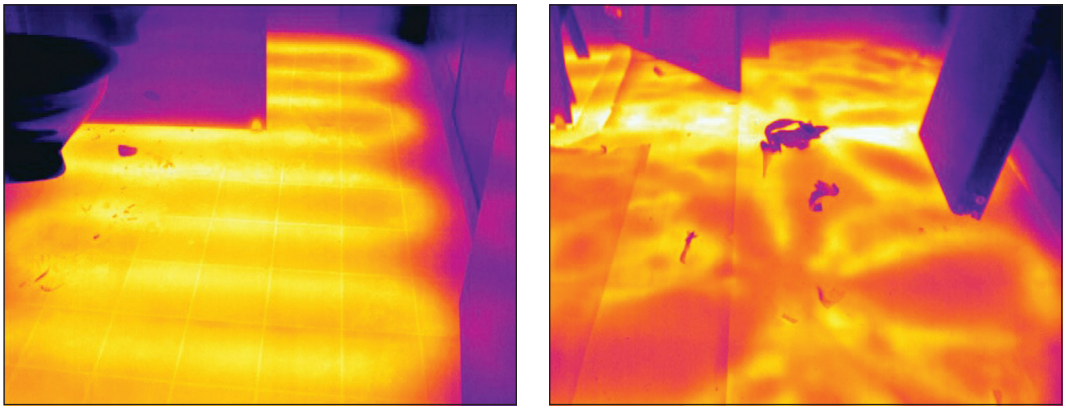
D.1 Gulvvarmeslanger

Termografering kan anvendes til at lokalisere og kvalitetssikre placeringen af gulvarmeslanger i en gulvkonstruktion ud fra følgende vejledning:

1. Sluk gulvvarmen i en periode på ca. et døgn for betongulve og ca. et halvt døgn for flydende trægulve.
2. Tænd for gulvvarmen på fuld effekt
3. Vent ca. 2-5 timer for betongulve og 1-2 timer for flydende trægulve
4. Termografer gulvet

Ofte anvendes metoden til at lokalisere hvor i gulvfladen der kan bores ift. fastgørelse af inventar. Her skal der dog gøres opmærksom på, at der også kan ligge andre rør i gulvdækket end varmerør. Disse rør kan kun synliggøres ved at få varmt vand til at løbe igennem dem. Kolde vandrør kan således være komplicerede at termografere, men bør som hovedregel altid ligge under isoleringen og betondækket og bør således ikke være i fare.

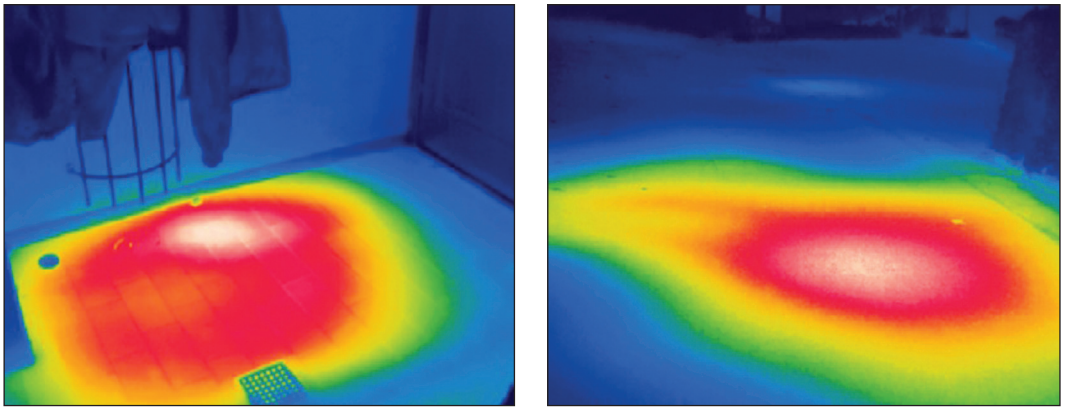
Metoden kan også anvendes til at kontrollere om gulvarmen er korrekt placeret. Figur 56 illustrer et eksempel hvor varmerørene både er lagt fagligt korrekt og fagligt ukorrekt jf. DS474.



Figur 56. Fra venstre: "Fagligt korrekt placerede varmerør" og "Fagligt ukorrekt placerede varmerør".

D.2 Utætheder i varmeslanger eller varmerør

Figur 57 illustrer hvorledes utætheder i varmeslanger eller varmerør kan lokaliseres. Billederne illustrerer hhv. en utæthed i et varmerør i en gulvkonstruktion og en utæthed ved en hovedledning i et fjernvarmenet.

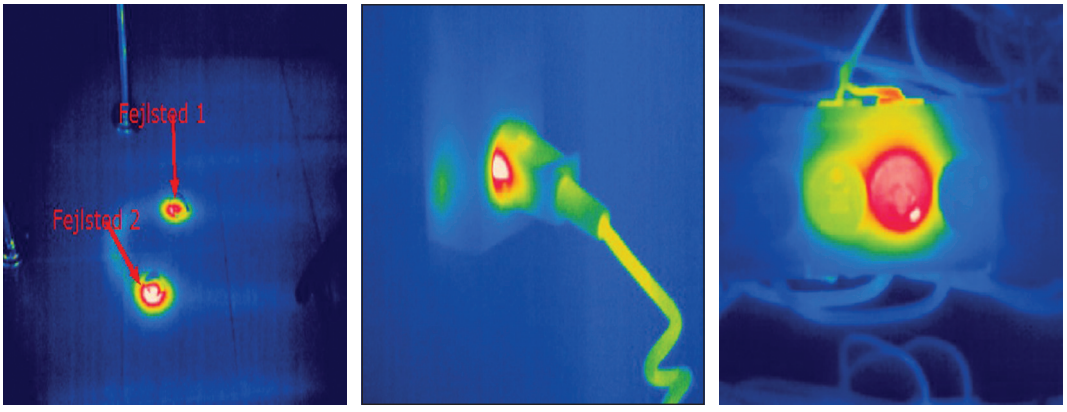


Figur 57. Fra venstre: "Utæthed ved varmerør i gulvkonstruktion" og "Utæthed i fjernvarmenet".

D.3 Elinstallationer

Figur 58 illustrer hvorledes fejl/kortslutninger i elinstallationer kan lokaliseres vha. termografering, hvor:

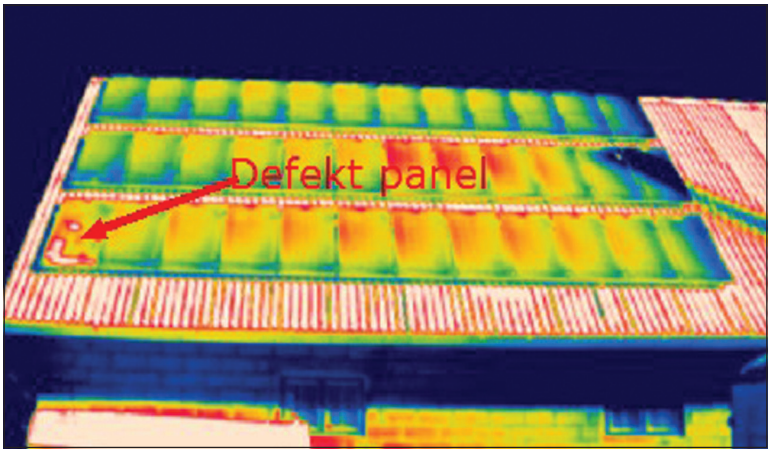
- Billedet til venstre illustrer et elkabel i en konstruktion, hvor der er opstået to kortslutninger
- Det midterste billede illustrerer en defekt stikkontakt
- Billedet til højre illustrerer en el-tavle med en defekt sikring og patronhoved.



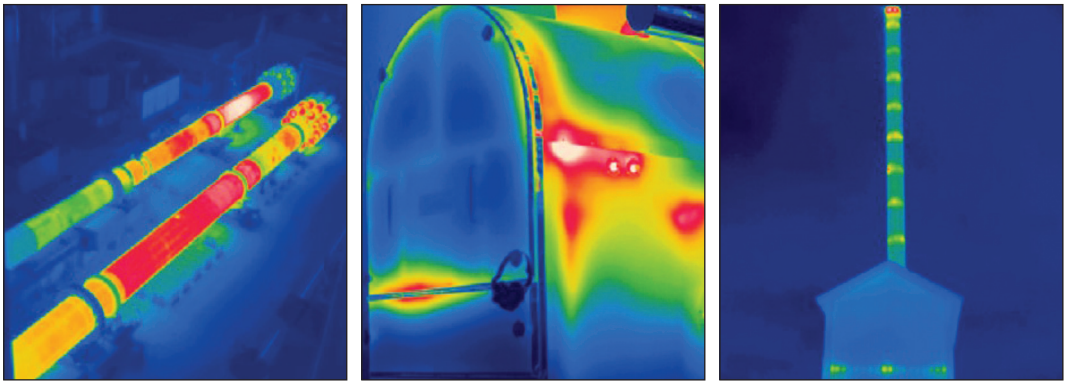
Figur 58. Kortslutning i elinstallationer.

D.4 Anlæg

Det er også muligt at lokalisere fejl og utætheder ved anlæg vha. termografering. Figur 59 illustrer hvorledes fejl i et solcelleanlæg kan lokaliseres vha. termografering og figur 60 illustrer hvorledes utætheder fra et procesanlæg, et røggasveksleranlæg og en skorsten kan lokaliseres.



Figur 59. Defekt solcellepanel.



Figur 60. Fra venstre: "Varmespot indikerer dårlig indmuring i ovn", "Utæthed ved røggasvarmeveksleranlæg" og "kuldebroer ved skorsten til halmfyr".

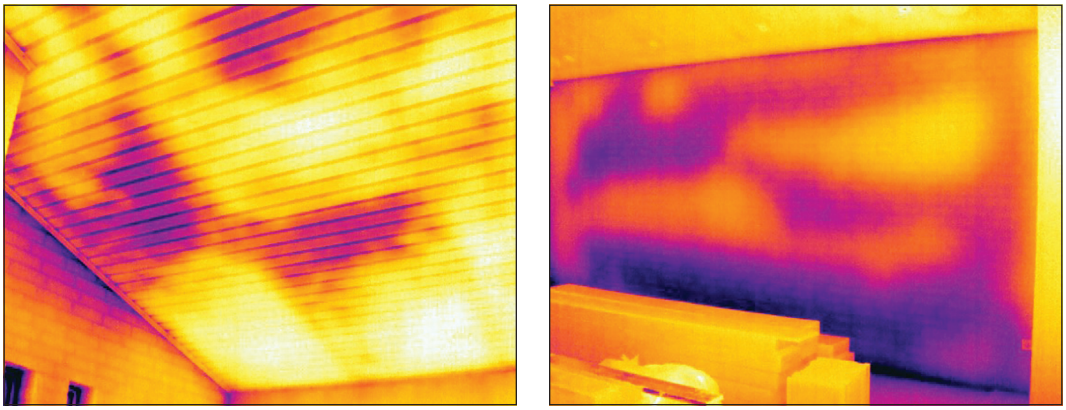
D.5 Skadedyr

Både rotter, husmår og andre skadedyr kan forårsage massive skader i isoleringslaget og dermed øge risikoen for kuldebrosdannelser i konstruktionen. Mus forårsager normalt små skader, hvilket ikke er muligt at lokalisere med termografering.

Til forskel fra vægge og lofter kan gulve være meget vanskelige at termografere ift. skadedyr, idet luften i skadedyrets gange (især ved rotter) er med til at isolere. Den bedste måde at lokalisere rotteskader i gulve er derfor, at blæse varm luft igennem gangene.

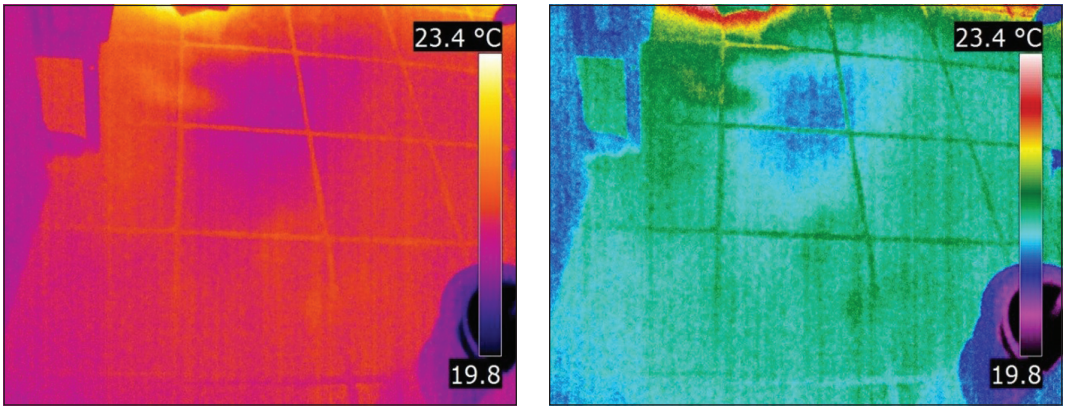
Betingelserne for termografering efter skadedur er primært de samme som termograferingen efter kuldebroer. Der opnås således de bedste resultater, når temperaturforskellen mellem ude og inde er så stor som muligt og når der termograferes inde fra.

Figur 61 illustrer hvordan skader efter en husmår kan lokaliseres vha. termografering. Som billedet indikerer er husmåre ret ekstremme i deres evne til at ødelægge isoleringen.



Figur 61. Skader i loft og hulmur pga. husmår.

Figur 62 illustrerer hvorledes rotter kan lokaliseres vha. termografering. Som billedet illustrerer er det markant sværere at lokalisere skadedyr i gulvkonstruktioner end i lofter og ydervægge. I figuren er der anvendt to forskellige farvepaletter (iron og rainbow), hvor rainbow i dette tilfælde er god til at vise de små temperaturforskelle i konstruktionen. I eksemplet er der ikke tilført varm luft i rottehullet, da det var muligt at lokalisere dem uden.



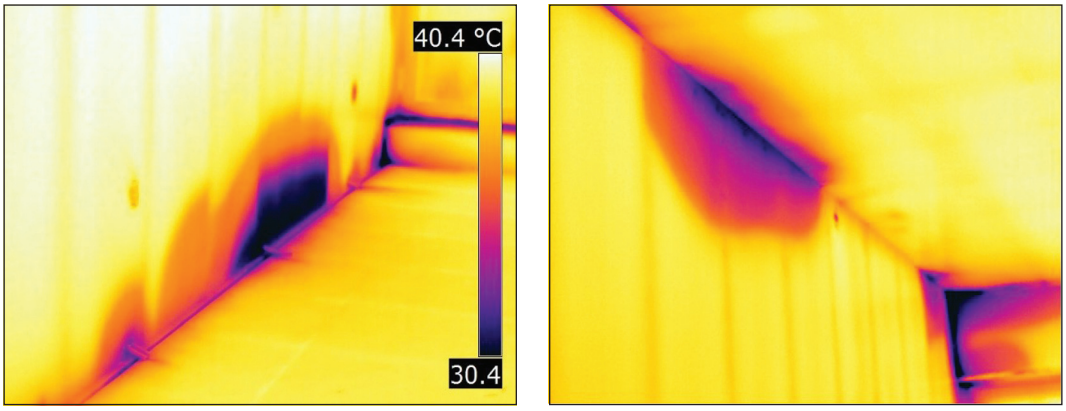
Figur 62. Termografering efter rotter.

D.6 Fugt

Termografering kan også anvendes til at finde frem til fugt i konstruktionen, idet områder med fugt har en bedre varmeledningsevne og dermed en dårligere isoleringsgrad, end konstruktioner uden fugt.

Eksempel 1 – Varmeledningsevne

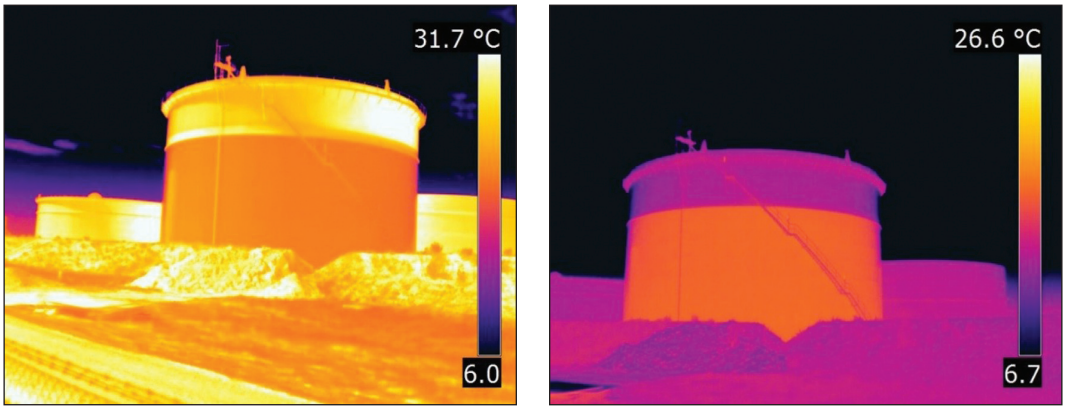
Billedet illustrer en termograferet ydervæg, hvor fugtindholdet i bunden af væggen fremstår tydeligt, idet områdets isoleringsgrad er forringet.



Figur 63. Fugt i ydervæg..

Eksempel 2 – Varmekapacitet

Figuren illustrer hvordan væsker og dermed også fugtholdige konstruktioner ofte har en højere varmekapacitet end konstruktioner uden fugt. Vandet i vandtanken har nemlig en højere varmekapacitet end luftlaget i tanken, hvorfor vandet forbliver nogenlunde samme temperatur hen over døgnet, mens luftlaget varierer.

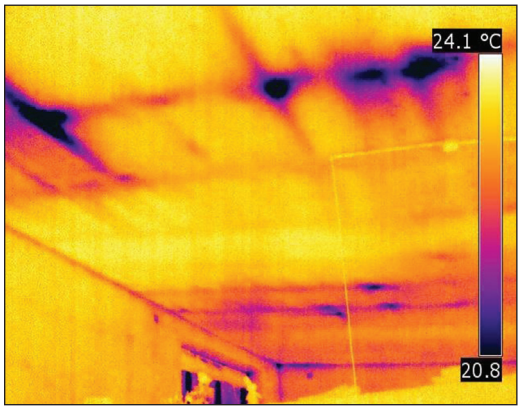


Figur 64. Venstre: Termograferet Vandtank om dagen. Højre: Termograferet vandtank om natten.

Eksempel 3 – Udnyttelse af forringet varmeledningsevne

Dette eksempel illustrer hvordan den forringede isoleringsevne i fugtholdige konstruktioner kan anvendes til at lokalisere områder med fugt vha. termografering.

Billedet illustrer en termograferet loftkonstruktion, som under opførslen (inden taget blev lukket) blev udsat for kraftig regn som efterfølgende har sat sig i isoleringslaget. Billedet er taget 1½ år efter bygningen blev opført og illustrer at der stadig er en del vand i isoleringen. Fugtindholdet kan i denne situation lokaliseres vha. termografering, idet isoleringsgraden i de områder hvor isoleringen indeholder fugt er forringet markant.

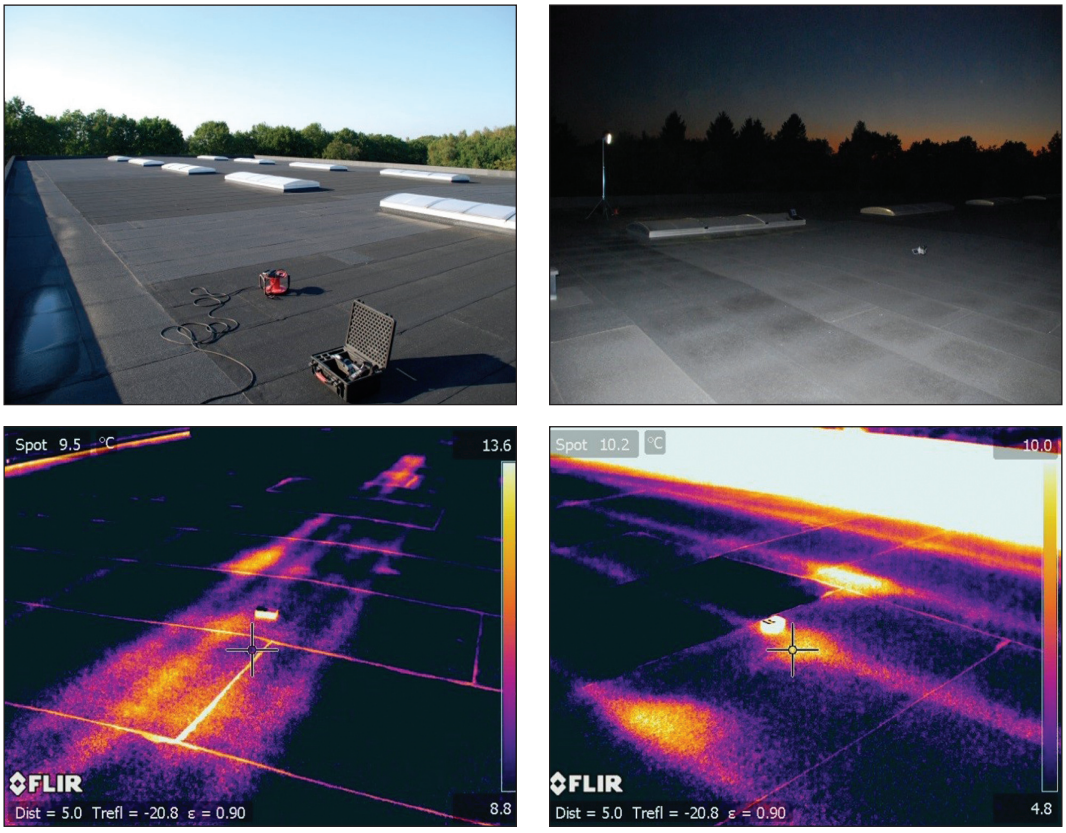


Figur 65. Fugt i loftkonstruktion

Eksempel 4 – Udnyttelse af øget varmekapacitet
Dette eksempel illustrer hvordan den øgede varmekapacitet i fugtholdige konstruktioner kan anvendes til at lokalisere områder med fugt vha. termografering.

I eksemplet er tagkonstruktionen blevet opvarmet af solen i løbet af dagtimerne. Om aftenen/natten når solen er væk og temperaturen er falder, vil de områder i tagkonstruktionen uden fugt imidlertid følge udetemperaturen, mens de områder i tagkonstruktionen med fugt (og dermed også højere varmekapacitet) vil holde på varmen. På termograferingsbillederne vil de fugtholdige områder således blive fremhævet.

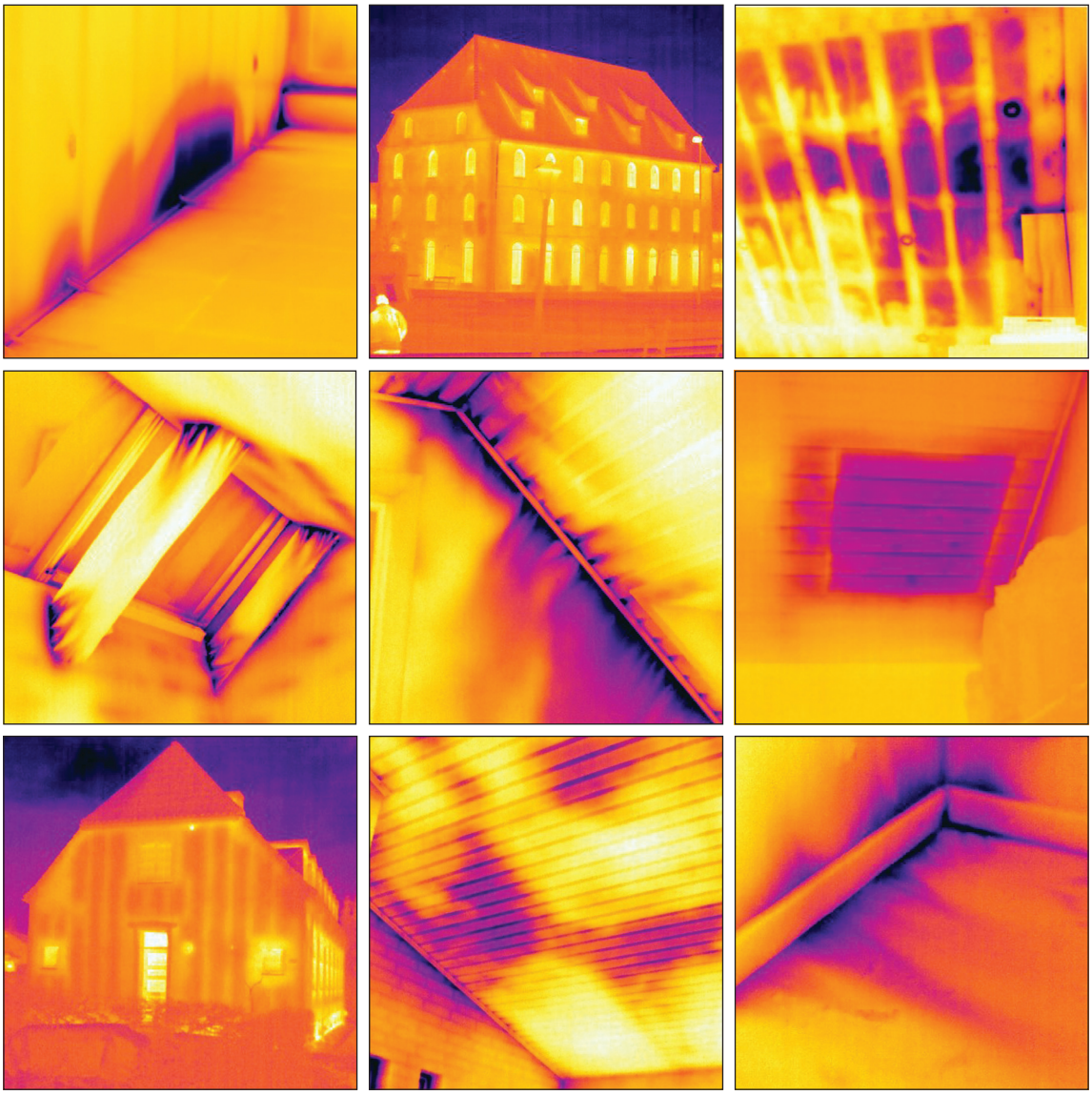
Metoden indikerer kun de områder hvor der er fugtproblemer og angiver således ikke mængden af fugt. Til at bestemme fugtindholdet i konstruktionen skal der udføres en fugtmåling.



Figur 66. Øverst: Digitalbillede af tagkonstruktion på en solrig dag og om natten. 240908 034 og 081001 005. Nederst: Tagkonstruktion termograferet om natten. IR_4966 og IR_4983

Appendiks E

Teoretisk bestemmelse af overfladetemperatur



TEKNOLOGISK INSTITUT
BOLIUS
ISOLINK BlowerDoor • Termografering
Dansk infrarød INSPEKTION

Appendiks E - Teoretisk bestemmelse af overfladetemperaturer

Udgangspunktet for projektet var bl.a. at undersøge mulighederne i at sammenholde teoretiske overfladetemperaturer, målt i simuleringsprogrammet Heat2, med målte overfladetemperaturer bestemt ved termografering.

Det blev dog hurtigt erfaret at denne metode er svær at anvende i praksis, idet metoden kræver:

- Ekstremt detaljeret tegningsmateriale.
- At udførslen overholder tegningsmaterialet 100%. Dette er ofte ikke tilfældet, idet bygningstermografering anvendes til at undersøge om bygningens klimaskærm har uregelmæssigheder i form af kuldebroer og utætheder
- En rimelig ensartet ude- og indetemperatur i minimum 24 timer inden termograferingen (afhængig af væggens varmekapacitet)

Metoden udgik således som en primær del af vejledningen, men kan stadig anvendes hvis ovenstående punkter er opfyldt. Dette appendiks omfatter en beskrivelse af hvorledes den teoretiske overfladetemperatur kan bestemmes.

E.1 Heat2

I dette appendiks anvendes det termiske simuleringsprogram Heat2 til at bestemme den teoretiske overfladetemperatur.

Heat2 er et to-dimensionelt simuleringsprogram til bestemmelse af varmestrømninger eller overfladetemperaturer for en given bygningskonstruktion under dynamiske eller stationære forhold og beregner iht. EN ISO 10211 og EN ISO 10077-2. I programmet er det muligt at opdele konstruktionstværsnittet i små delelementer (mesh), så beregningen bliver så præcis som muligt.

I Heat2 bestemmes de indvendige overfladetemperaturer under stationære forhold med en indendørs rumtemperatur på 20 °C og en udetemperatur på 0 °C. For at kunne sammenligne de målte temperaturer fra termograferingen med de beregnede temperaturer fra Heat, er de målte temperaturer korrigeret vha. omregningstabellerne beskrevet i Appendiks B.

E.2 Eksempel på anvendelse af Heat

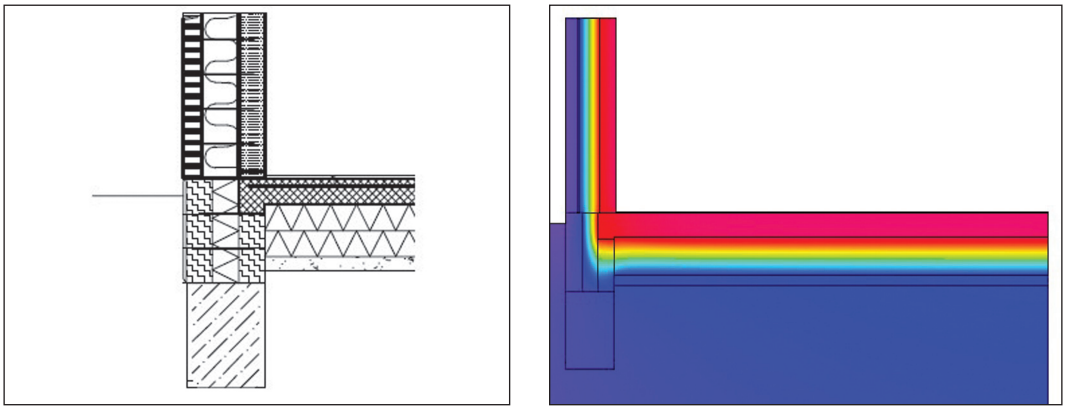
Dette eksempel illustrerer hvorledes den teoretiske overfladetemperatur kan bestemmes for en fundamentsamling vha. programmet Heat2. I eksemplet sammenlignes den teoretiske overfladetemperatur afslutningsvis med termograferede resultater for samme konstruktion.

I eksemplet er fundamentsamlingen opbygget som beskrevet nedenfor og som illustreret ved figur 64.

Fundament:
- 3 x 150 mm lecablokke
- 150 mm polystyren isolering
- 2 x 150 mm lecablokke inkl. murbindere pr. 300 mm
- 450 x 600 mm insitustøbt fundamentsblok

Terrændæk:
- 14 mm lamelparket
- Dampspærre
- 180 mm beton
- 2 x 150 mm trykfast isolering kl. 24
- 80 mm beton
- 600 mm sand

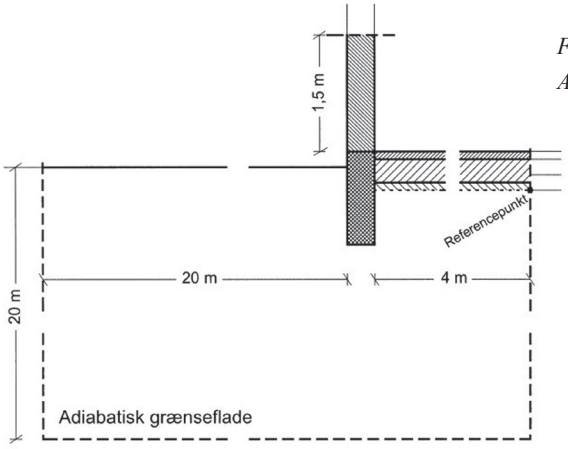
Ydervæg:
- 108 mm teglsten
- 15 mm luft
- 190 mm isolering kl. 33
- 150 mm letbetonelement



Figur 67. Fra venstre: "Opbygning af fundamentsamling" og "Temperaturforløb i fundamentsamling fra Heat"

Overfladetemperaturen i Heat2 kan bestemmes ved at:

1. Opbygge konstruktionselementerne (Vigtigt at der startes i 0,0)
   - Jordvolumet skal opbygges som illustreret ved figur 68
2. Definere materialer (dobbeltklik på materiale for at definere varmeledningsevne, varmekapacitet og densitet)
   - Jordvolumet skal have en varmeledningsevne på 2,0 W/mK og en densitet x varmekapacitet på 2,0E6 J/m³K
3. Definere "Boundary conditions" (F6)
   - Udvendig: T = const på 0 °C
   - Indvendig: T = const på 20 °C
   - Andre steder (default): Q = const på 0
4. Redigere beregningsmetoden ("Solve" – "Options for Steady-state" – "Temperatures")
5. Beregne temperaturstrømninger i konstruktionen (Automatic mesh F7)
6. Bestemme overfladetemperaturerne langs gulv og væg ("Output" – "Temperature along line/boundaries")



Figur 68. Opbygning af jordvolumen. Anneks D i DS 418.

I Heat2 blev følgende overfladetemperaturer beregnet:

- Mindste overfladetemperatur af gulv: 18,8 °C
- Mindste overfladetemperaturdifferens[1] langs gulv: 1,0 °C

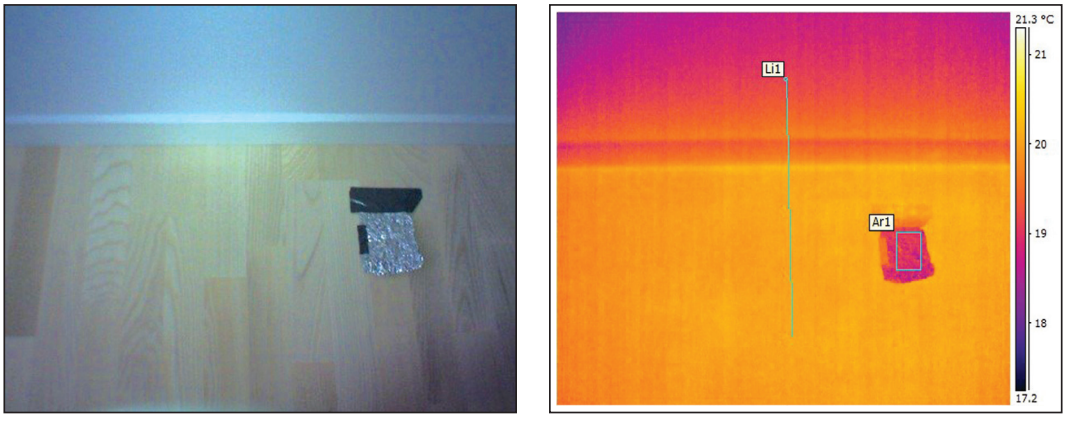
Vha. termografering blev følgende temperaturer målt:

- Mindste overfladetemperatur langs gulv: 19,0 °C
- Mindste overfladetemperaturdifferens langs gulv: 1,3 °C

Disse temperaturer blev målt ved en udendørs temperatur på 1,6 °C og indendørs temperatur på 19,0 °C. Korrigeret giver det følgende overfladetemperaturer:

- Mindste overfladetemperatur langs gulv: 20,0 °C
- Mindste overfladetemperaturdifferens langs gulv: 1,5 °C

Ved at sammenligne overfladetemperaturerne fra termograferingen med de beregnede værdier fra Heat2, kan der konkluderes, at der ikke er nogle markante afvigelser og dermed ingen risiko for kuldebroer i konstruktionen.

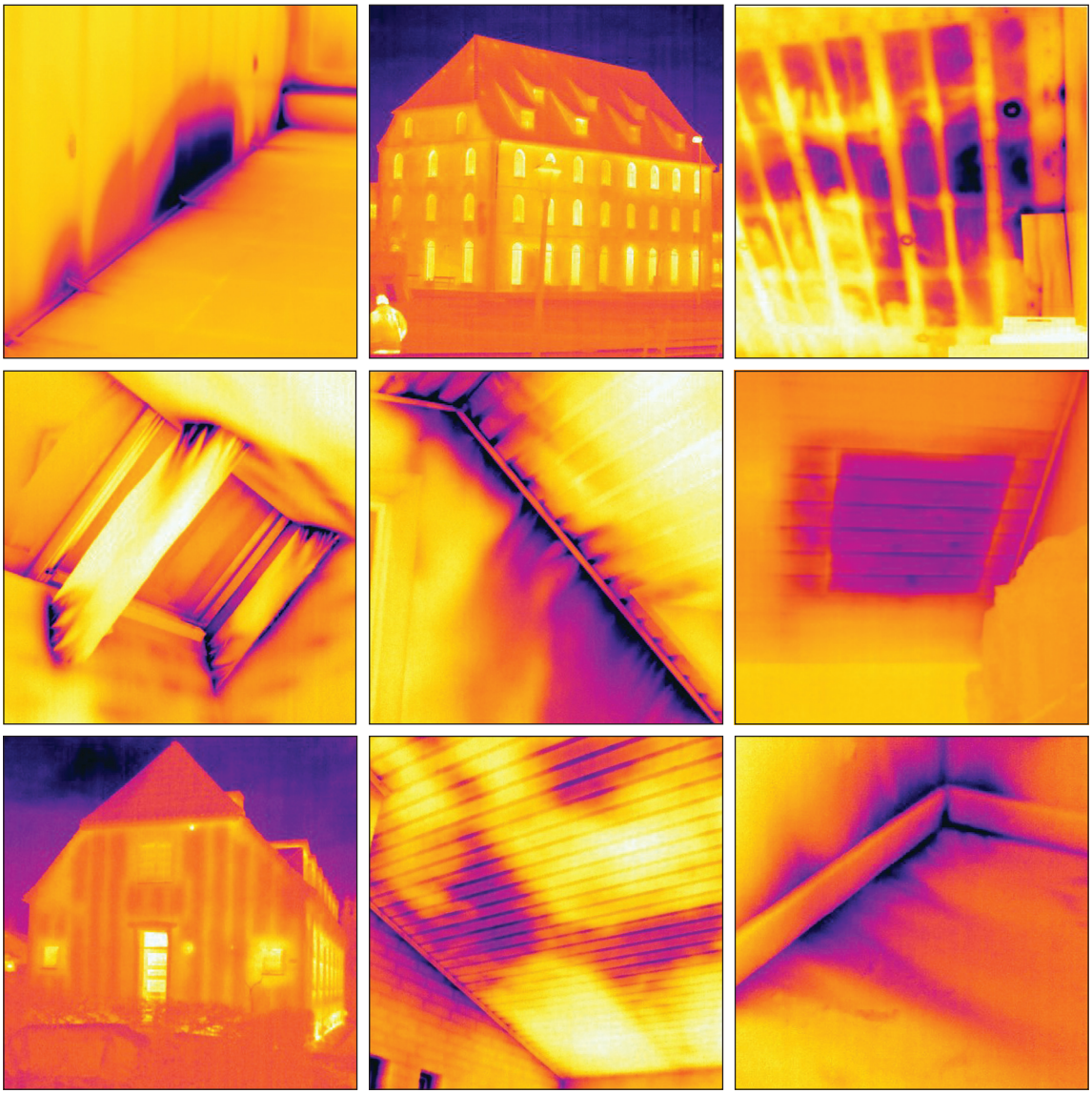


Figur 69.Fra venstre: "Digitalbillede af fundamentsamling" og "Termografi af fundamentsamling"

[1] Målt fra hjørnet hvor gulv og væg mødes og 4 meter ind i rummet.

Appendiks F

Analyseværktøj til behandling af måleresultater



TEKNOLOGISK INSTITUT
BOLIUS
ISOLINK BlowerDoor • Termografering
Dansk infrarød INSPEKTION

Appendiks F - Analyseværktøj til behandling af måleresultater

I forbindelse med udarbejdelsen af vejledningen er der blevet udviklet et analyseværktøj, som anvender den viden som er beskrevet i vejledningens afsnit.

Værktøjet omfatter både kuldebroer og utætheder og kan anvendes til at:

- Korrigere de målte overfladetemperaturer
- Undersøge om der er risiko for skimmelvækst
- Bestemme det samlede ekstra årlige varmetab forårsaget af afvigelser i konstruktionen.
- Bestemme de årlige ekstraomkostninger til varme forårsaget af afvigelser i konstruktionen.

F.1 Generelt

I værktøjet anvendes følgende objekter:

Flueben:	Angiver hvilke områder der ønskes undersøgt.
Hvide tekstbokse:	I disse bokse kan der indtastes værdier.
Gule tekstbokse:	Gule tekstbokse er låste og angiver beregnede værdier/resultater
Lysegrå tekstbokse:	Lysegrå tekstbokse er låste og angiver faste værdier
Mørkegrå tekstbokse:	Mørkegrå tekstbokse er låste og angiver at boksen ikke anvendes
Spørgsmålstegn:	Spørgsmålstegn åbner nye faner. I disse faner er det muligt at få hjælp til at bestemme værdien i den tekstboks spørgsmålstegnet er placeret ved.

Værktøjet indeholder desuden fanerne:

Forside

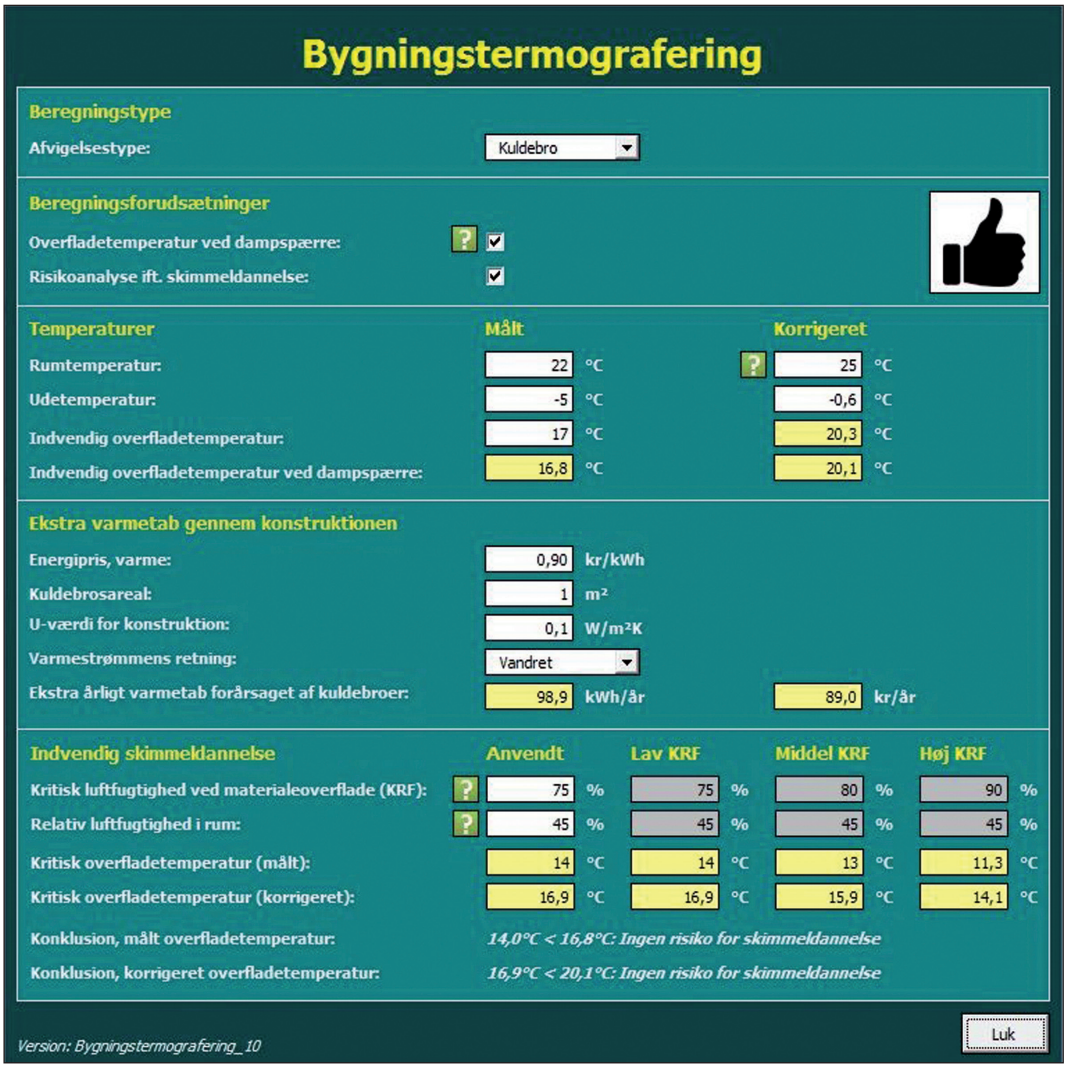
Kuldebro

Utæthed

F.2 Forside

På forsiden er det muligt at starte programmet ved at trykke på knappen ”Start program”.

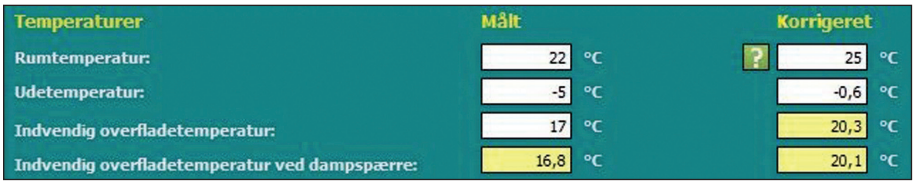
F.3 Kuldebro



I fanen vedrørende kuldebroer er det muligt, at bestemme:

- En korrigeret overfladetemperatur bestemt ud fra inde- og udetemperaturen
- Overfladetemperaturen og den korrigere overfladetemperatur ved dampspærren
- Det ekstra årlige varmetab forårsaget af kuldebroen
- Kritiske overfladetemperaturer ift. risiko for skimmelvækst

Korrigerede overfladetemperaturer



De korrigerede overfladetemperaturer bestemmes ud fra formlerne beskrevet i appendiks B.

Ved at trykke på spørgsmålstegnet relateret til den korrigerede rumtemperatur er det muligt at åbne følgende fane:

I denne fane er det muligt at få hjælp til at bestemme en korrigeret indvendig rumtemperatur. Den indvendige rumtemperatur har indflydelse på:

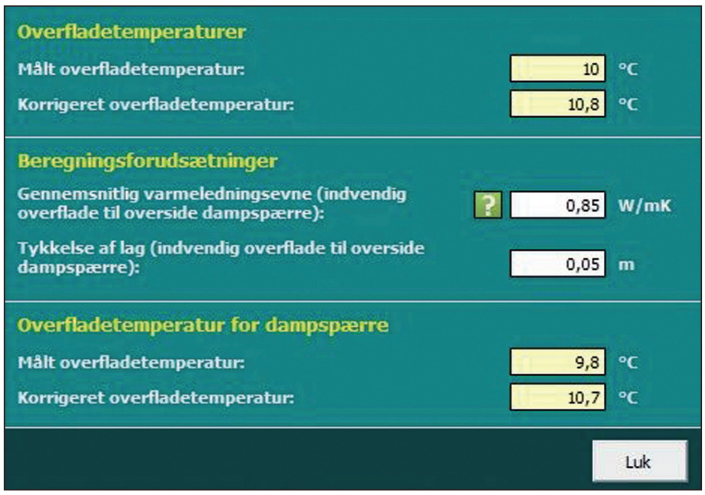
- Den korrigerede overfladetemperatur
- Den kritiske overfladetemperatur ift. skimmeldannelse på indvendige overflader

Overfladetemperatur ved dampspærre

Overfladetemperaturen ved dampspærren bestemmes ud fra endimensionelle varmestrømme beskrevet i appendiks A. Overfladetemperaturen ved dampspærren er ofte kun nødvendig at bestemme ved lette konstruktioner, idet tunge konstruktioner ofte udføres uden brug af dampspærre.

Ved at trykke på spørgsmålstegnet relateret til dampspærren er det muligt at få hjælp:

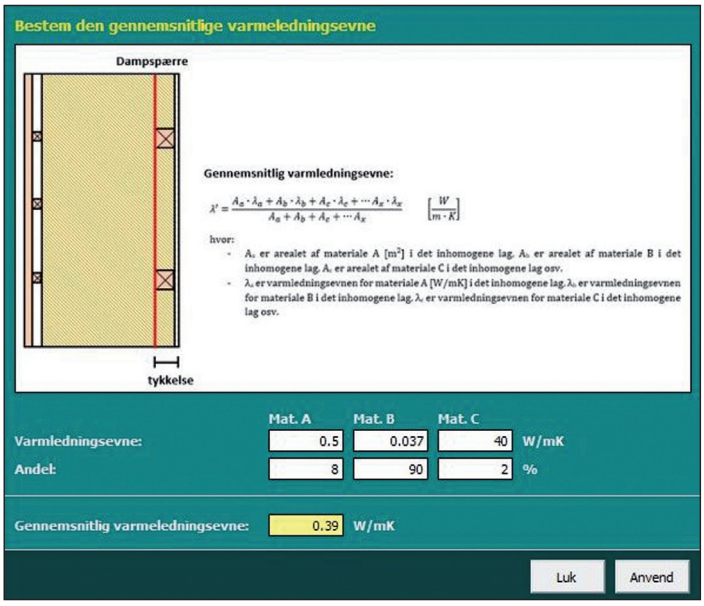
Dette åbner fanen:



I denne fane er det muligt at bestemme overfladetemperaturen ved dampspærren ved, at specificere konstruktionsopbygningen.

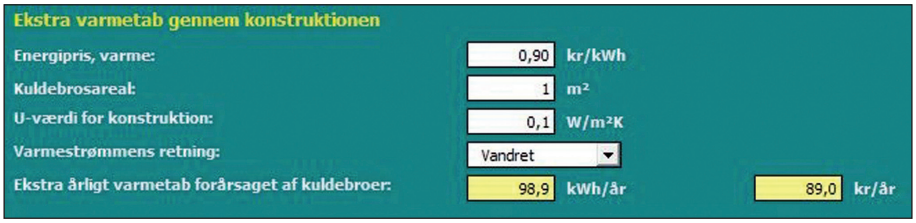
Her er det muligt at få yderligere hjælp til, at bestemme den gennemsnitlige varmeledningsevne, ved at trykke på spørgsmålstegnet.

Dette åbner fanen:



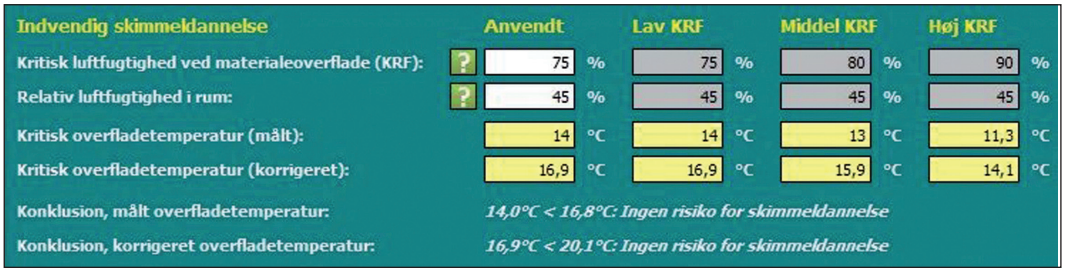
Her er det muligt at bestemme den gennemsnitlige varmeledningsevne ved at specificere varmeledningsevnen for og andelen af de forskellige materialelag.

Årligt varmetab



Det årlige varmetab bestemmes ud fra formlerne beskrevet i afsnit 4.5.

Risiko for skimmelvækst



Den kritiske overfladetemperatur ift. skimmelvækst på den indvendige overflade bestemmes ud fra nedenstående formler, som danner grundlag for opbygningen og strukturen af IX-diagrammer og vanddampdiagrammer:

Bestemmelse af vandindhold: $x = \frac{RF}{100} \cdot 0{,}62198 \cdot \frac{p_w}{(p_a - p_w)}$

Bestemmelse af partialtryk: $p_w = \frac{e^{(77{,}345+0{,}0057\cdot(T+273)-\frac{7235}{(T+273)})}}{(T+273)^{8{,}2}}$

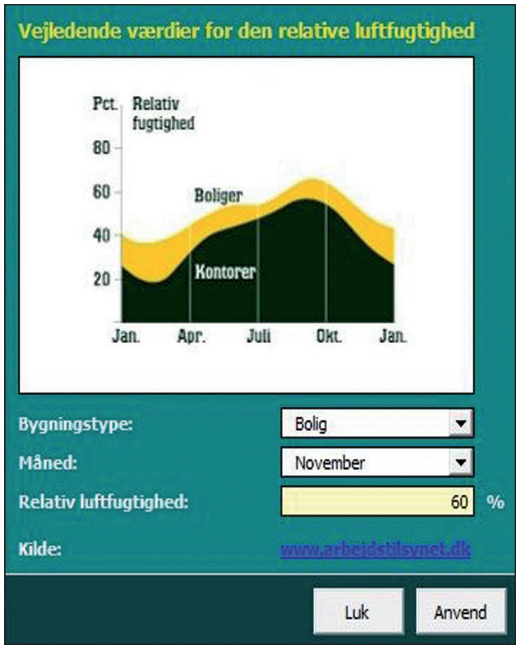
hvor:

- x er vandindholdet i luften/materialet angivet i g vand pr. kg materiale
- RF er den relative fugtighed i luften/materialet angivet i %
- pw er partialtrykket for en vanddamp ved en given temperatur angivet i Pa
- pa er det atmosfæriske tryk angivet i Pa
- T er temperaturen angivet i °C

Ved at trykke på spørgsmålstegnet relateret til den kritiske luftfugtighed ved materialeoverfladen er det muligt at åbne følgende fane:

I denne fane er det muligt at få hjælp til at bestemme den kritiske relative luftfugtighed ved materialets overflade ift. det valgte materiale eller ift. skimmeltypen.

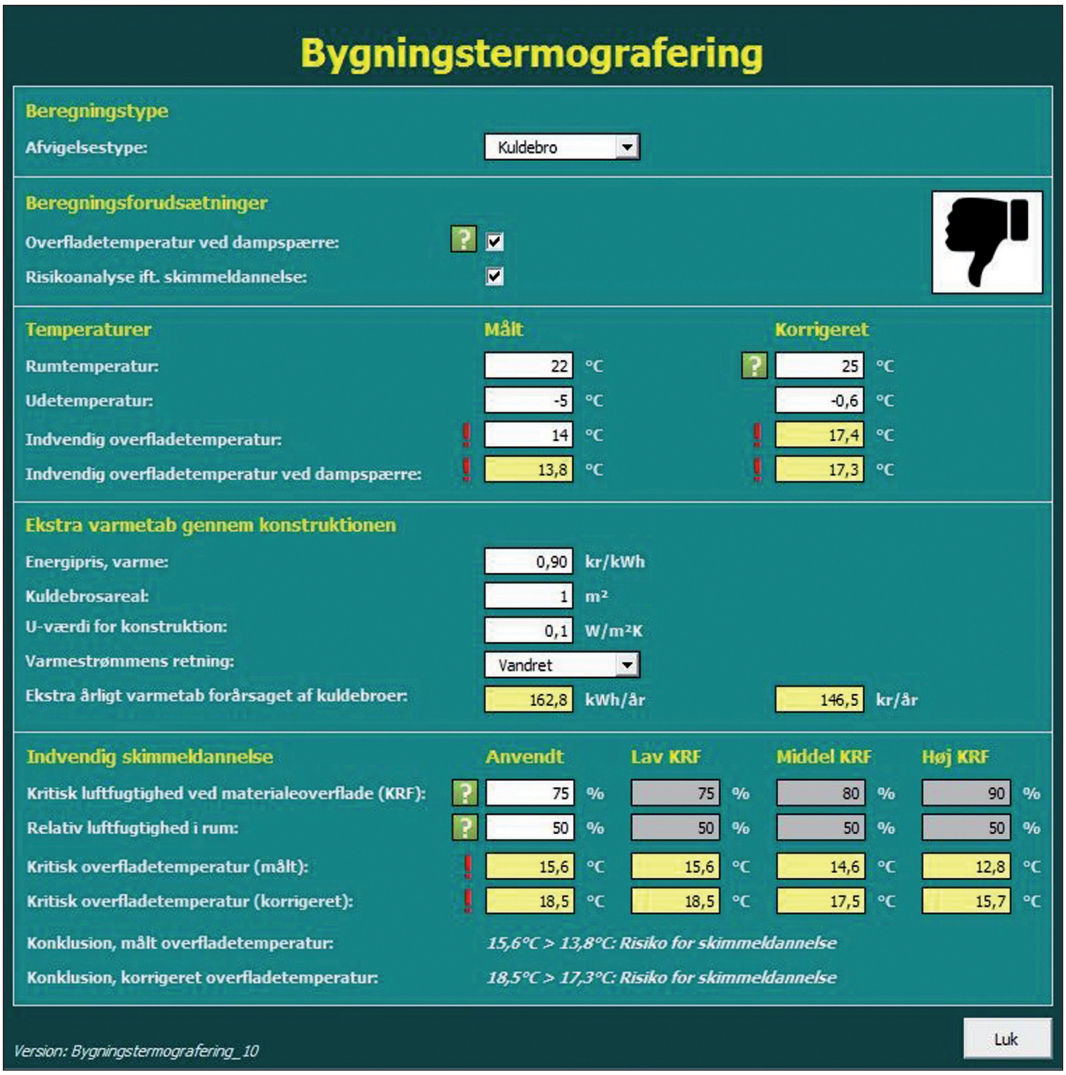
Ved at trykke på spørgsmålstegnet relateret til den relative luftfugtighed er det muligt at åbne følgende fane:



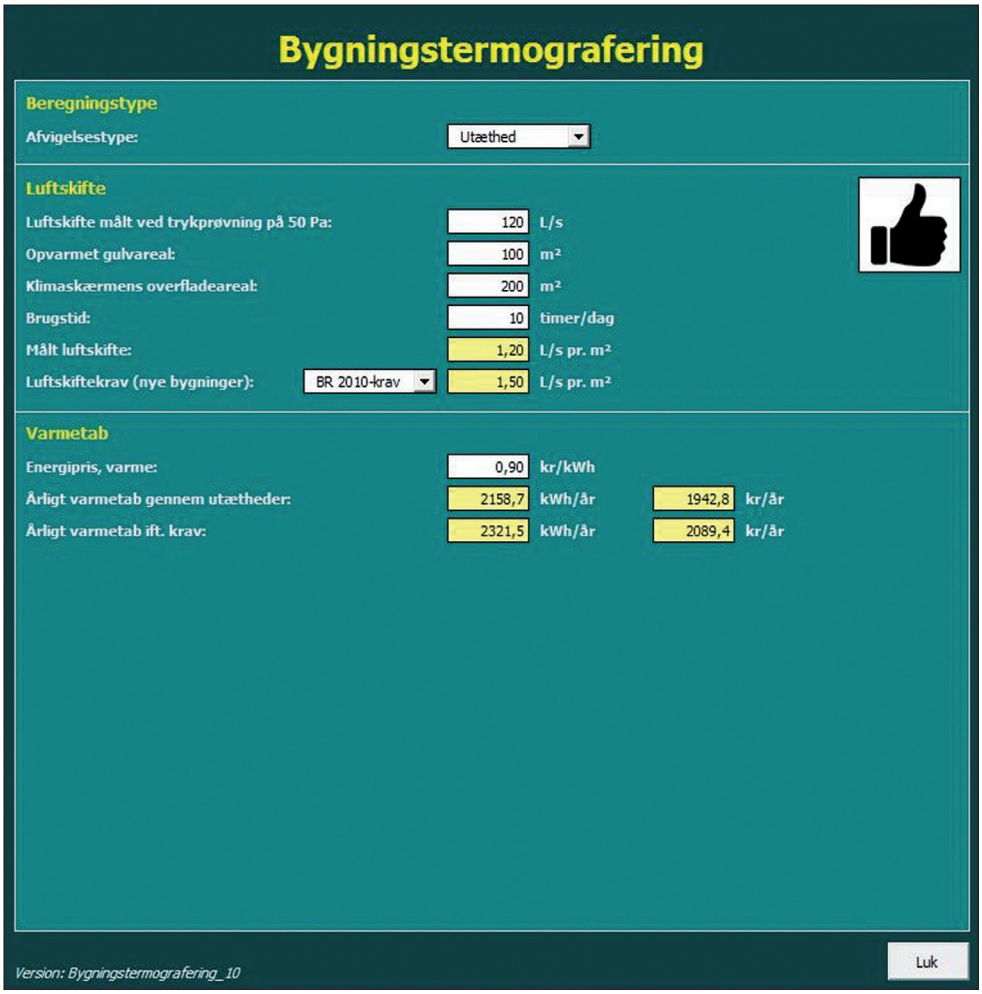
Hvis den relative luftfugtighed i rummet ikke er målt, er det i denne fane muligt, at få hjælp til at finde den relative luftfugtighed ud fra vejledende værdier bestemt ud fra bygningstype og måned på året.

Hvis der er risiko for skimmelvækst vil:

- Tommelfingeren vende nedad
- Der være røde udråbstegn foran overfladetemperaturerne
- Der i bunden af fanen stå "Risiko for skimmeldannelse"



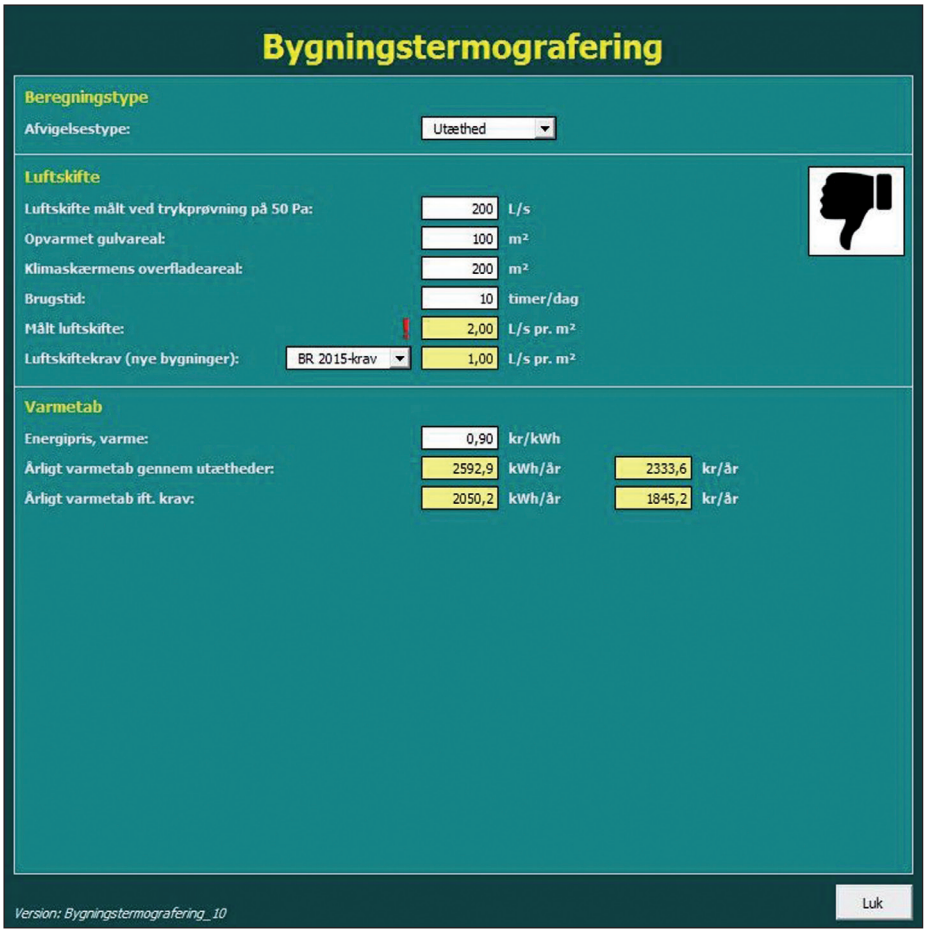
F.4 Utæthed



I fanen vedrørende utætheder er det muligt, at:

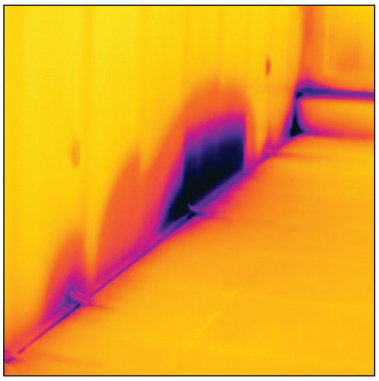
- Undersøge om det målte luftskifte, ved trykprøvning, gennem utætheder i konstruktionen overholder det valgte krav for nye bygninger
- Bestemme det årlige varmetab gennem utætheder i konstruktionen.
- Bestemme de årlige ekstraomkostninger til opvarmning forårsaget af utætheder i klimaskærmen
- Det årlige varmetab samt krav til luftskifte bestemmes ud fra formlerne beskrevet i afsnit 5.5.

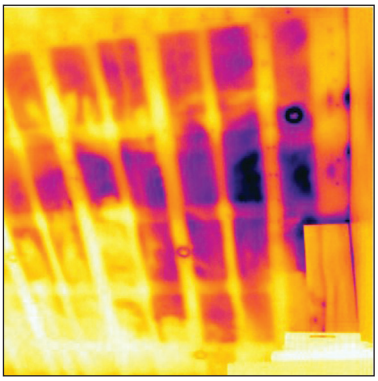
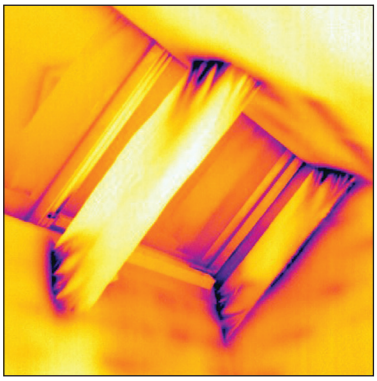
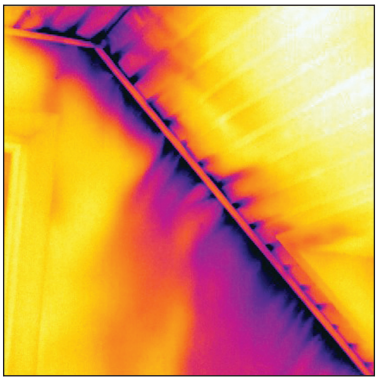
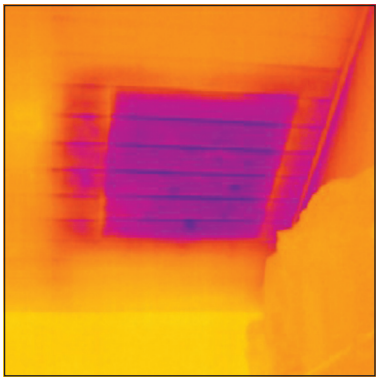
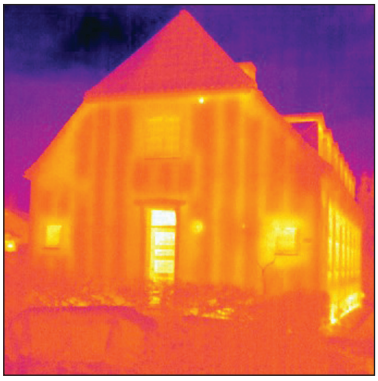
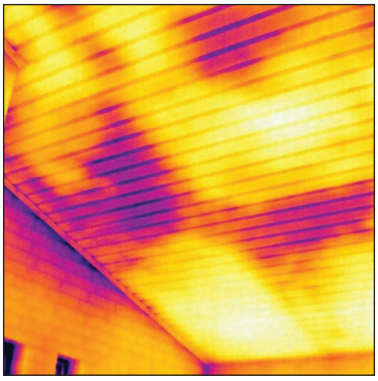
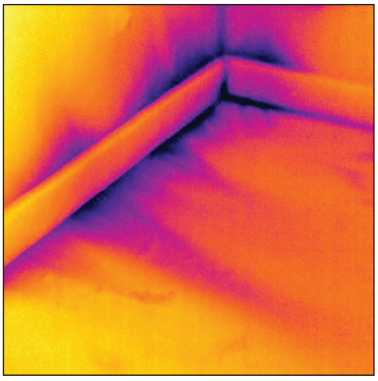
– Hvis kravet til utætheder ikke overholdes vil tommelfingeren vende nedad og der vil fremkomme et rødt udråbstegn foran luftskiftet:



Appendiks G

Måling af skimmel



TEKNOLOGISK INSTITUT BOLIUS ISOLINK BlowerDoor • Termografering Dansk infrarød INSPEKTION

Appendiks G – Måling af skimmel

G.1 Måling af skimmel på overflader

Måling af skimmelsvampevækst på overflader kan udføres efter metoden Mycometer-surface af personer som har gennemført et Mycometer-kursus og bestået eksamen med mindst 80 procent korrekte svar. Metoden udføres ved, at:

1. Der påklæbes et arealmål på 9 cm² på det sted hvor prøvningen ønskes foretaget
2. En vatpind fugtes i en steril væske
3. Det afgrænsede område aftørres grundigt med vatpinden.
4. Vatpinden placeres i det rør vatpinden kom i.
5. Prøverne indsendes til analyse
6. Prøverne analyseres (skal foretages inden for en uge) efter de udarbejdede protokoller og af en virksomhed med laboratoriefaciliteter certificeret efter Mycometer
7. Resultatet bedømmes efter kategorierne i nedenstående tabel

Kategori	Målte værdier	Beskrivelse
A	MycoMeter værdi ≤ 25 MT	Niveauet af skimmelsvamp er ikke over det normale baggrundsniveau.
B	25 MT < MycoMeter værdi ≤ 450 MT	Niveauet af skimmelsvamp er over det normale baggrundsniveau. Dette kan skyldes høje koncentrationer af sporer i støv, eller indikere tilstedeværelsen af en gammel udtørret svampemateriale.
C	MycoMeter Værdi > 450 MT	Niveauet er langt over det normale baggrundsniveau. Der er skimmelaktivitet på prøveudtagningsstedet.

Tabel 17. Kategorier for skimmeldannelse på overflader

Figur 70. Fra venstre: "Måleark på område med skimmelsvamp" og "Sikker opbevaring af vatpind"

Kategorierne i tabel 17 er udviklet i forbindelse med et stort tværfagligt forskningsprogram Skimmelsvampe i bygninger med deltagelse af bl.a. Statens Byggeforsknings Institut, Danmarks Tekniske Universitet og Bispebjerg hospital.

G.2 Måling af skimmelspore i luften

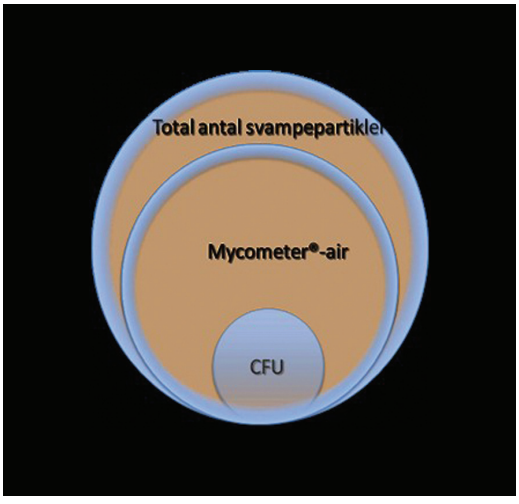
Måling af skimmelspore i luften kan enten udføres efter den klassiske dyrkningsmetode (CFU) eller efter metoden *MycoMeter-Air* (kun af personer som har gennemført et MycoMeter-kursus og bestået eksamen med mindst 80 procent korrekte svar).

Figur 71. Hus med skimmelsvamp i alle konstruktioner grundet forhøjet fugtindhold. Huset er nu i gang med at blive udtørret for at begrænse skaden.

Den klassiske dyrkningsmetode udføres ved, at:

1. En næringsagar placeres i rummet
2. Luftstrømme ledes hen over næringsagaren, hvor spiredygtige sporer og hyfestykker kan lande, spire og danne kolonier.
3. Efter 4-7 dage kan kolonierne ses med det blotte øje og resultatet kan analyseres af en mykolog

I modsætning til den klassiske dyrkningsmetode måler Mycometer-air både på mængden af levende svampepartikler samt mængden af døde svampepartikler (se figur 72). Denne metode måler således på en større del af de tilstedeværende svampepartikler end den klassiske metode. Udover at der findes levende og døde sporer og hyfestykker i luften, har nyere forskning påvist, at der også findes mikropartikler, dvs. meget små partikler med en størrelse på ≤ 1 µm (1µm er en tusindedel af en millimeter). Mikropartikler er typisk henfaldne dele af sporer og hyfer.



Figur 72. Antal svampepartikler der måles med de forskellige metoder

Metode *Mycometer-air* kan enten udføres vha. aggressiv eller passiv prøvetagning.

Ved aggressiv prøvetagning anvendes der en mekanisk håndblæser til at gøre skimmelsvampe-partiklerne luftbårne. Herefter startes en luftpumpe som suger luft gennem et filter med en flowhastighed på 20 liter per minut (der filtreres i alt 300 liter luft). Det er i dette filter, at prøven opsamles. Prøven kan afslutningsvis indsendes til analyse. Resultatet bedømmes efter kriterierne i nedenstående tabel.

Passiv prøvetagning udføres på samme måde som aggressiv prøvetagning, blot uden brug af håndblæser. Passiv prøvetagning bedømmes efter kriterierne i nedenstående tabel.

Skimmelsvampe-partikler lægger sig på overflader når luften ikke er i bevægelse. Det anbefales derfor at der, så vidt muligt, anvendes aggressiv prøvetagning ved analyse af skimmelspore i luften, idet svampe-partiklerne, ved denne metode, hvirvles op i luften. Der kan desuden være vækst af skimmelsvamp uden at det er umiddelbart synligt. Dette vil også blive afsløres med en aggressive prøvetagning. Passiv prøvetagning kan imidlertid anvendes i de rum/bygninger med mistanke til skimmel i ventilationsanlæg eller kanaler/rør.

Kategori	Målte værdier	Beskrivelse
A	MycoMeter værdi ≤ 900 MM-air	Lavt indhold af skimmel i luften
B	900 MM-air < MycoMeter værdi ≤ 1700 MM-air	Medium indhold af skimmel i luften
C	MycoMeter værdi > 1700 MM-air	Højt indhold af skimmel i luften

Tabel 18. Kategorier for skimmelspore i luften. Aggressiv metode.

Kategori	Målte værdier	Beskrivelse
A	MycoMeter værdi ≤ 350 MM-air	Lavt indhold af skimmel i luften
B	350 MM-air < MycoMeter værdi ≤ 450 MM-air	Medium indhold af skimmel i luften
C	MycoMeter værdi > 450 MM-air	Højt indhold af skimmel i luften

Tabel 19. Kategorier for skimmelspore i luften. Passiv metode.

Figur 73. Måling af svampespore i luften

Litteraturliste

Arbejdstilsynet, kilde 1. (2014). *Fugt og skimmelsvamp i indeklimaet.*
Hentet fra http://arbejdstilsynet.dk/da/arbejdsmiljoemner/indeklima/fugt-og-skimmelsvamp.aspx

Arbejdstilsynet, kilde 2. (2014). *Luftfugtighed*.
Hentet fra http://arbejdstilsynet.dk/da/arbejdsmiljoemner/laes-ogsaa/maling-og-vurdering-af-indeklimaet/15-luftfugtighed.aspx

Arbejdstilsynet, kilde 3. (2012). *Lufthastighed og træk*.
Hentet fra http://arbejdstilsynet.dk/da/arbejdsmiljoemner/laes-ogsaa/maling-og-vurdering-af-indeklimaet/6-lufthastighed-og-traek.aspx

Bolius. (2011). *Hvad er skimmelsvamp?*
Hentet fra http://www.bolius.dk/hvad-er-skimmelsvamp-17030/

Byg-erfa, kilde 1. (2011). *Erfaringsblad (99) 111230: Termografiske undersøgelser.*

Byg-erfa, kilde 2. (2000). *Erfaringsblad 2000 08 07*.

Byg-erfa, kilde 3. (2014). *Erfaringsblad (99) 131229: Hvad er en BlowerDoor-test?*
Hentet fra https://byg-erfa.dk/bygningers-lufttaethed

Byggetilsynet. (2014). *Hvad er en BlowerDoor-test?*
Hentet fra http://www.byggetilsynet.dk/blowerdoor_hvad_er.php

Dansk Standard, kilde 1. (2001). DS 1752, 1. udgave: *Ventilation i bygninger - Projekteringskriterier for indeklimaet.*

Dansk Standard, kilde 2. (1999). DS/EN 13187, 1. udgave: *Bygningers termiske ydeevne - Kvalitativ sporing af termiske uregelmæssigheder i en bygnings klimaskærm - Infarød metode*.

Dansk Standard, kilde 3. (1993). DS/EN 474, *1. udgave: Norm for specifikation af termisk indeklima*.

Dansk standard, kilde 4. (2002). DS/EN 418, *6. udgave: Beregning af bygningers varmetab*.

Dansk Standard, kilde 5. (2013). DS/EN ISO 13788: Byggekomponenters og -elementers hygrotermiske ydeevne - Indvendig overfladetemperatur for at undgå kritisk overfladefugtighed og kondensdannelse i hulrum - Beregningsmetoder.

Dansk Standard, kilde 6. (1993). DS/EN 474, *1. udgave: Norm for specifikation af termisk indeklima*.

Dansk Standard, kilde 7. (2001). DS/EN 13829: *Bygningers termiske ydeevne - Bestemmelse af luftgennemtrængelighed i bygninger - Prøvningsmetode med overtryk skabt af ventilator*.

Danvak. (1997). *Varme- og klimateknik: Grundbog, 2. udgave. Danvak*.

Den Store Danske. (2014). *Infrarød stråling*.
Hentet fra http://www.denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Fysik/Svingninger_i_faste_stoffer,_v%C3%A6sker_mv./infrar%C3%B8d_str%C3%A5ling

Elma Instruments. (2014). *Røgpatroner*.
Hentet fra http://www.elma.dk/_dk/Produkter/Lists;190010/R%C3%B8gprodukter/R%C3%B8gpatroner

Energistyrelsen. (2014). *Bygningsreglementet* (BR10).
Hentet fra http://bygningsreglementet.dk/br10_04/0/42

Foreningen Klimaskærm. (2014).
Hentet fra http://www.klimaskaerm.dk/

Javelin. (2010). *Stand alone noncontact spot infared thermometer.*
Hentet fra http://www.blwvisser.nl/image/pdf_products/JavelinEnglishRevG_en.pdf

John Snell. (2010). *Emissivity: Understanding How it Affects Your Thermal Images*.
Hentet fra http://thermal-imaging-blog.com/index.php/2010/09/01/emissivity-understanding-how-it-affects-your-thermal-images/#.U9-H_uN_t1B

Protek. (2014). *Reflectance and Emittance of building materials*.
Hentet fra http://www.protek-usa.com/pdf-new/SolarReflectanceEmittanceBldgMaterialsGraph.pdf

Sbi, kilde 1. (1983). *Sbi-anvisning 130, 1. udgave: Måling af termisk indeklima*.

Sbi, kilde 2. (2013). *SBi-anvisning 224: Fugt i bygninger, 2. udgave*.

Sbi, kilde 3. (2011). *Sbi-anvisning 213: Bygningers energibehov, 2. udgave.*

Teknologisk Institut. (2010). Notat vedr. termografi af vinduer/bygningstermografi.

Testo. (2008). Handbok i termografi. Hentet fra http://www.nordtec.se/sites/default/files/handbok_termograf.pdf

The Engineering Tolbox. (2014). *Materials - Light and Reflecting Factor.*
Hentet fra http://www.engineeringtoolbox.com/light-material-reflecting-factor-d_1842.html

Videncenter for energibesparelser i bygninger. (2010). *Gode råd om termografering*.

Aage Birkkjær Lauritsen, Bjarne Andreasen, Christian Drivsholm, Hans Madsbøll, Henrik Poulsen, Henrik Tommerup, Jan de Wit, Jan Erik Nielsen, Jan Nielsen, Kaj L. Bryder, Leon Buhl, Lars Reinholdt, Nick Bjørn Andersen, Niels Winther og Olena Ka. (2012). *Varme Ståbi, 6. udgave*.

Egne notater:

TEKNOLOGISK
INSTITUT

BOLIUS

ISOLINK
BlowerDoor • Termografering

Dansk infrarød
INSPEKTION