



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**

Gregersensvej  
DK-2630 Taastrup  
Telefon 72 20 20 00  
Telefax 72 20 20 19

info@teknologisk.dk  
www.teknologisk.dk

2. marts 2010

PFC/ihm

\\dmwclus\dmw\_docs\1387227\1288203\_PFC10\_351703\_012\_version 2.doc

## **NOTAT**

### **Vurdering af mulighederne for ved termografering fra luften at udarbejde et termografisk kort, hvor man kan klassificere energitab fra bygninger**

#### **1. Formulering af opgaven**

Energistyrelsen har bedt Teknologisk Institut udarbejde et notat om termografering af bygninger fra luften. Opgaven går ud på at besvare følgende spørgsmål:

Kan lodret og/eller skrå termografering af bygninger fra luften benyttes som metode til at identificere dårligt isolerede bygninger eller bygningsdele med stort varmetab med henblik på at opnå to formål, nemlig

- målretning af indsatsen til reduktion af energiforbruget i bygninger mod de bygninger og bygningsdele, hvor der vil være størst energimæssig virkning ved gennemførelsen af bygningsforbedringer.
- synliggørelse af bygningernes energistandard

Notatet indeholder Teknologisk Instituts vurdering af dette spørgsmål.

Notatet bygger på:

Den viden som Teknologisk Institut gennem 40 år (første AGA udstyr i Danmark anskaffet ca. 1968) har oparbejdet med hensyn til termografiets muligheder.

Den viden som Teknologisk Institut har med hensyn til selve bygningsmassens opbygning, og de muligheder dette giver for at kunne validere termografier taget fra jorden såvel som fra luften (lavtgående flyvemaskine).

Den viden som vi har kunnet finde med hensyn til termografering fra højtflyvende flyvemaskine eller satellitter ved forespørgsel bl.a. hos Danmarks Meteorologiske institut, Det danske flyvevåben (militæret) og Geografisk Institut (graph remote sensing).

Den viden som vi har fået ved møder, mails eller telefonsamtale med de i Danmark førende leverandører af termografiudstyr, Præcisions Teknik, GD INSTRUMENTS, og Buhl og Bønsøe m.m.

Udenlandske rapporter og viden.

2. marts 2010  
PFC/ihm

## 2. Forklaring af begreber

*Termografering* af en bygning sker med et varmfølsomt kamera, der viser objektets overfladetemperatur og variationen af objektets overfladetemperatur ved en farvelægning af objektet, således at de koldere områder fx vises i blålige nuancer over de grønne og røde til de varmere hvide områder.

Bygningstermografering, der udføres for at afdække unødvendigt energitab, skal normalt foretages i den koldeste del af året, hvor varmetabet er størst, og mulighederne for at vurdere unødvendigt varmetab dermed er størst.

Termograferingen skal derudover helst foregå om natten eller i skyet vejr for at undgå solens indflydelse. Bygningstermografering giver langt de bedste resultater, når den foretages indefra.

Ved bygningstermografering udefra er temperaturforskellene i den udvendige overflade mindre end ved termografering indefra. Bygningstermografering fra fly skal derfor normalt også foregå ved forholdsvis begrænsede vindhastigheder, da høje vindhastigheder udvisker temperaturforskellene i overfladen.

*Termografiet* er det ved termograferingen fremkaldte billede. Termografiet indeholder fra 25.000 – 100.000 pixel (billedpunkter) ved de normalt anvendte håndholdte termografikameraer.

Ved termografering fra fly benyttes termograferingsudstyr, der har op til  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{3}{4}$  mio. pixel.

Ved en termografering af et objekt fremstår termografiet (billedet) med farver, der er knyttet til objektets overfladetemperatur (forenklet forklaring), og termografiet viser således med farver, om overfladen relativt set er varm eller kold.

*Hot spots* er unormalt varme punkter/områder i et termografi. Ved termografering af bygninger viser hot spots normalt områder med et uønsket varmetab.

### *Termografering af bygningsmassen fra luften*

Ved enhver termografering af bygningsmassen og specielt ved termografering fra luften er det afgørende, at man kan opfange/afbillede "hot spots", og at man kan fortolke disse "hot spots" som værende et udtryk for uønsket eller unødvendigt varmetab.

## 3. Særlige forhold ved termografering

### *Varmestråling*

Alle objekter/bygningsdele har en overfladetemperatur (høj eller lav), og dermed udstråler alle objekter en højere eller lavere "varmeenergi". Tilsvarende modtager alle objekter en varmestråling fra andre objekter (lidt mindre fra kolde objekter og lidt mere fra varme objekter).

2. marts 2010  
PFC/ihm

Dette medfører, at varmemestrålingen fra en bygningsdel bliver blandet med en spejling af varmemestrålingen fra bl.a. andre bygninger, jorden og himmelrummet. Ved termograferingen kan man ikke umiddelbart adskille den af bygningsdelen udsendte varmemestråling fra den af bygningsdelen reflekterede varmemestråling fra fx himmelrummet eller nabohuse/træer. Der skal derfor foregå en efterbehandling af billedet for at rense det for uønskede refleksioner af varmemestråling fra andre objekter

#### *Emissions- og refleksionstal (refleksion= spejlende)*

Varmemestråling fra objekter/bygningsdele afhænger primært af to faktorer, nemlig objektets temperatur og objektets emissionsfaktor, som afhænger af overfladens beskaffenhed som fx materialeegenskaber og farven. Varmemestrålingen fra sorte og hvide overflader vil således være forskellig, selv om overfladerne har samme temperatur. Hvide eller metalliske overflader har en mindre varmemestråling end sorte overflader. Metalliske overflader har et meget lavt emissionstal og tilsvarende meget højt refleksionstal, og metalliske overflader virker dermed spejlende med hensyn til varmemestrålingen. Metalliske overflader reflekterer således varmemestrålingen fra omkringliggende objekter. Varmemestrålingen, der opfanges af et termografikamera fra et objekt med en metallisk overflade, afhænger derfor primært af den reflekterede varmemestråling udefra og ikke af den metalliske overflades temperatur.

#### *Lodret termografering*

Lodret termografering er forholdsvis enkel, stedbestemmelsen er enkel, men det er vanskeligt men ikke umuligt at overføre de relevante data til det overordnede digitaliserede kort. Ved lodret termografering kan man ikke medtage lodrette overflader som fx facader.

#### *Skrå termografering*

Selve termograferingen er enkel, og man kan ud over de skrå og vandrette flader også medtage 1 – 2 lodrette facader pr. fotografering, hvilket medfører, at der skal foretages mindst 2 overflyvninger for at få alle 4 sider af bygningerne med. Stedbestemmelsen bliver meget vanskelig, da det kræver en meget præcis flyvehøjde og meget præcis bestemmelse af fotovinklen ifølge svenske erfaringer.

#### *Information i billedet*

De velkendte håndholdte termograferingsudstyr har typisk fra 25.000 – 100.000 pixel pr. billede, og med den moderne digitale teknik med 16bits information pr. pixel medfører dette, at der er uanede muligheder for automatisk bearbejdning af billedet med hensyn til temperaturer, temperaturgradienter, beregning af varmetab for ”hot spots” og sammenligning mellem forskellige slags termografier. Dette giver mulighed for en uhørt detaljeringsgrad i termografier af fx vinduer med mere end 25.000 pixel pr. m<sup>2</sup>.

2. marts 2010  
PFC/ihm*Faktorer der indvirker på tolkningen af termografier taget fra luften*

Under helt optimale forhold er den udvendige overfladetemperatur højere ved bygningsdele med isoleringsfejl, kuldebroer og ud for uisolerede områder end ud for de velisolerede områder. Dvs. i princippet vil alle de velisolerede bygningsdele have en overfladetemperatur, der er tæt på udetemperaturen (ingen sol m.m.), og de dårligere isolerede bygningsdele vil være noget varmere end udeluften.

De velventilerede og uisolerede tage (saddeltage, flade tage m.m.) vil på grund af ventilationen med udeluft have en overfladetemperatur, der svarer til udeluftens temperatur. På termografiet vil de uisolerede og velventilerede tage derfor fremstå lige så kolde og dermed lige så "velisolerede", som de tage der er isolerede. Denne problemstilling gælder langt de fleste tagkonstruktioner. Derved bliver det kun en yderst ringe del af de uisolerede tagkonstruktioner, der kan fanges ved en termografering fra luften.

Den samme principielle problemstilling forekommer ved vurderingen af forskellen mellem et vindue med 1 lags glas og en almindelig termorude, eller en almindelig termorude og en energirude på grund af glassets refleksioner af varmemstråling fra de omkringliggende bygninger, træer eller fra himmelrummet.

*Overflader*

Beskaffenheden af bygningsmaterialernes overflader medfører, at der er en meget stor forskel i emissionstal fra materiale til materiale, hvilket medfører, at overflader med samme temperatur kan afbilledes med forskelligt resultat i termografierne (billederne) af bygningerne.

På grund af baggrundsstrålingens karakter (himmelrummets strålingstemperatur kan svinge mellem -60 og plusgrader ved samme overflyvning), emissionstallenes variation for jordfladerne (asfalt, græs råjord m.m.) vil det ved overflyvning og skråfotografering give store problemer at validere termografierne, således at man kan bedømme overfladernes/konstruktionernes termiske egenskaber.

Dette giver uoverstigelige hindringer ved bestemmelse af fx vinduers varmetab. Det vil således med dagens teknik ikke være muligt fra luften at skelne mellem vinduer med et lag glas og 2 lags glas eller mellem 2 lags glas og energiruder.

*Luftlækage*

I grove træk skyldes 10 – 50 % af vinduernes varmetab luftlækage på grund af en utilstrækkelig lufttætning af vinduet.

Ved håndholdt termografering vil luftlækager i facade- og ovenlysvinduer være vanskelige at vurdere udefra. Ved termografering fra luften vil det på grund af de få pixel i billedet ikke være muligt at definere luftlækager.

*Forudsætning for en korrekt tolkning af termografierne i et varmeetlas*

En tolkning af termografierne forudsætter, at man kan foretage denne tolkning uafhængigt af de vejræssige forudsætninger for optagelsen og uafhængigt af overfladernes emissionstal.

2. marts 2010  
PFC/ihm

Fx vil højere vindhastigheder og højere udetemperaturer medføre, at konstruktionerne ser mere velisolerede ud, end når termograferingen foregår i vindstille vejr, og når udetemperaturen er lav. Dette vil medføre oplagte tolkningsfejl, der kan medføre unødvendige tiltag eller omvendt medføre, at gunstige tiltag ikke bliver overvejet.

En fornuftig tolkning kræver også, at der er en geometri i termografierne, der kan genkendes som fejl, og at der er en mulighed for at jævnføre termografier, der er optaget under forskellige klimaforhold.

#### *Tolkning i praksis*

Tolkningen af termografering af tage giver specielle problemer på grund af tagenes konstruktion jf. ovenfor. Derimod vil man i specielle tage kunne finde større isoleringsfejl, når isoleringen ligger direkte op ad tagdækningen. *Det vil dog for alle praktiske omstændigheder være umuligt fra luften at skelne selv betydende forskelle mellem velisolerede og dårligt isolerede tagkonstruktioner.*

Termografering af vinduer giver specielle problemer på grund af vinduernes reflek-sive (spejlende) og emissive egenskaber, der medfører, at det kun under helt optima-le forhold vil være muligt at skelne mellem et lags vinduer og almindelige termoru-der og mellem almindelig termoruder og de nye lavenergiruder. *Det vil for alle praktiske omstændigheder være umuligt fra luften at skelne disse forskelle.*

I praksis er det i højere grad de farvemæssige tegninger i termografiet, der gør, at man kan skelne mellem isolerede områder, uisolerede områder og egentlige isole-ringsfejl og luftlækager, hvilket kræver en forholdsvis stor billedopløsning. Denne billedopløsning kan man ikke opnå fra luften med dagens teknik. *Det vil for alle praktiske omstændigheder være umuligt fra luften at skelne disse mindre arealer med betydende forskelle i varmetab.*

#### *Hvem kan tolke termografier fra luften*

Den enkelte husejer vil ikke have mulighed for at skelne mellem den rigtige og for-kerte tolkning af et termografi af huset.

Den uerfarne håndværker vil have let ved at overbevise den normalt ukyndige hus-ejer om husets dårlige energimæssige tilstand, da han ikke kender termografiets be-grænsning.

Erfarne termografører vil have svært ved at tolke termografier i varmeetlasset på grund af bygningernes konstruktive opbygning og billedernes ringe detaljeringsgrad således som ovenover nævnt.

Den almindelige husejer såvel som den mere professionelle bruger vil derfor ikke kunne drage nyttige konklusioner med hensyn til de mest rentable investeringer.

2. marts 2010  
PFC/ihm

Udenlandske erfaringer:

Den moderne digitale termografering fra luften giver helt nye muligheder for at danne termografiske kort over hele byområder, men Nordens 2 førende virksomheder, se [www.termisksystemteknik.se](http://www.termisksystemteknik.se) og [www.praetek.dk](http://www.praetek.dk), inden for jord- og luftbaseret termografering mener således sammenstemmende med Teknologisk Instituts mangeårige erfaring, at man ved en termografering fra luften nok kun vil kunne opfangende mindre end 1 % af de interessante "hot spots" i bygninger, hvor det vil være muligt at foretage en eller anden form for rentabel efterisolering.

Ved et igangværende forskningsprojekt i Sverige er der udarbejdet et termografisk oversigtskort (varmeatlas) af Gøteborgs fjernvarmenet, samlet af over 40.000 termografier taget fra luften.

Kortet viser fejl og mangler ved fjernvarmenettet i de enkelte gader og dele af hele byen.

Ved dette projekt var der en succesrate på under 60 – 70 % af de konstaterede hot spots på fjernvarmenettet, men det var ikke muligt at foretage en kvalificeret vurdering af "hot spots" på tage, vinduer m.m. i et omfang, der overstiger 1 % af bygningerne.

Et netop afsluttet engelsk forskningsprojekt (doktorafhandling) fra *University of Nottingham: Evaluation of aerial thermography to discriminate loft insulation in residential housing, May 2007*  
[http://etheses.nottingham.ac.uk/284/1/Microsoft\\_Word\\_-\\_Thesis.pdf](http://etheses.nottingham.ac.uk/284/1/Microsoft_Word_-_Thesis.pdf) udtrykker konklusionen om luftbåren termografering meget rammende (afkortet version af side 169):

It is clear that indentifying houses that are in need of upgrading is an important aspect of energy conservation and, while aerial thermography has been sold as a tool for this very purpose and for 30 years, the evidence does not support its use.

The numerical models developed for this study to describe the sensors and the building roof, provide better understanding of the physical processes and allowed the results of the Nottingham survey to be quantified. However, the uncertainty in the results was significant and prevented discrimination of the insulation levels.

Det er således Teknologisk Instituts opfattelse, at en termografering fra luften i højere grad vil medføre en vildledning end vejledning af den enkelte husejer, og at der vil være en overhængende fare for, at husejerne med baggrund i en sådan termografering/varmeatlas vil foretage mindre hensigtsmæssige efterisoleringer end ved anden form for rådgivning.

2. marts 2010  
PFC/ihm

#### 4. Konklusion

Det er Teknologisk Instituts praktiske såvel som teoretiske erfaringer, at man med hensyn til isoleringsstandarden af en bygning kun i relativt set sjældne tilfælde kan uddrage en korrekt og nyttig information af en termografering af bygninger fra luften.

Udenlandske studier underbygger disse erfaringer.

- Det er således Teknologisk Instituts vurdering, at man ved en termografering fra luften kun i relativt få tilfælde kan synliggøre et uønsket varmetab fra de enkelte bygningsdele eller bygninger
- Det vil langt oftere være tilfældet, at uisolerede konstruktioner på termografier taget fra luften vil se ud, som om de er velisolerede.
- Det er således ikke muligt at klassificere varmetabet fra bygningskonstruktionerne i gode eller dårlige grupper, fx gruppe A, B, C osv.
- Det vil derfor ikke være muligt at udpege de konstruktioner eller de bygninger, hvor der vil være den største energimæssige virkning af at gennemføre energibesparende tiltag.
- Et varmeetlas over energispild i boligmassen vil således i højere grad misinformere om den bygningsmæssige energistandard, end den vil vise, hvor der med fordel kan udføres energibesparende tiltag.



PF Collet  
Projektleder

Ole Ravn  
Centerchef