

Flybåren termografisk kortlægning og varmetabskortlægning

Peter Knudsen

Flybåren termografisk kortlægning har eksisteret i hen ved halvtreds år. Teknologi og metode har udviklet sig siden de første militære og forskningsbaserede systemer, og den politiske fokus på, at minimere CO2 emissionen har fremmet interessen for værktøjet. COWI har på baggrund af udviklingen i teknologi og marked valgt at tilbyde denne service. Artiklen giver et indblik i historikken omkring termografisk kortlægning samt den grundlæggende teoretiske forståelse. Teknologien omkring de nyere sensorer uddybes ligesom anvendelser, metoder og perspektiver beskrives.

Termografisk kortlægning har på det seneste fået en større udbredelse i Danmark. Kendskabet til teknik og metoder og deres anvendelighed er generelt begrænset. Artiklen belyser vigtige forhold omkring termografisk kortlægning og sigter hermed på at udbrede kendskabet.

Semantisk består begrebet "flybåren termografisk kortlægning" af fem ord - fly, båren, termo, grafisk og kortlægning. Det drejer sig dermed i sagens natur om måling af temperaturer fra fly således, at de indsamlede temperaturdata kan fremstilles grafisk og anvendes til kortlægning. I den forstand forudsætter termografisk kortlægning naturligvis, at der sammen med temperaturmålingerne indsamles data der muliggør, at temperaturdata kan georefereres.

Flybåren termografisk kortlægning er en dataindsamlingsmetode der i den efterfølgende processing kan anvendes til flere formål, f.eks.

- Varmetabskortlægning af fjernvarmenetværk
- Varmetabskortlægning af bygninger
- Kortlægning og analyse af fænomenet Urban Heat Islands
- Kortlægning af miljø og naturforhold, hvor temperaturforskelle gør sig gældende

Metoderne til dataindsamling og efterfølgende processing og kortlægninger er i udgangspunktet ikke så forskellige fra de metoder der anvendes i forhold til andre typer data indsamlet fra satellit eller fly. En afgørende forskel er dog karakteren af data samt

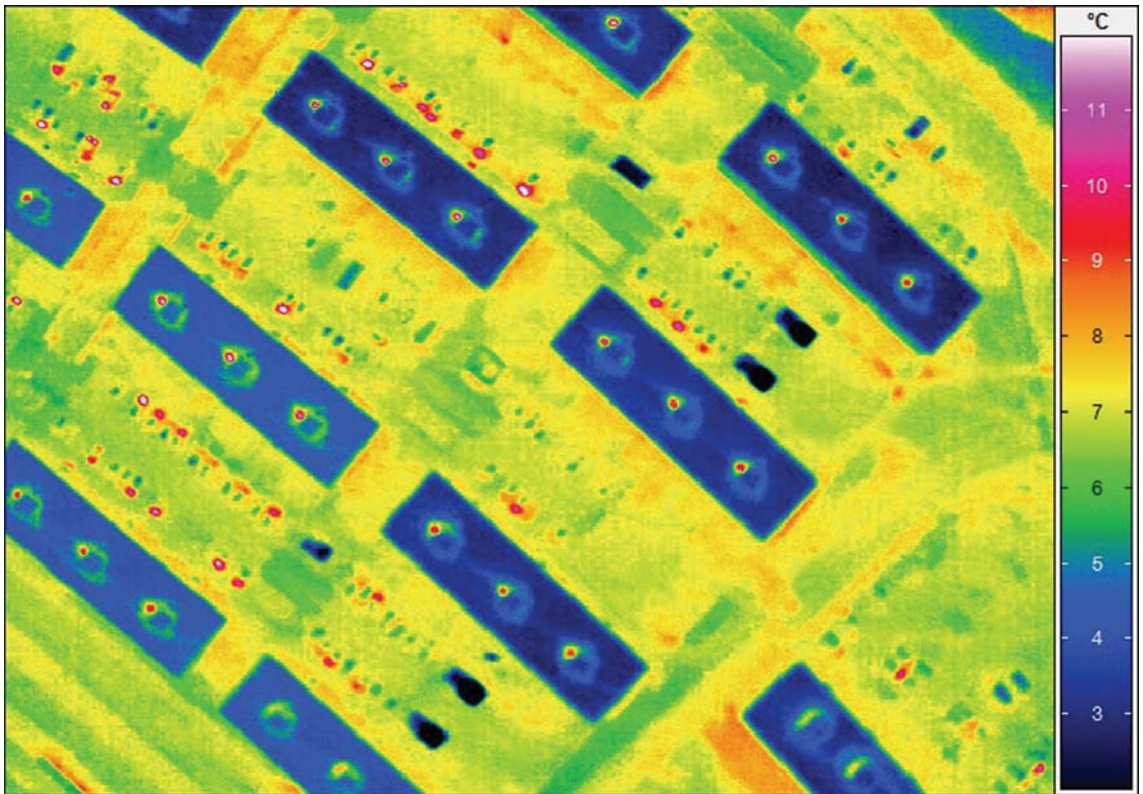
de fysiske lovmæssigheder der er gældende. Almindeligvis drejer kortlægning sig om, at registrere højde, bredde og længde af objekter på terræn. Termografisk kortlægning drejer sig om måling af temperaturer for objekter på terræn, samt kende deres geografiske position.

Termografisk kortlægning i et historisk perspektiv

Militæret har anvendt luftbårne termografiske sensorer siden 1950'erne. Sensorerne var i udgangspunktet ikke lavet til kortlægning og teknikken var kompliceret med skanningsmekanismer og krav om køling til et bestemt temperaturinterval. Sensorerne skulle anvendes til eftersøgning af objekter af militær interesse. I den henseende var sensorerne perfekte, da de gav mulighed for tilretning og justering af det bølgelængde område hvor der skulle indsamles data. Sensorerne var store, tunge, meget dyre og avancerede og var ikke lavet til kortlægningens formål.

For ca. 10 år siden blev der udviklet en ny type sensorer, der ikke krævede køling og som kostede betydeligt mindre. Sensorerne var meget mindre, lettere og billigere, hvilket åbnede op for et decideret massemarked for termografiske sensorer til terrestrisk dataindsamling. Samtidig gav udviklingen mulighed for at lave systemer til flybåren termografisk kortlægning på en mere effektiv måde end hidtil set.

Løbende er der sket forbedringer på flere centrale områder omkring muligheder for at måle i de optimale spektrale områder samt omkring integration af positioneringssystemer.



Figur 1. Figuren viser et enkelt termografisk billede i en pixelopløsning på 25 cm på terrænen fra et byområde i Århus. Data er indsamlet til testformål og er derfor ikke indsamlet under helt optimale forhold, hvilket giver sig til udtryk som lettere diffus opvarmning af partier på sydøst siden af husene. På billedet ses en række etagebygninger med udluftningsanlæg på taget. Ved udluftningsanlæggene ses en opvarmning, hvor den varme luft kommer ud. Mellem bygningerne ses et antal større kolde rektangulære flader. Der er her tale om overdækkede cykelskure uden opvarmning og et tagmateriale med en lav emissivitetskoefficient. På terrænen tæt på bygningerne ses en række lidt mindre og meget varme områder. Der er her tale om lyskasser, hvorfra der formentlig kommer udluftning fra kælderen. Copyright COWI A/S.

De kommercielle termografiske sensorsystemer der benyttes til kortlægning har gennemløbet en udvikling indenfor:

- Køling / ikke køling
- Spektralt måleområde
- Grad af integration af positioneringssystemer

De optimale systemer til flybåren termografisk kortlægning kræver ikke køling og måler i det spektrale område, hvor jorden udsender hovedparten af den langbølgede strå-

ling (varme). Derudover er systemerne baseret på gyro ophængt montering, L1/L2 DGPS og et navigationssystem til præcis måling af flyets hældning, krængning og rul. (Kilde: Kremer 2009)

Termografisk kortlægning hos COWI

COWI har arbejdet med termografisk kortlægning i fire år. De første opgaver for fire år siden blev løst med et lejet system med et mindre optimalt spektralt område og en ringere grad af integration af kvalitets positioneringssystemer. Formålet var udelukkende at

se på varmetab ifm. drift af fjernvarmenetværk. Aktuelt har COWI, sammen med firmaet IGI der integrerer sensor systemer, udviklet et nyt system til termografisk måling. Med dette system har COWI afprøvet og arbejdet med de anvendelsesområder der er nævnt i indledningen.

Teorien bag

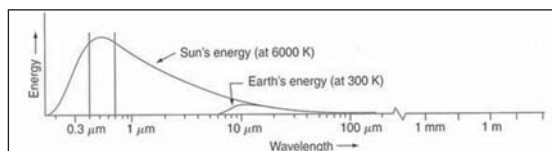
Termografisk kortlægning er baseret på infrarød termisk måling. Princippet bag infrarød termisk måling er, at ethvert objekt med en temperatur over det absolutte nul udstråler elektromagnetisk stråling. Først måles og bestemmes den udgående langbølgede elektromagnetiske stråling, hvorefter denne kan omregnes til temperatur. Særligt tre forhold bør observeres i relation til udførelsen af målingen:

- Valg af det spektrale område hvor målingerne skal ske
- Dataindsamlingen bør ske under termisk stabile forhold samt målrettet og optimeret ift. formålet
- Forskellige materialer har forskellige emissivitetskoefficienter, dvs. evne til at udsende langbølget stråling. Dette har alene betydning såfremt man ønsker at bestemme en absolut temperatur eller i de tilfælde hvor emissivitetsforskelle mellem objekter er i en sådan størrelsesorden at reelle temperaturforskelle udviskes, hvorved den relative temperaturforskel ikke længere kan observeres.
- Optageretning - på skrå eller lodret

Måleområde

Når der skal måles temperaturer for objekter på terræn, såsom for eksempel bygninger og fjernvarmenetværk, bør der måles indenfor det bølglængdeinterval hvor Jorden har sin maksimale langbølgede udstråling.

Af figur 2 fremgår det tydeligt, at det optimale måleområde er i bølglængde området omkring 10-14 μm . Endvidere er den atmosfæriske transmission (den langbølgede strålings evne til at trænge gennem atmosfæren) bedst i måleområdet 8-14 μm . Der findes systemer



Figur 2. Figuren viser energidistributionskurven som funktion af bølgelængde for solen og jorden. Kilde: Lillesand, Kiefer og Chipman, 2004.

der måler i området omkring 3-5 μm , fordi det rent teknisk er nemmere at måle her, ligesom at det er et foretrukket område ifm. sensorer udviklet til militære formål. Sensorsystemet fra IGI opererer i bølglængdeområdet 7.5 - 14 μm .

Rammer for dataindsamlingen

Måling af temperaturer ved hjælp af infrarød termisk måleudstyr påvirkes af omgivelserne. Påvirkningerne skal naturligvis søges minimeret. Derfor skal data indsamles under forhold, hvor der er minimal vindpåvirkning og påvirkning fra atmosfæren.

Videre er det vigtigt at etablere størst mulig kontrast mellem det eller de fænomener man vil identificere i forhold til omgivelserne. Ved varmetabskortlægning ønsker man den størst mulige temperaturdifferens mellem omgivelserne og varmen der siver ud.

Afhængig af formålet med dataindsamlingen vil der blive stillet forskellige krav til optageforhold, herunder tidspunkt og lufttemperatur.

Optimalt set bør

- vindhastigheden være mindre end 3 m/s
- atmosfæren skal være tør og klar
- Solens opvarmning af den eksponerede overflade minimeret eller helst elimineret
- temperaturen ved varmetabskortlægning bør være mindre end 2 °C.

Indsamling af termografiske data til varmetabskortlægning i Nordeuropa foregår om natten gennem vinterperioden når der ikke er sne og fugt og når vinden er ringe. Muligheden

for indsamlingen af data under optimale forhold er dermed begrænsede. I nogle tilfælde arbejder man når det er koldere end 4 °C for at opnå flere operationelle dage.

Emissivitetskoefficient

Objekter har forskellig evne til at udstråle elektromagnetisk stråling. Forskellen kan udtrykkes ved en emissivitetskoefficient, hvor et absolut sort legeme har emissivitetskoefficienten 1. Forskelle i emissivitet er bl.a. afhængig af materialestruktur, oxidering, overfladestruktur, optagevinkel o.a.

I visse anvendelsessituationer kan det være hensigtsmæssigt at tage højde for forskellene. Særligt ved varmetabskortlægning af bygninger bør det overvejes at tage højde for forskellene, og i særlig grad hvis der er en uensartet materialesammensætning i den bygningsmasse der observeres.

I forbindelse med temperaturmålinger med det infrarøde termografiske måleudstyr kan emissivitetskoefficienten ikke bestemmes. Hvis der skal tages højde for forskel i emissivitetskoefficient skal der foretages en sideløbende dataindsamling om materialetyperne. Indsamling af data om materialetype kan for eksempel ske ved automatisk tolkning af almindelige farveflyfoto og ved at anvende Bygnings- og Bolig Registerets informationer om tagmateriale.

Data om materialetyper skal anvendes i processeringen af de indsamlede data fra det infrarøde termiske måleudstyr. Der er ikke linearitet i relationen mellem temperatur og emissivitet, hvorfor data om materialetype skal anvendes i den første del af processeringen ved bestemmelsen af strålingen.

Optageretning - på skrå eller lodret

Idéen om skrå termografisk optagelse og evt. teksturering af en 3D bymodel er interessant. Forudsætning for, at der skabes reel værdi er, at kvaliteten er tilpas god. På nuværende tidspunkt er der en række forhold omkring kvaliteten af skrå termografisk dataindsamling, som bør tages med i vurderingen af mulighederne med skrå optagelse.

Opløsningen på skrå termografisk måling er på ingen måde sammenlignelig med almindelig pankromatisk skråfoto optagelse. Hvis opløseligheden f.eks. er 50 cm på det termografiske datasæt, så har COWIs normale pankromatiske skråfoto en opløsning der er 100 gange så god. Ved vurdering af hvorvidt en opløsning er tilstrækkelig, skal det vurderes hvilke fænomener der skal kunne iagttages på billeder.

Hvis formålet med at optage på skrå er at kunne se forskellene omkring varmeudslippet fra de enkelte dele af facaden, vinduer, døre og mure, så bør opløsningen være nede omkring 25 cm for at de enkelte bygningsdele kan adskilles.

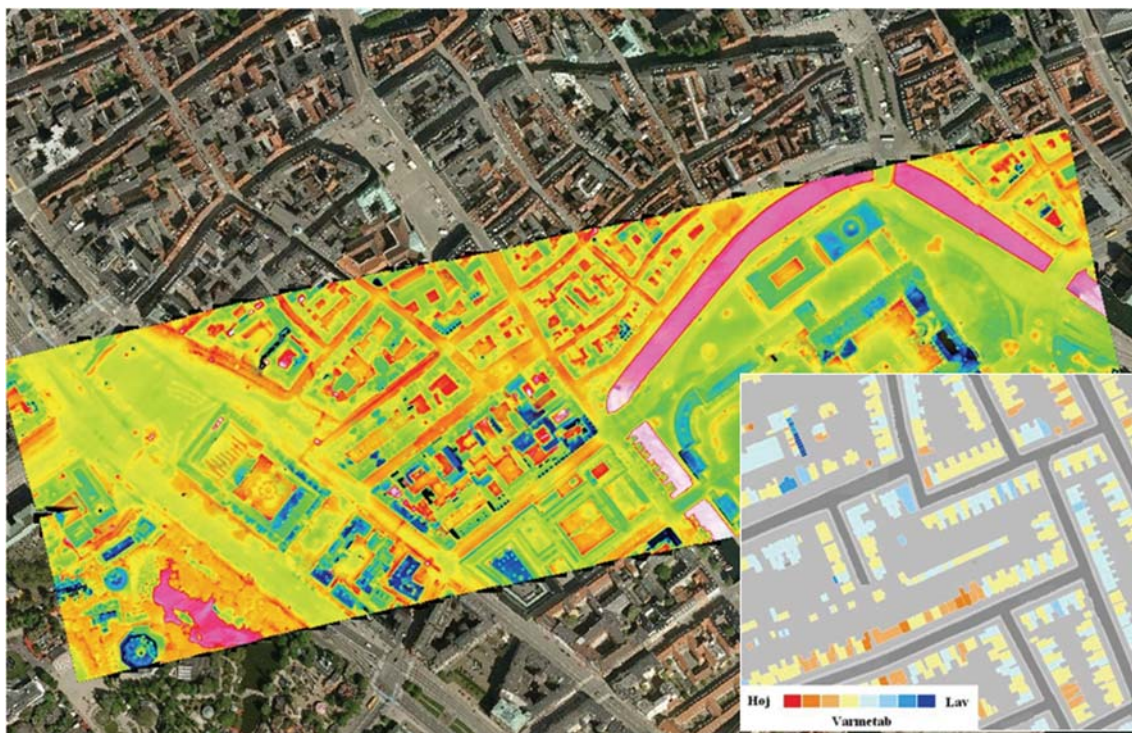
Hvis formålet med at optage på skrå er at kunne se forskellene mellem tag og facade på et mere overordnet plan så tilfører den skrå optagelse ikke mere information end der kan ses ud af den lodret orienterede indsamling. Tilt i et lodret billede giver som bekendt indblik til facaden.

Udover forholdene omkring opløsning bør det indgå i vurderingen, at metoden til håndtering af forskellene i emissivitetskoefficient i skrå optagelser er for kompleks til faktisk produktion på nuværende tidspunkt.

Skrå optagelser er forholdsmæssigt dyrere da der skal flyves flere gange over det samme område afhængigt af hvor mange sensorer der er monteret i flyet. På sigt kan det forventes at teknik og metode omkring skrå optagelse og processering vil blive forbedret.

Anvendelser og eksempler

De første opgaver COWI løste med flybåren termografisk kortlægning havde til formål at kortlægge varmetabet fra fjernvarmenetværk. Kortlægningen gav en klassificering af netværket. Formålet var at hjælpe fjernvarmeselskaberne med at optimere på renoveringen af netværket. På den måde fik fjernvarmeselskaberne en mere effektiv renovering.



Figur 3. Figuren illustrerer to mulige resultater i forbindelse med termografisk kortlægning. De termografiske billeder kan mosaikeres sammen til et sammenhængende billede og der kan fremstilles en kortlægning af varmetabet på bygningsniveau. Copyright COWI A/S.

COWI har også løst og løser opgaver, hvor varmetabet i bygninger skal kortlægges. Kortlægningen anvendes i indsatsen for at nedbringe CO2 emissionen. Særligt kommunerne er interesseret i metoden i forbindelse med deres klimaindsatser. Emissivitetskoefficienten kan variere fra bygning til bygning og i nogle tilfælde kan det give meget misvisende resultater, hvis ikke temperaturen er bestemt på baggrund af de korrekte emissiviteter. Relativt vil f.eks. et ståltag uden indregning af emissivitetskoefficienter fremtræde koldere end et tegltag uanset at de reelt har den samme temperatur.

Den største opgave COWI har løst drejer sig om termografisk kortlægning af et ikke dansk byområde på mere end 600 km². Disse blev kortlagt i en opløsning på 50 cm. Formålet var primært at identificere den såkaldte

Urban Heat Island effekt, og sekundært at identificere defekte eller ineffektive køleanlæg på bygninger. Hensigten fra klientens side var at forbedre levevilkårene for byens indbyggere. COWI leverer i forlængelse af kortlægningen en ingeniørteknisk rapport, der peger på hvilke bygningsmæssige, energitekniske og byplanmæssige tiltag der kan implementeres for at imødegå den uønskede effekt.

De omtalte projekter kan relateres til klimaforandringer og mulige besparelser på energi samt miljøforhold. Erfaringerne viser at mange brugere efterspørger en samlet løsning og ikke blot en enkeltstående kortlægning. Værdien for brugeren af termisk information er først til stede når kortlægningen knyttes sammen med rådgivning på klima, byggeri, energi o.a.

Perspektiver

Termografisk kortlægning er velafprøvet og har været kendt i flere år. Metoderne indenfor varmetabskortlægning af bygninger og fjernvarmenetværk samt kortlægning af Urban Heat Islands er kendte og flere store opgaver er løst med gode resultater til følge. Ved systematisk at indsamle temperaturdata fra et fly opstår der helt nye og værdifulde muligheder. Denne artikel har fokuseret på de nye muligheder for aktivt at gøre noget for at:

- Reducere CO2 emissionen og energiforbrug fra og ved opvarmning af huse og transmission og distribution af fjernvarme
- Optimere levevilkårene for indbyggerne i verdens bysamfund

Perspektiverne for anvendelse er langt fra udtømte. Der kan fremover forventes en videre udvikling indenfor forskellige anvendelsesområder. COWI udforsker mulighederne på tværs af afdelingerne for kortlægning, energi, byggeri, klima, miljø og natur.

Referencer

Kremer, Jens (2009): Optimized Data Acquisition with the IGI DigiTHERM Thermal Camera System, Abstract Photogrammetrische Woche

Lillesand, Kiefer og Chipman, 2004, Remote sensing and image interpretation, Wiley

Om forfatteren

Peter Knudsen, landinspektør, projektleder afdelingen for kort og geodata, e-mail: pkn@cowi.dk, tlf.: 45972838, COWI A/S, Parallelvej 2, DK-2800 Kongens Lyngby