

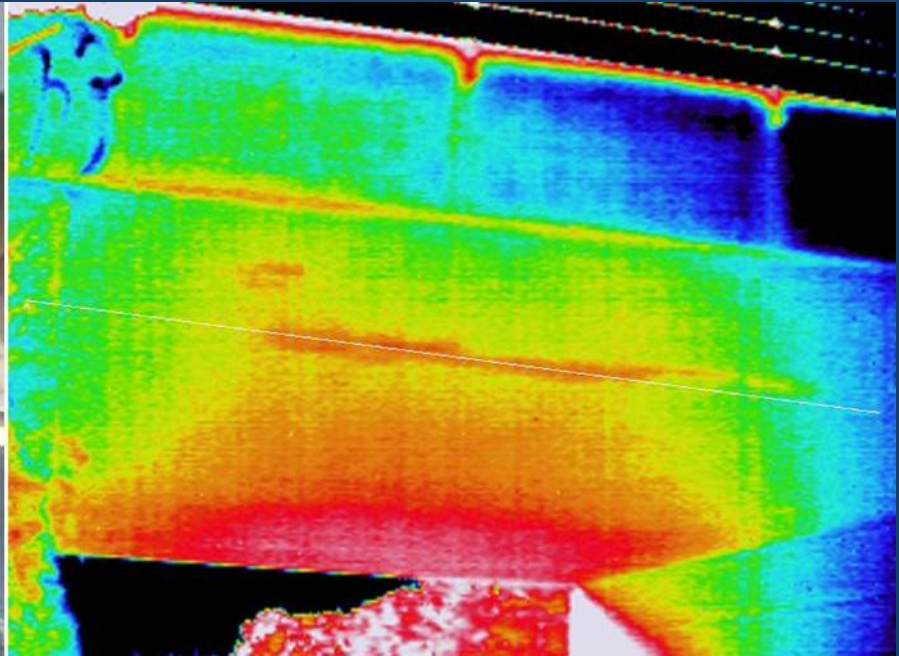
## Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

Brovedlighold og materialeteknologi  
Asger Knudsen, Afdelingsleder

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Agenda

- Problemstilling
- Hvad er termografi?
- Udviklingsprojekt 2006/07
- Konklusion
- Fremtidsperspektiver



**Problemstilling**

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Problemstilling

### Løse dæklag medfører:

- Risiko for nedfald af løs beton på UF passager
- Både forebyggende undersøgelser og evt. reparationer kræver vejspærring!
- Præcis lokalisering er meget vanskelig med traditionelle metoder, da skaderne ofte er skjult



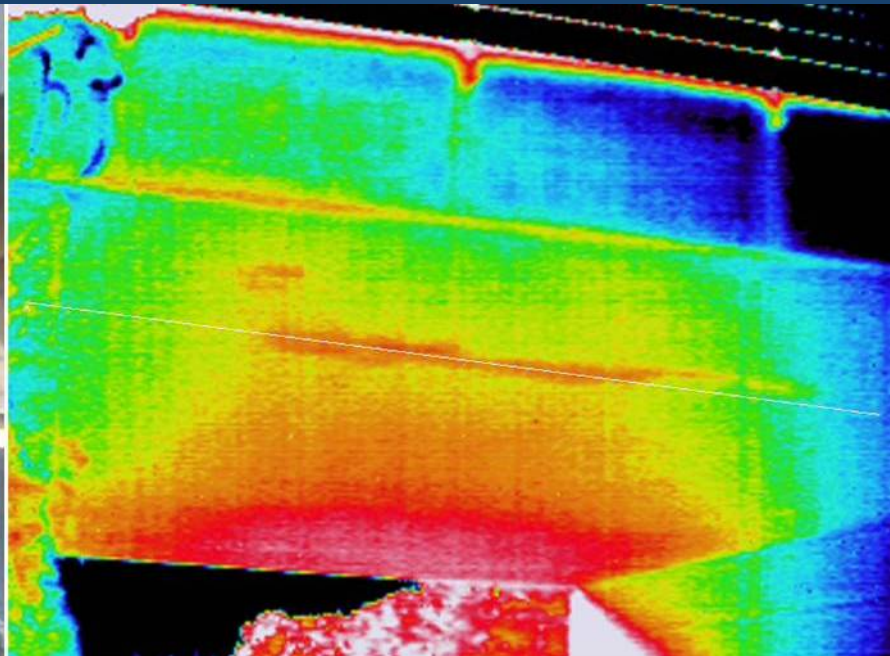
# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Problemstilling

### Årsager:

- Korrosion
- Lokale områder med stenreder og inhomogeniteter
- Alkalikisel-reaktioner
- Frostskafer i brodæk



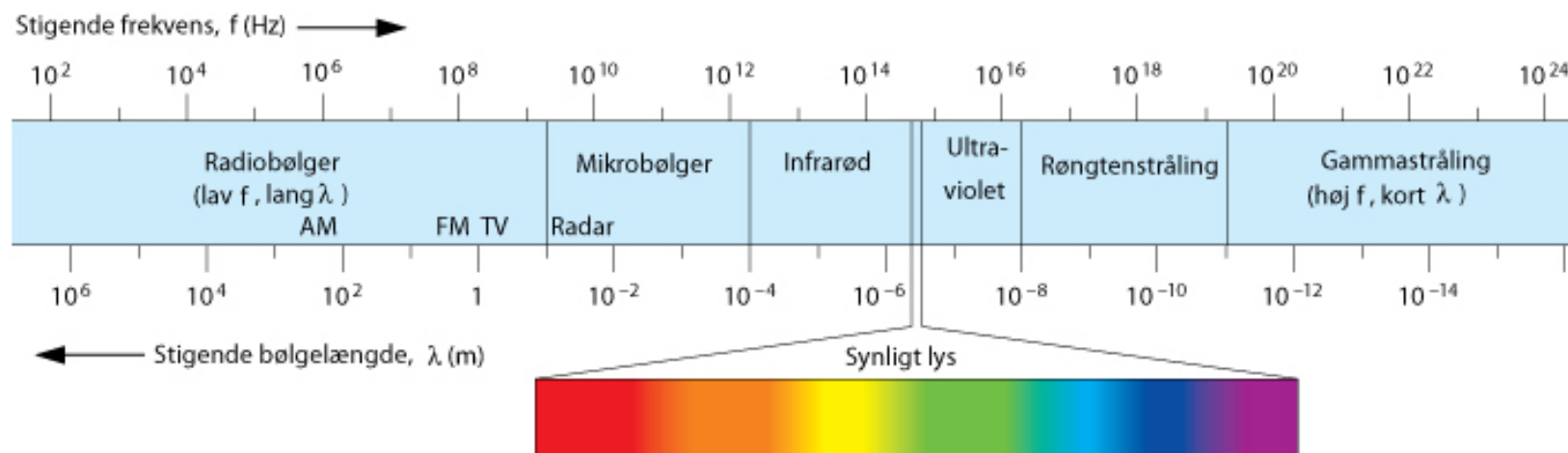


**Hvad er termografi?**

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Hvad er termografi?

- Metode til bestemmelse af et legemes udstråling af varme/infrarød energi.
- Infrarød stråling er af samme art som synligt lys, men med længere bølgelængde og derfor usynligt for det menneskelige øje.

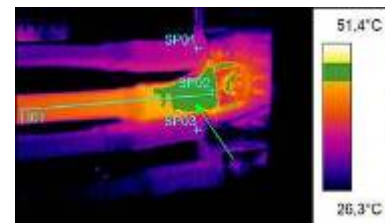
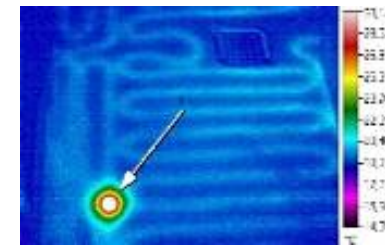


# Lokalisering af løse dæklag på brundersider med termografi

## Hvad er termografi?

### Kendte anvendelsesmuligheder:

- Lækagesporing, fjernvarme, stikledninger, centralvarme, kloak og afløb, varmt brugsvand, ventilations kanaler og grundvandsstrømninger.
- Kuldebroer i konstruktioner, dårlig eller variable isolering, skunk og hulmure, skjulte rør, utætte vinduer og døre.
- El-tavler og installationer generelt – løse samlemuffer og klemmer, dårlige kontaktflader, overbelastede komponenter samt brud på gulvvarmekabler.
- Medicinske undersøgelser – ødelagte nervebaner og betændelser



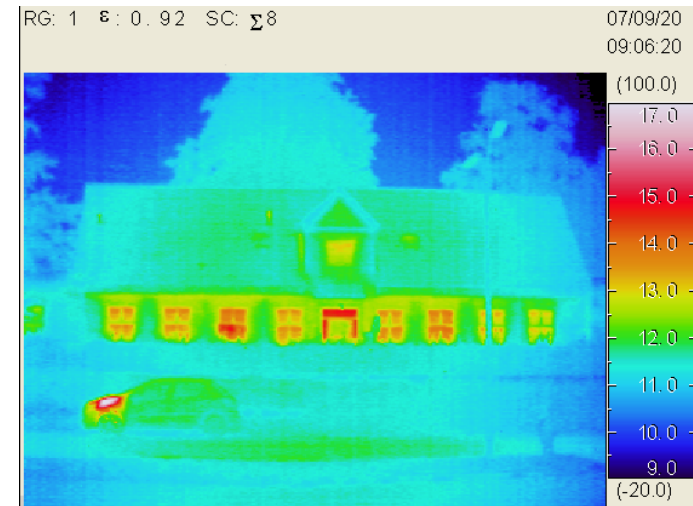


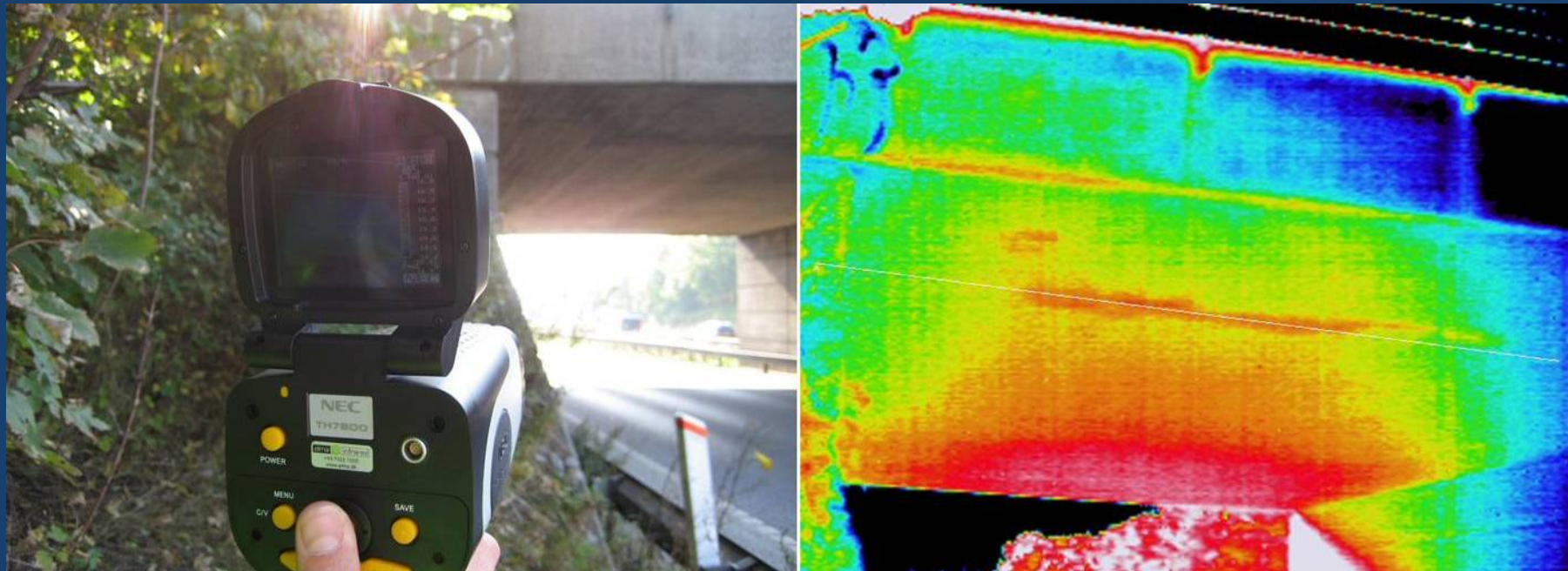
# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Hvad er termografi?

### Måleprincip:

- Punktvis måling af temperaturer på en overflade med  $0,1^{\circ}\text{C}$  nøjagtighed
- Arbejdstemperaturer fra  $\div 20$  til  $250^{\circ}\text{C}$
- Simultan optagelse af termogram og digitalt foto





## Udviklingsprojekt 2006/07 – Udvælgelse af metode

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006/07 - Udvælgelse af metode

### Formål:

"...at identificere og evaluere pålidelige og effektive metoder til lokalisering af områder med risiko for nedfald af løstsiddende dæklag på betonkonstruktioner"

### Hvad ville være optimalt?

- at reducere tidsforbruget til undersøgelserne
- at reducere behov for trafikafspærringer (enten i varighed eller omfang)
- at reducere behov for særlige adgangsforhold (stillads/lift)
- at opnår større nøjagtighed i præcision i detekteringen af de skadede områder

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006/07 - Udvalgelse af metode

Undersøgelsesmetoder (**anvendelige er fremhævet med fed**):

- **Visuel gennemgang (ved synlige revner)**
- **Banketest med lægtehammer**
- **Minibanketest med stetoskop**
- **s'MASH målinger**
- **Schmidt hammer**
- Covermeter
- UPE (Ultra Pulse Echo)
- **SASW (Spectral Analysis of Surface Waves)**
- Georadar
- **Termografi**
- Aftræksforsøg

# Lokalisering af løse dæklag på brundersider med termografi

## Projekt 2006/07 - Udvælgelse af metode

Følgende kriterier er brugt til vurdering af undersøgelsesmetoder:

- **Pålidelighed:** Metodens "evne" til at finde løse dæklag.
- **Udbredelse:** Metodens brugbarhed til at vurdere udstrækningen af skader.
- **Skadesgrad:** Metodens brugbarhed til at vurdere skadesgrad.
- **Dokumentation:** Metodens afhængighed af testpersonen og faktorer såsom vejrlig
- **Omkostninger:** Metodens hastighed (m<sup>2</sup>/time) og pris.

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006/07 - Udvælgelse af metode



### Traditionel hammertest

Fordele	Ulemper
Alle større skader kan findes.	Små skader overses ofte. Ikke 100% dækkende.
Det er muligt at finde den præcise udbredelse .	Meget tidskrævende.
Entreprenører kan udføre test og behugning i forlængelse af undersøgelserne.	Ingen automatisk dataopsamling og forholdsvis personafhængig.
Kan udføres året rundt.	Kræver både afspærringer og lifte.

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006/07 - Udvælgelse af metode



### Schmidt-hammer

Fordele	Ulemper
Alle større skader kan findes.	Små skader overses ofte.
Kan udføres året rundt.	Svært at finde den præcise udbredelse, da der skal flere målinger til i hvert målepunkt.
	Kun store forskelle i hulhed kan detekteres
	Kræver både afspærringer og lifte.

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

Projekt 2006/07 - Udvalgelse af metode



## SASW (Spectral Analysis of Surface Waves)

Fordele	Ulemper
Alle større skader kan findes.	Små skader overses ofte.
Automatisk dataopsamling og målingerne er personuafhængige.	I praksis er det svært at finde den præcise udbredelse.
Kan udføres året rundt.	Kun store forskelle i hulhed kan detekteres
	Kræver både afspærringer og lifte.
	Kun specialister kan udføre målingerne.
	Tidskrævende



# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006/07 - Udvalgelse af metode

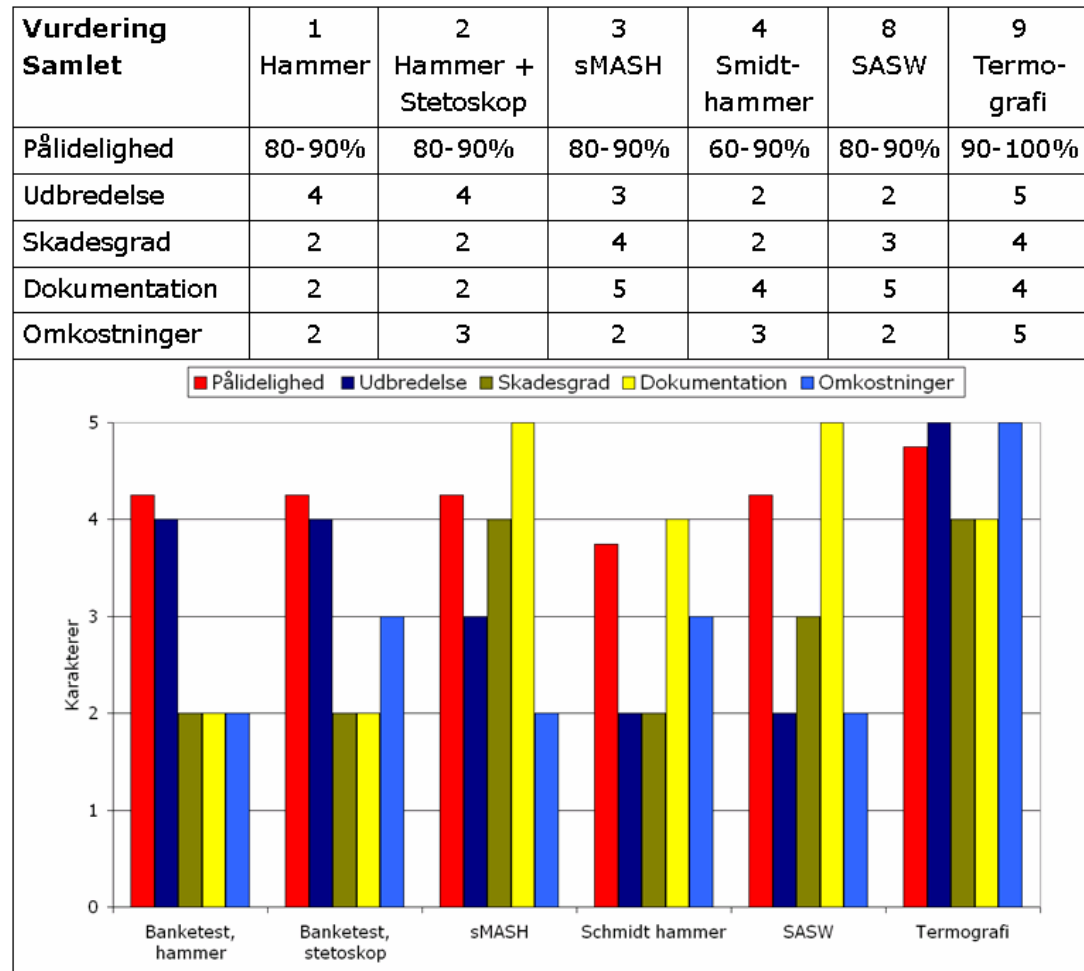


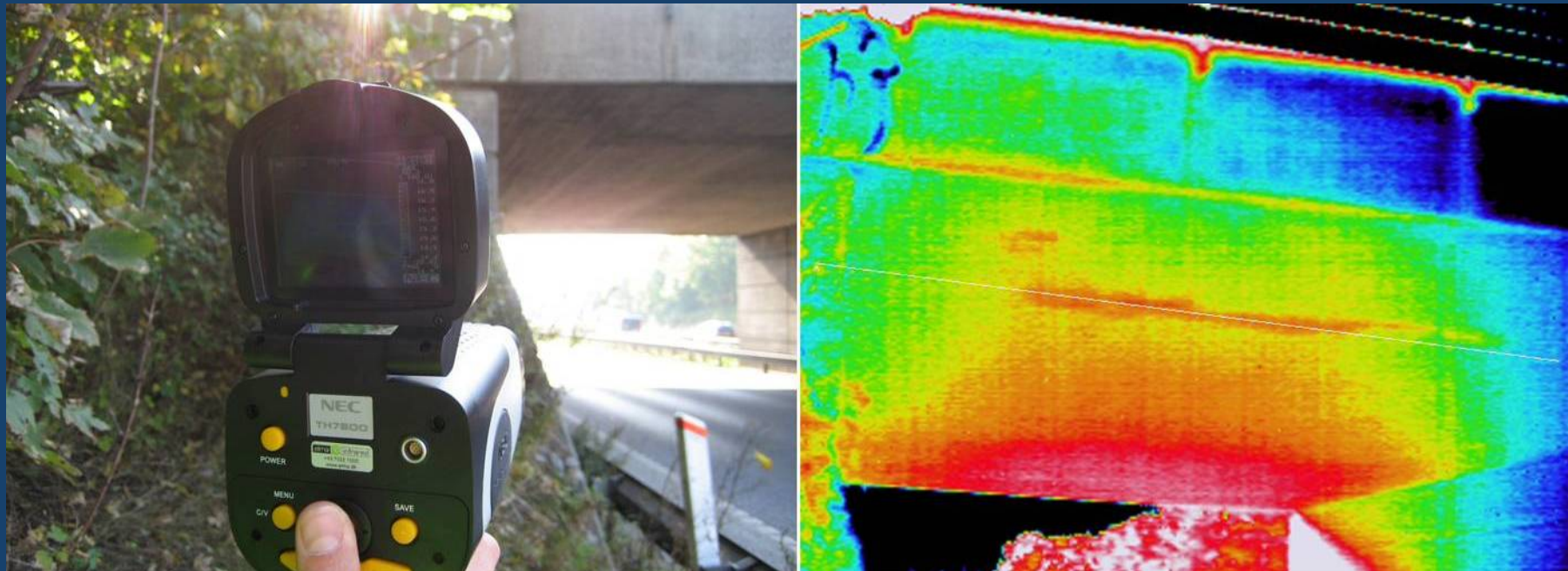
### s'MASH, "computeriseret hammertest"

Fordele	Ulemper
Alle større skader kan findes.	Små skader overses ofte. Ofte måles i net på min. 0,5 x 0,5 m.
Det er muligt at finde den præcise udbredelse. (Tidskrævende)	Opløsningen hvormed udbredelsen bestemmes afhænger af det valgte målenet.
Skadesgraden kan til dels vurderes. Kan finde andre skader som eks. stenreder.	Kræver både afspærringer og lifte.
Automatisk dataopsamling og målingerne er personuafhængige.	Kun specialister kan udføre målingerne.
Kan udføres året rundt.	Tidskrævende

# Lokalisering af løse dæklag på brundersider med termografi

## Projekt 2006/07 - Udvalgelse af metode





## Udviklingsprojekt 2006/07 – Termografi-undersøgelser

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

### Delamineringer i brodæk:

- Hvor pålidelig er metoden generelt – og i hvilket omfang skal den kalibreres fra gang til gang?
- I hvilket omfang kan skadesgrader detekteres?
- Hvilke begrænsninger har metoden (geometri, årstid, temperaturvariationer, afstand og vinkel til undersøgelsesområder)?
- Hvad er perspektiverne for brug af termografi udstyret i den daglige broforvaltning – herunder som standardudstyr i forbindelse med f.eks. udførelsen af generaleftersyn samt til større screeningsopgaver?

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

Markarbejdet i forbindelse med dette termografi-projekt er udført i to etaper:

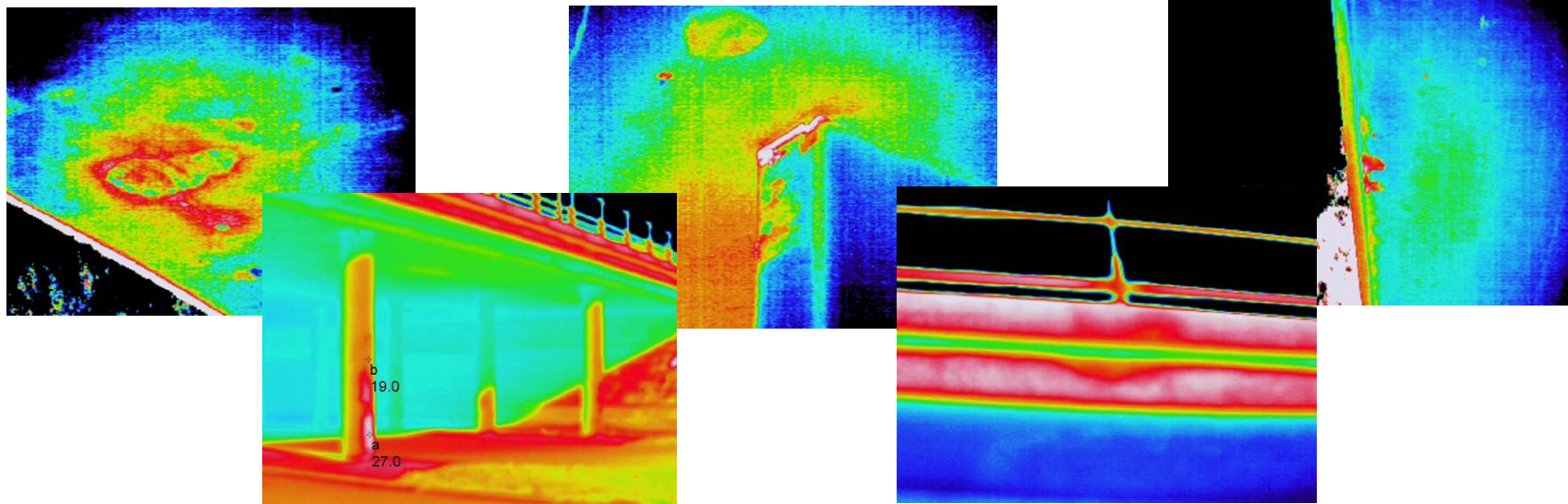
- 1. Indledende undersøgelser:**
  - "Screening" af undersiden på 11 broer.



# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

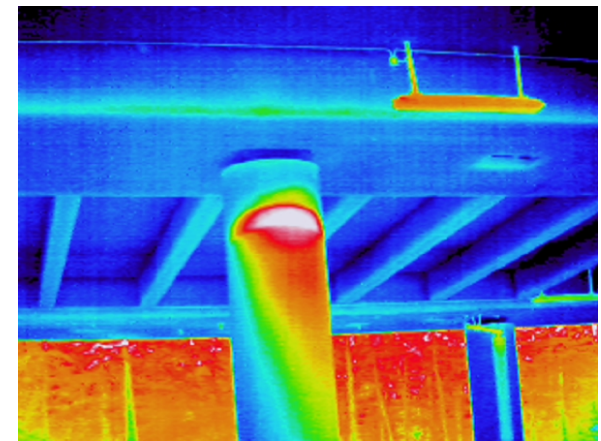
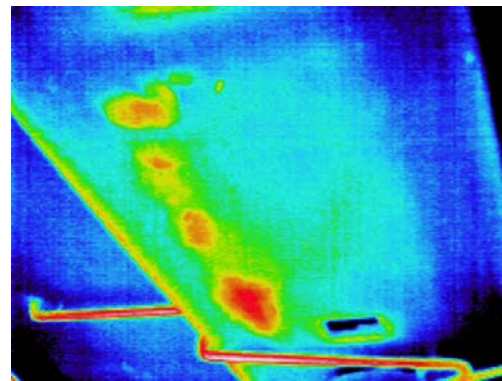
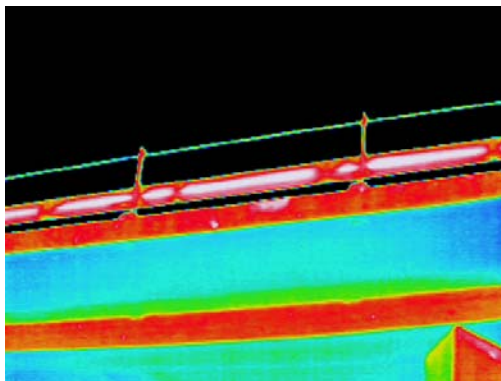
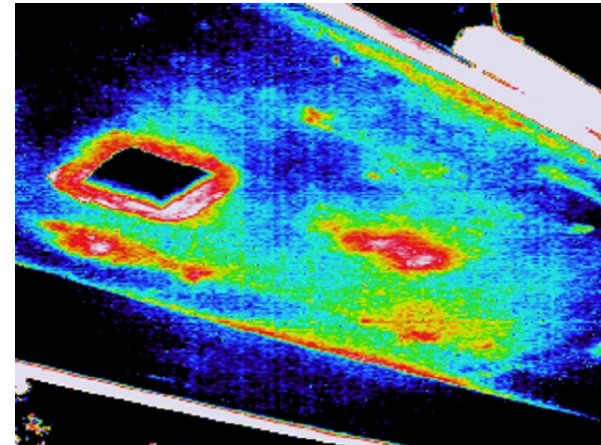
- Udvælgelse af 11 broer med varierende skadesgrad fundet ved tidligere forsøg med hammertest og seneste eftersyn
- Termografi-screening af undersider og kantbjælker
- Udvælgelse af broer til detailundersøgelser.



# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

### 2. Detail-undersøgelser:



# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

### Detail-undersøgelser:

Formål	Punkt	Undersøgt parameter
"Best practice"	1	Optimalt tidspunkt på optimal dag (stor temperaturgradient, skyfrit). Klokkelæt/årstid/vejrlig.
	2	Geometrisk afhængighed (vinkel, afstand).
Præcision	3	Pålidelighed, hvor løse/faste/små områder kan lokaliseres? Kalibrering ved ophug.
	4	Randeffekter, kantbjælker/hjørner m.m.
	5	Sammenligning med hammertest: Evne til at finde og kvantificere områder med løst dæklag

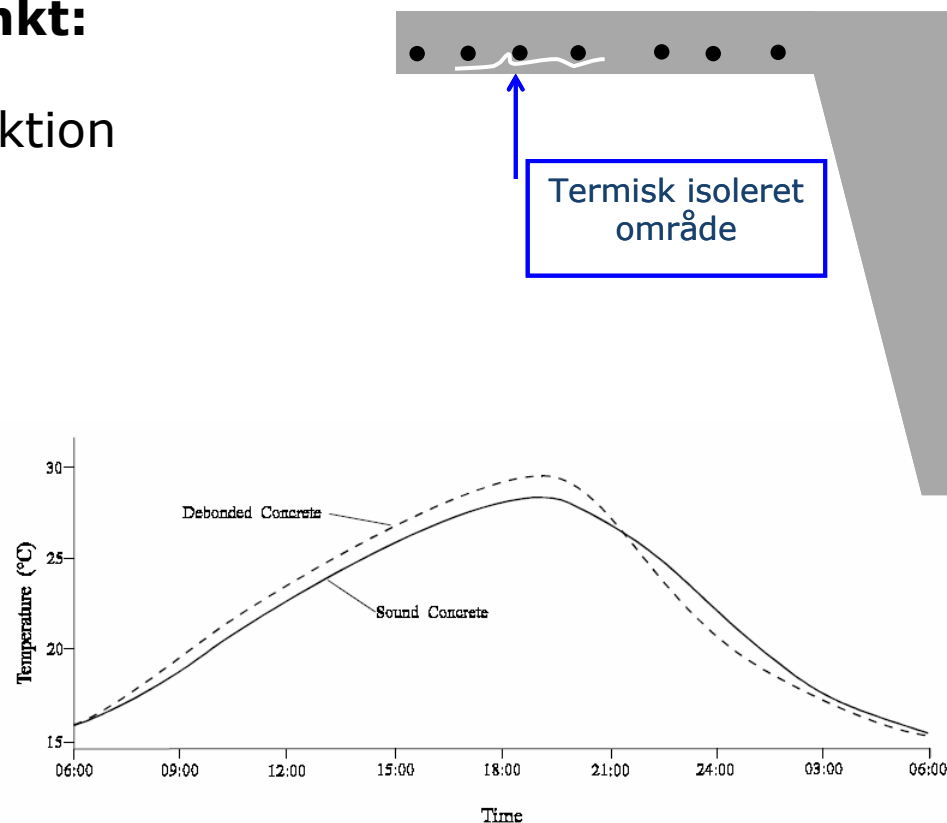


# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

### Optimalt undersøgelsestidspunkt:

- Temperaturen i en betonkonstruktion varierer i løbet af døgnet
- Delamineringer påvirker varmeledningsevnen
- Skadede områder har anden temperaturgradient
- Præcis afgrænsning af defekter

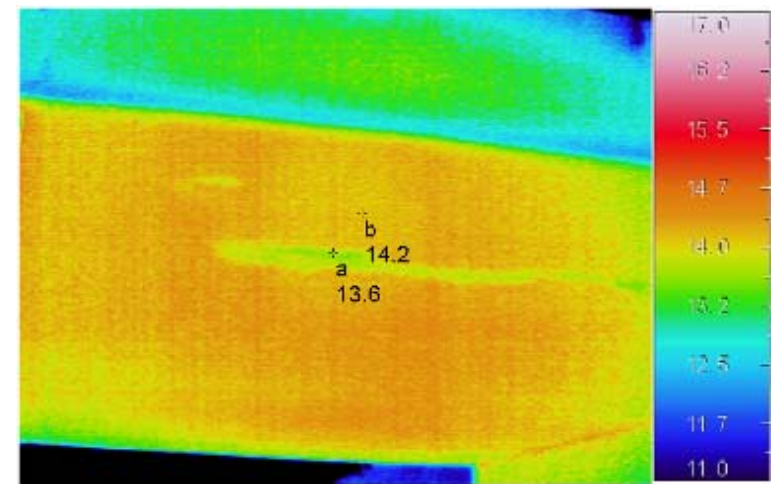
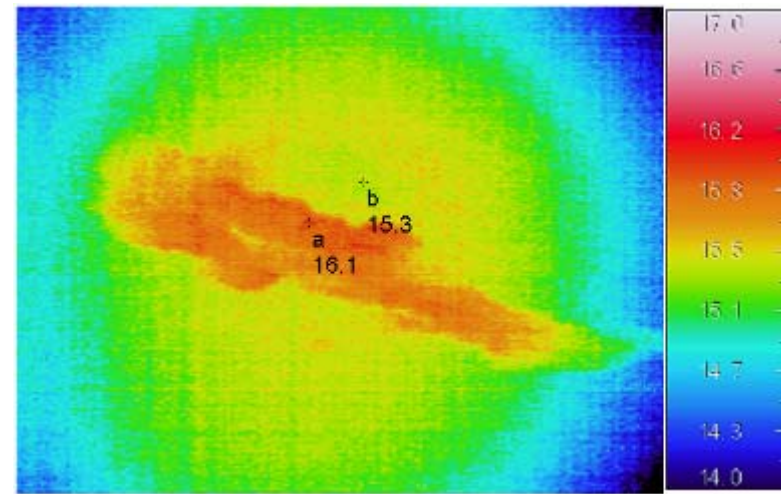


# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

### Case 1 – Optimalt undersøgelsestidspunkt

- Dag 1: Skyfrit og solskin
- Dag 2: Køligt og overskyet
- Temperaturgradienter i konstruktionen mellem de to dage:
- Broplade:  $\Delta T = 1,1 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Delaminering:  $\Delta T = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

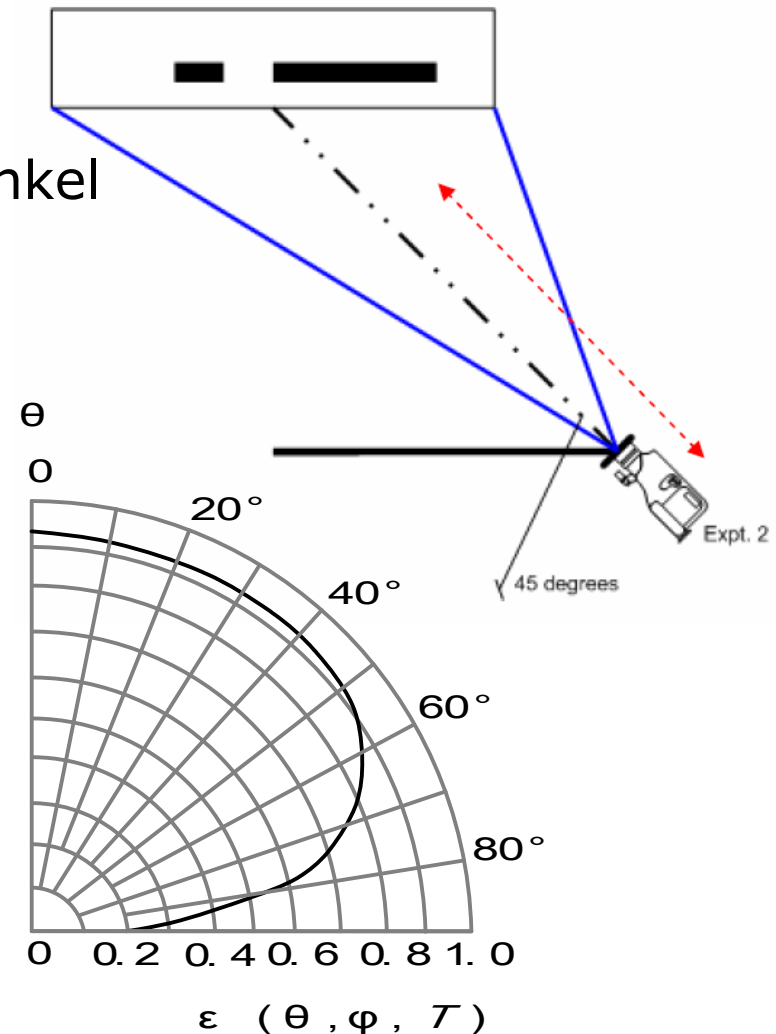
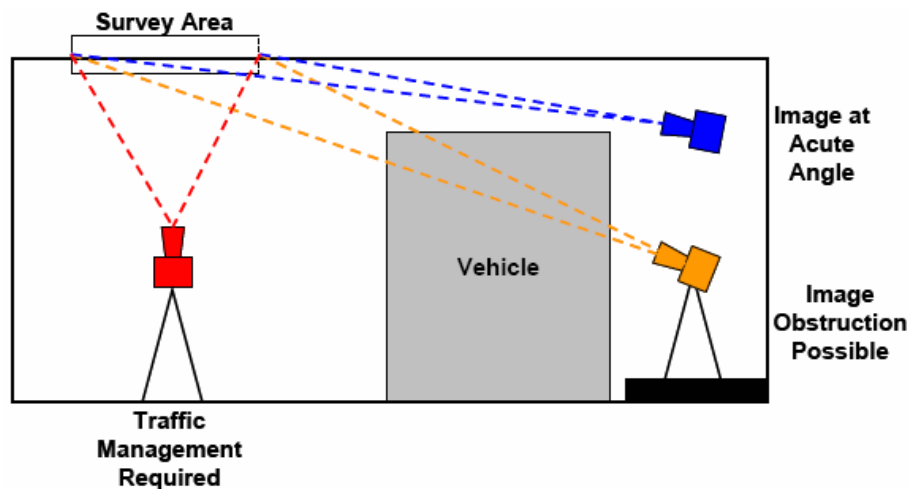


# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

### Geometrisk afhængighed

- Emissionskoefficient afhænger af vinkel
- Absolutte og relative målinger

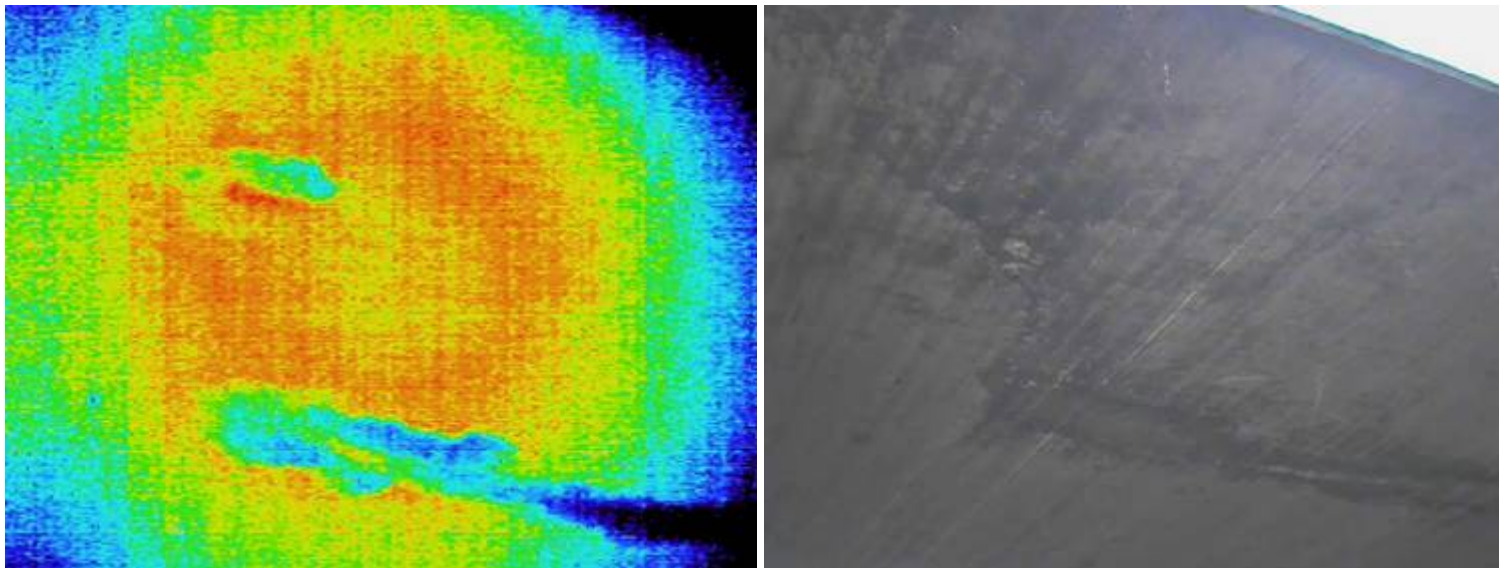


# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

### Case 2 – Geometrisk afhængighed

- Ca. 5 m til delaminering på US broplade
- Højde fra instrument til broplade ca. 2,5 m
- Vinkel på sigtelinje er ca. 45° i forhold til bropladen.

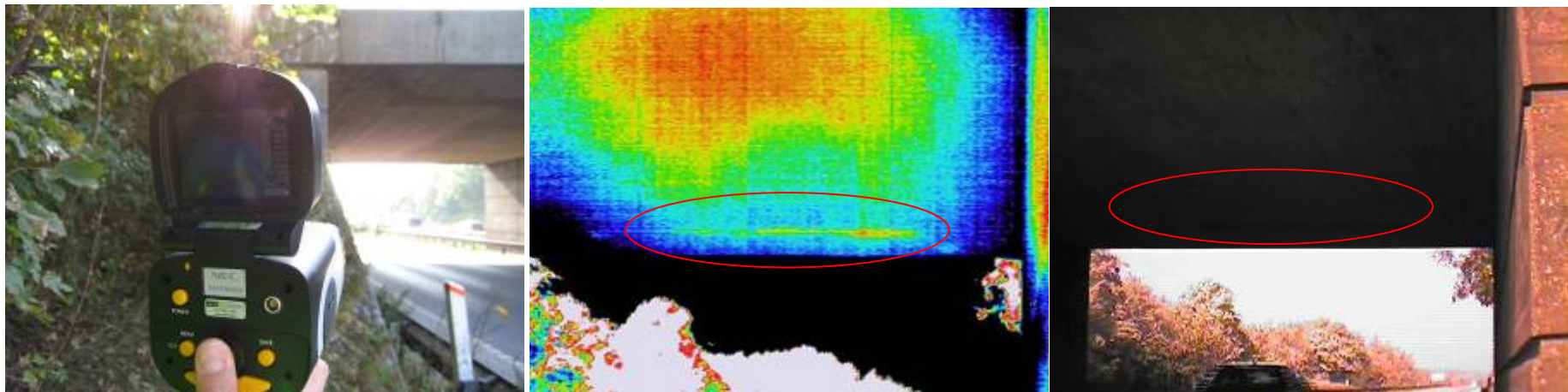


# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

### Case 2 – Geometrisk afhængighed

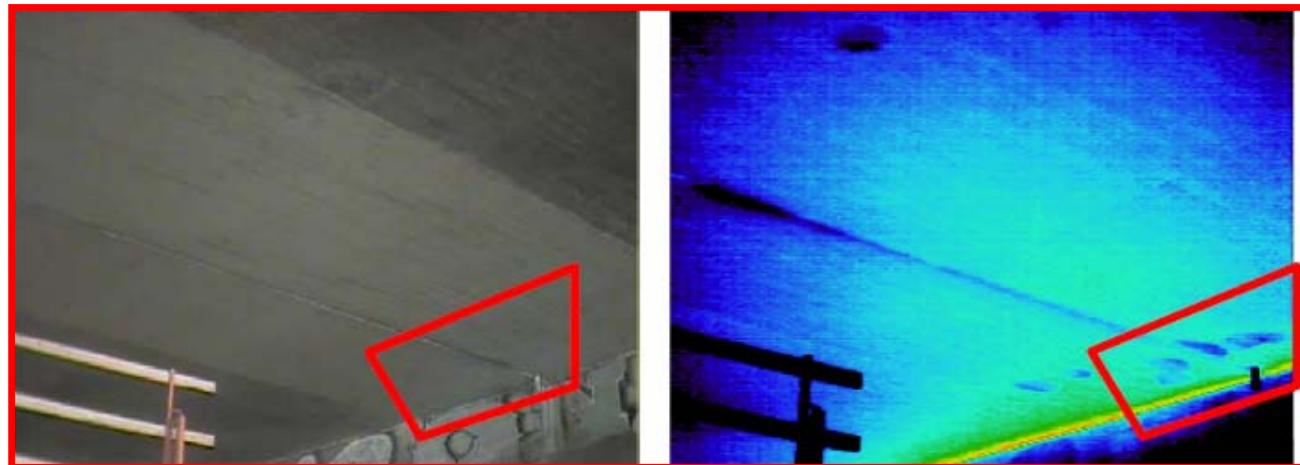
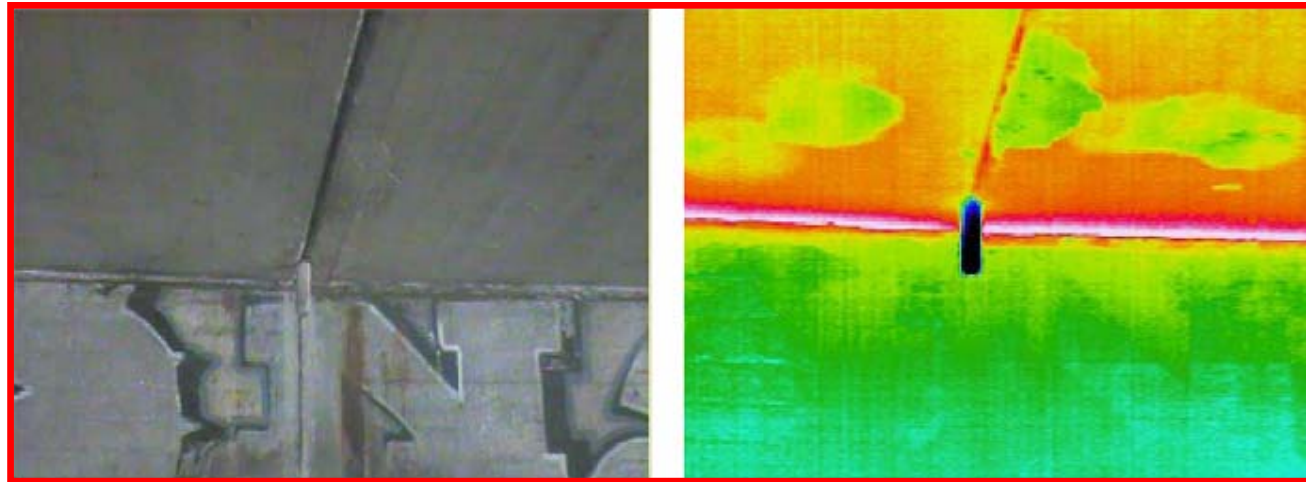
- Ca. 20 m til samme delaminering på US broplade
- Højde fra instrument til broplade ca. 2,5 m
- Vinkel på sigtelinje er 10-15° i forhold til bropladen.



# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

## Case 3 – Geometrisk afhængighed

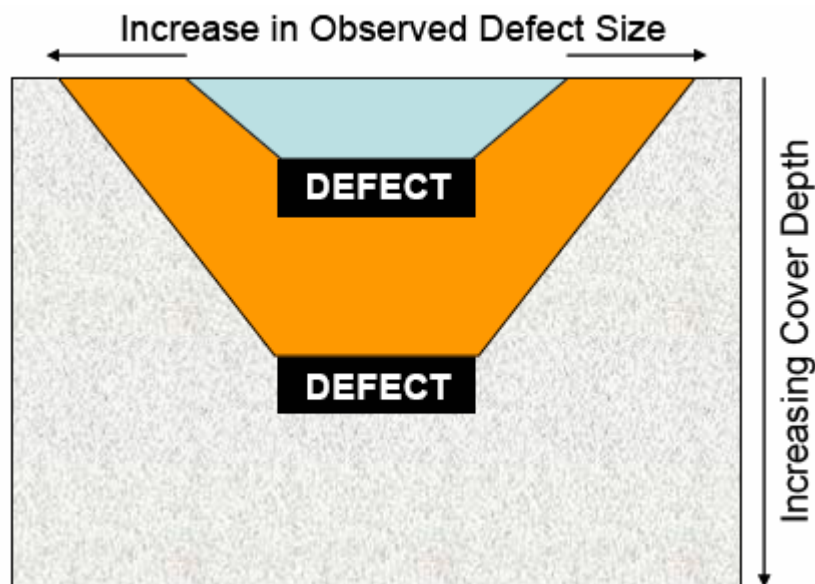


# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

### Pålidelighed

- Hvor løse/faste/små områder der kan lokaliseres er undersøgt nøjere på én bro, hvor der er lavet kalibreringer ved ophugninger i de undersøgte områder



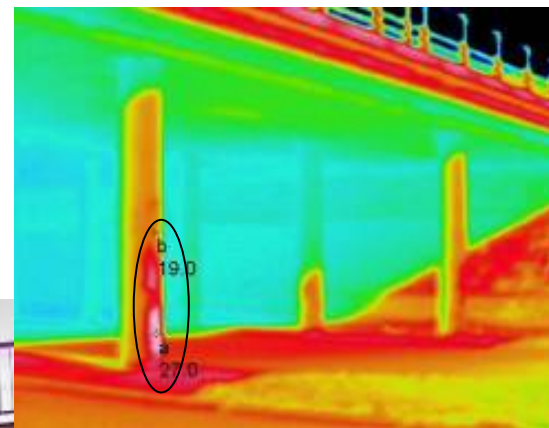
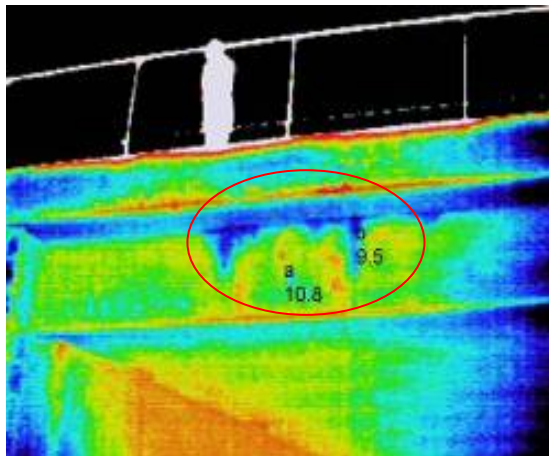
# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

### Case 4 – Pålidelighed

- Er der gennemsvivninger, graffiti, udfældninger eller uønsket begroning giver dette et forstyrrende billede og kan for den uerfarne bruger tolkes som delamineringer.
- Emissionskoefficienten ændres lokalt!

Material	Emissivity
Steel	
Buffed	.16
Oxidized	.80
Concrete	.92
Graphite	.98
Wood	.95
Window Glass	.94



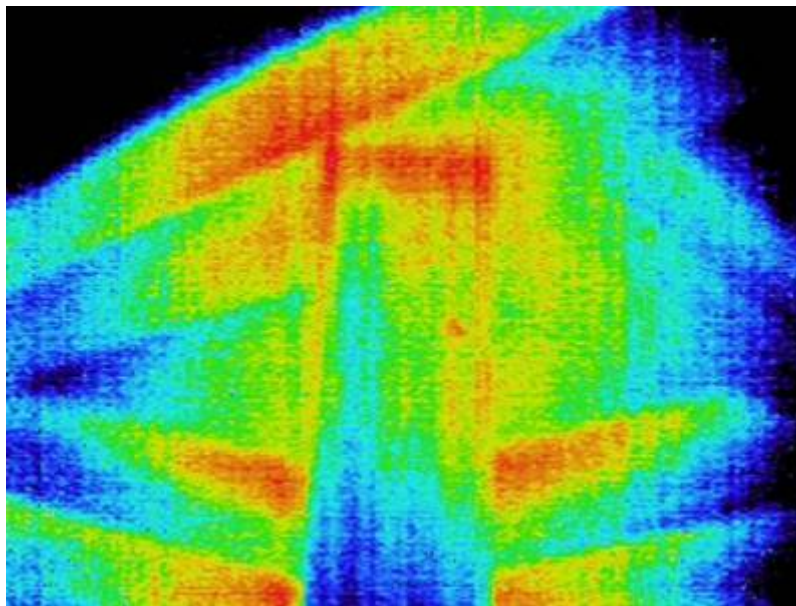


# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

### Randeffekter

- På broer af typen "bjælkepladekonstruktion", vil der være randeffekter omkring bjælkerne.
- Ved disse konstruktioner er det svært at lokalisere mindre delamineringer i hver pladedel på undersiden

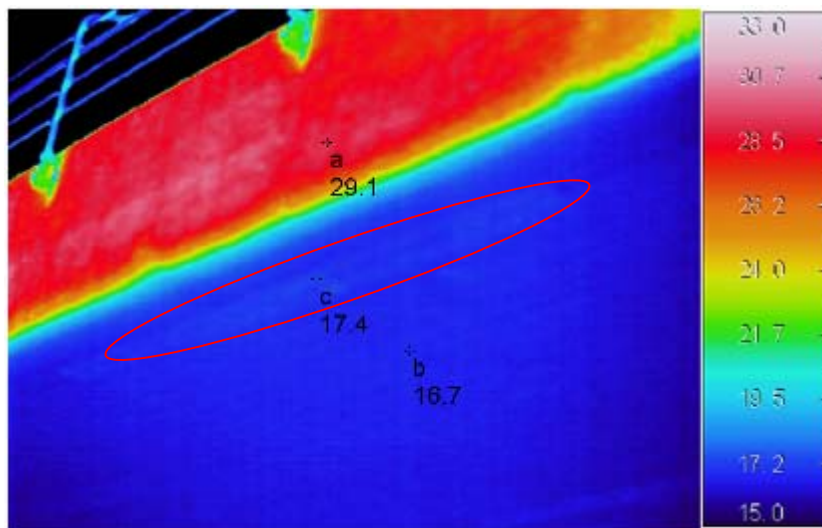


# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

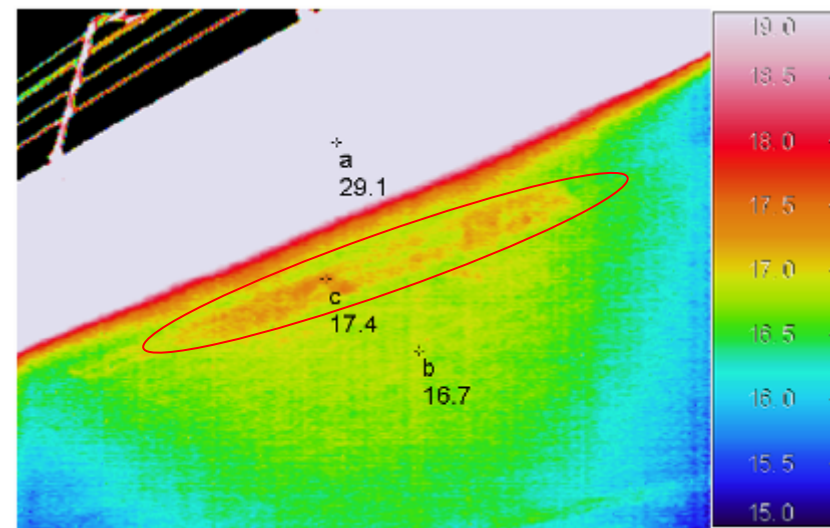
## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

### Case 5 – Randeffekter

- Eksempler på randeffekter omkring kantbjælke/ US broplade og mulige fejlkilder.



Temperaturskala er justeret efter temperaturer på hele bropladen (15-33°C). Reparation er IKKE synlig.



Temperaturskala er justeret efter temperaturer på undersiden af bropladen (15-19°C). Reparation er synlig.

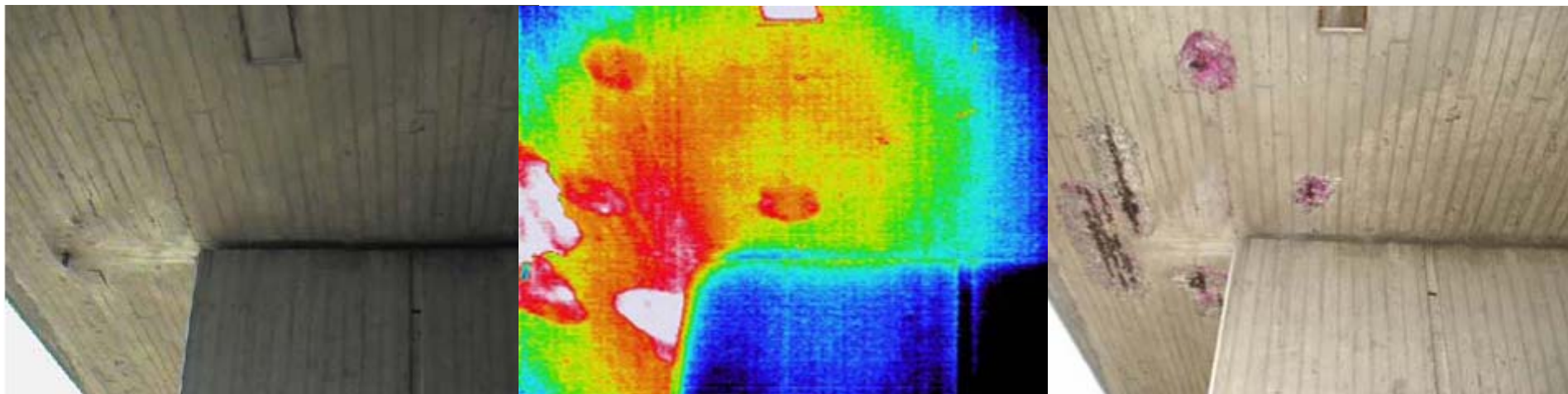
- For den erfarne bruger af et termokamera kan randeffekter til en vis grad elimineres

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

### Case 6 – Sammenligning med traditionel hammertest

- Kalibrering af termograf-undersøgelser ved ophugninger



Visuel registrering

Termogram

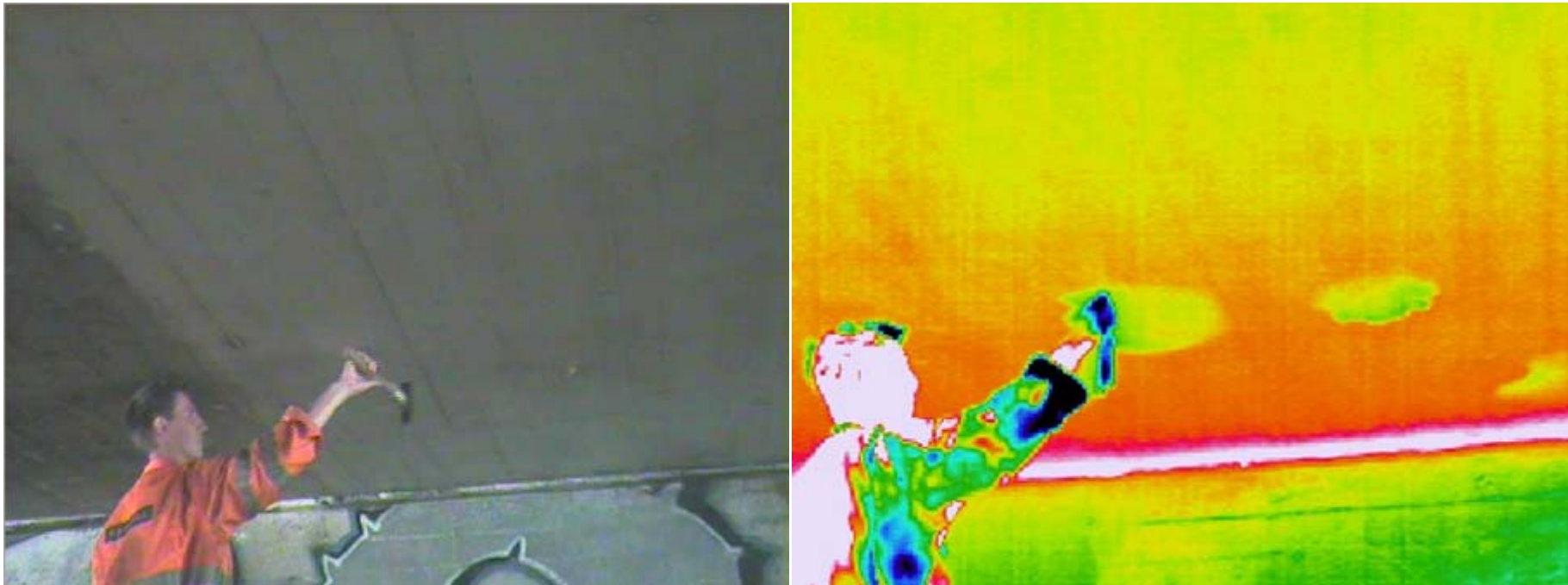
Behugning

- **100% overensstemmelse** mellem termogram og behugning!!

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

Projekt 2006-07 – Termografi-undersøgelser

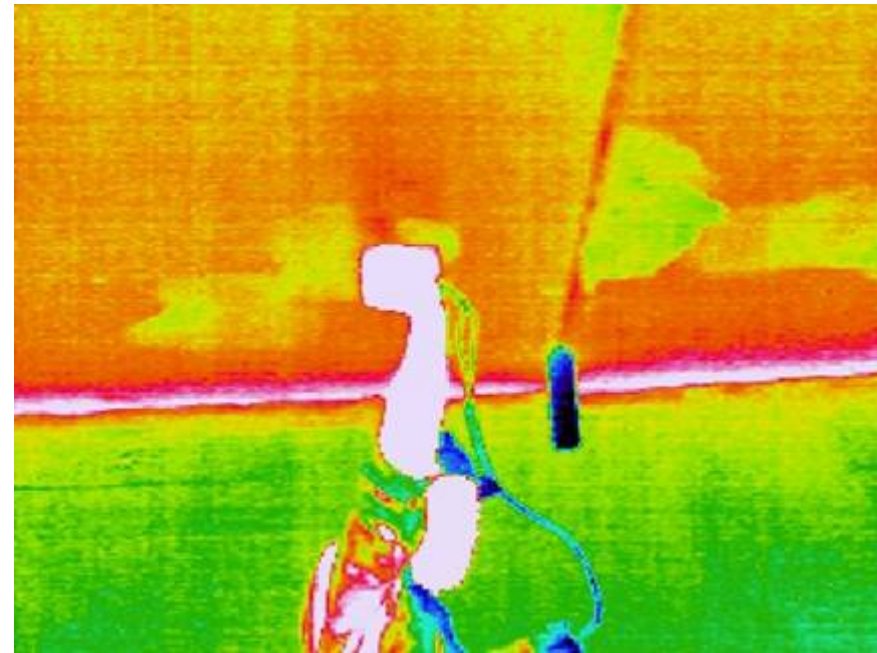
## Case 7 – Sammenligning med traditionel hammertest



- **Delamineringer:  $\Delta T = 0,6^{\circ}\text{C}$**
- **Skarp afgrænsning i forhold til udført banketest**

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi Case 2

## Case 8 – Sammenligning med traditionel hammertest

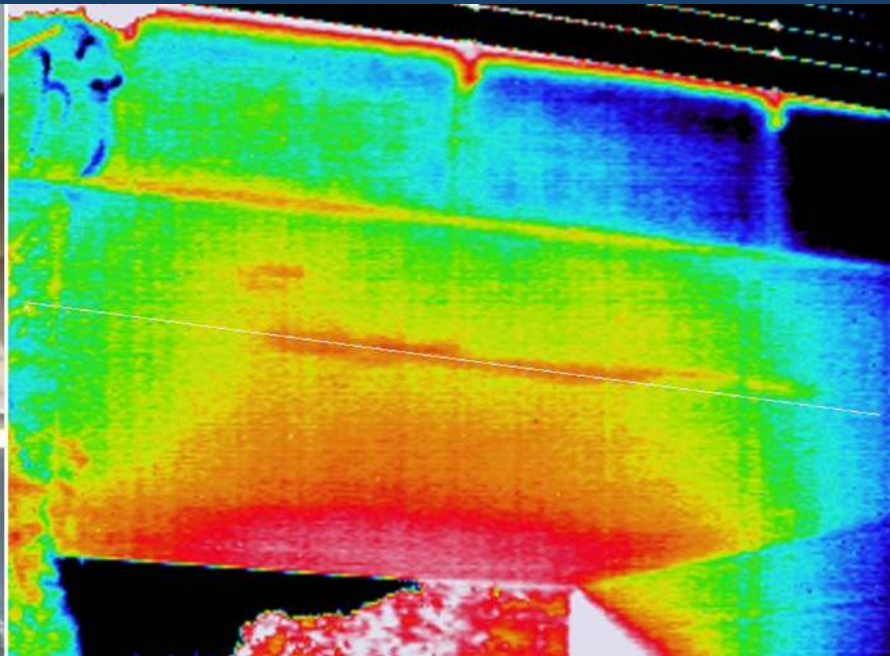


➤ **Delamineringer:  $\Delta T = 0,6^{\circ}\text{C}$**

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Fordele og ulemper ved termografi - *Opsummering*

<b>Fordele</b>	<b>Ulemper</b>
100 % dækkende fladeundersøgelse!	Kan primært bruges i sommerhalvåret (uden aktiv opvarmning)
Automatisk dataopsamling med dokumentation for omfang og placering.	Fejlmålinger ved overflader med udfældninger, graffiti, begroning, fugtig beton m.m.
Kræver ingen trafikafspærring!	Følsomt over for vejrliget.
Betydeligt lavere omkostninger end ved konventionelle undersøgelser.	Der skal tages højde for randeffekter for at få korrekt kalibrering af instrumentet.
Budgettering af reparationer kan gøres meget mere præcist.	Der kræves lidt planlægning og observation af vejret forud for målingerne.
Udstyret er relativt let at anvende og kræver kun lidt oplæring.	



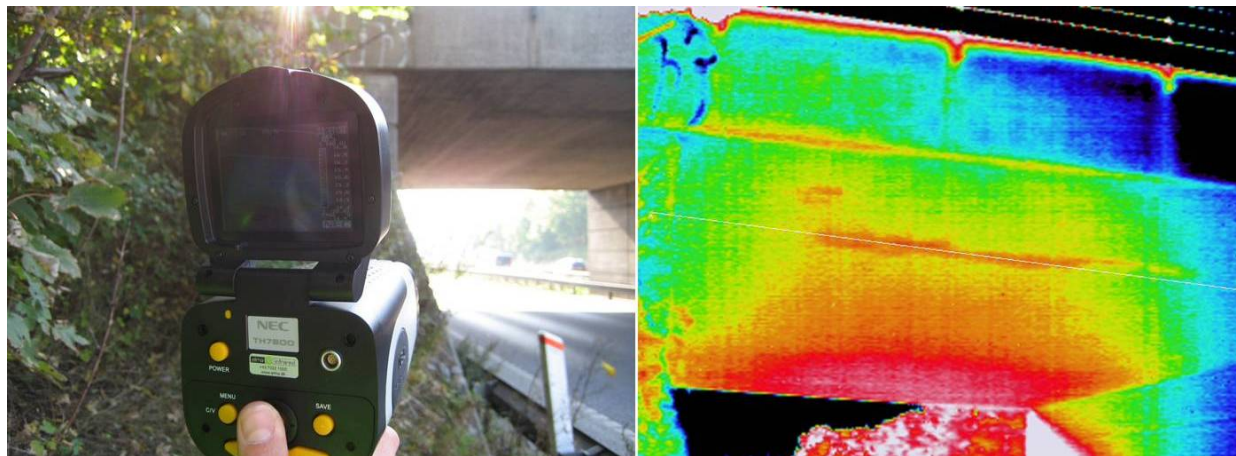
**Konklusion**

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

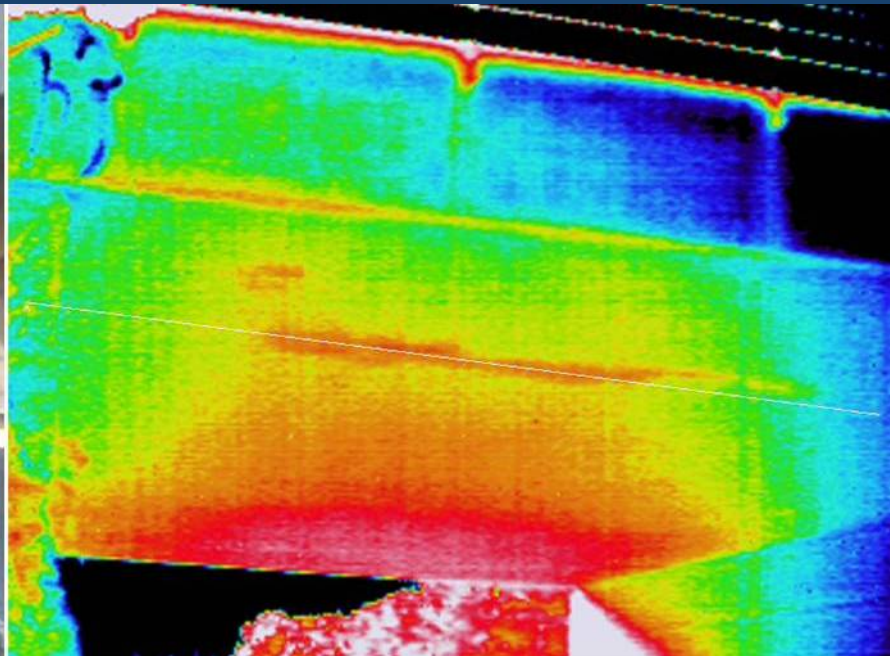
## Konklusion

Lokalisering af løse dæklag med termografi har vist, at metoden:

- Er mere pålidelig og præcis end øvrige kendte metoder.
- Kan udføres uden trafikafspærringer eller brug af lift.
- Er samlet billigere end øvrige kendte undersøgelsesmetoder.
- Identificerer delamineringer med stor præcision.







**Fremtidsperspektiver**

# Lokalisering af løse dæklag på broundersider med termografi

## Implementering i den fremtidige, daglige broforvaltning

- Kan blive et supplement til den visuelle gennemgang ved generaleftersyn.
- Kan principielt medbringes ved alle besigtigelser.
- Præcisering og efterfølgende kontrol via sikkerheds-behugninger.
- Mulighed for screening af alle bygværker, udnytte systematik fra andre screenings-projekter (AKR/Frost/Bæreevne).



# Tak for opmærksomheden ...



- Asger Knudsen  
Brovedligehold og Materialeteknologi  
Mail: [akn@ramboll.dk](mailto:akn@ramboll.dk)  
Tlf: +45 4598 6134