

# Bruinspeksjon med drone og infrarødt kamera

Resultater fra innledende forsøk

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 264



**Tittel**

Bruinspeksjon med drone og infrarødt kamera

**Undertittel**

Resultater fra innledende forsøk

**Forfatter**

Tomas Moss og Gonzalo Figueroa

**Avdeling**

Vegavdelingen

**Seksjon**

Tunnel, geologi og betong

**Prosjektnummer**

604875

**Rapportnummer**

Nr. 264

**Prosjektleder**

Hedda Vikan

**Godkjent av**

Claus K. Larsen

**Emneord**

Bruinspeksjon, drone, infrarødt kamera, betong, riss, delaminering

**Sammendrag**

Denne rapporten beskriver resultater fra et forsøk som undersøker hvor godt et dronemon-tert infrarødt kamera kan dokumentere riss og delamineringer på en betongbru.

**Title**

Bridge inspection using drone and infrared camera

**Subtitle**

Results from trials on a concrete bridge

**Author**

Tomas Moss and Gonzalo Figueroa

**Department**

Roads Department

**Section**

Tunnels, Geology and Concrete

**Project number**

604875

**Report number**

No. 264

**Project manager**

Hedda Vikan

**Approved by**

Claus K. Larsen

**Key words**

Bridge inspection, drone, infrared camera, concrete, cracks, delamination

**Summary**

This report summarizes results of a test investigating how well a drone mounted infrared camera detects cracks and delamination on a concrete bridge.



# Forord

---

*Av Hedda Vikan*

*Programleder for Bedre bruvedlikehold (2017–2021)*

Denne rapporten er utarbeidet av FoU-programmet Bedre bruvedlikehold (2017–2021). Bedre bruvedlikehold skal gjennom ny kunnskap bidra til at Statens vegvesen kan optimalisere ressursbruken knyttet til inspeksjon, vedlikehold og forvaltning av bruer.

FoU-programmet består av fire prosjekter:

Prosjekt 1: Forvaltningsverktøy for bruer

Prosjekt 2: Armeringskorrosjon i betong

Prosjekt 3: Alkalireaksjoner i betong

Prosjekt 4: Vedlikehold av stålbruer

Bruer har tradisjonelt blitt inspisert visuelt fra bakkenivå, ved bruk av stige, ulike typer brulifter, stillas, båt eller ved hjelp av taubasert utstyr. I de senere år har interessen for bruk av drone til bruinspeksjon økt. Region Øst har per skrivende stund mest erfaring med bruk av drone til bruinspeksjon i Norge. Statens vegvesen rapport nr. 224 «Bruinspeksjon med drone» sammenstiller Region Østs erfaringer og beskriver forutsetninger for å oppnå gode resultater.

Teknologien som beskrives i rapport nr. 224 er under utvikling. I fremtiden vil det kanskje være vanlig med flere typer tilkoblet utstyr i tillegg til foto og video. Denne rapporten beskriver resultater fra et forsøk som undersøker hvor godt et dronemontert infrarødt kamera kan dokumentere riss og delamineringer på en betongbru.

## Rapport infrarød bruinspeksjon

		Borre, 06.08.2019	
<b>Introduksjon:</b>			
<p>Å finne sprekker, delamineringer og andre skader på bruer er viktige elementer i dagens inspeksjoner. Bruk av drone-montert teknologi for å finne disse skadene har vist seg å være svært effektivt, men med vanlige elektro-optiske sensorer ser man bare hva som befinner seg på overflaten, altså det samme man ser med det blotte øye. Dersom man kunne oppdage disse skadene før de var synlige på overflaten, ville det vært av stor verdi i inspeksjons- og driftssammenheng.</p> <p>Dette prosjektet ble derfor gjennomført for å se om IR-kameraer ville kunne bidra til dette arbeidet. Dersom det viste seg å være en effektiv metode, ville det vært et forholdsvis enkelt redskap i denne sammenhengen, sammenlignet med f.eks GPR (ground penetrating radar eller «bakkeradar») og eller UE (ultrasound echo/ultralydekkko), da de sistnevnte fysisk må berøre overflaten som skal undersøkes, med de utfordringene det fører med seg. En av de store fordelene ved bruk av droner, er nettopp at man får enkel tilgang til inspeksjonsobjektet, uten bruk av klatrere, stillaser og kraner.</p> <p>Infrarød (termisk) teknologi måler varmestråling fra et element, som for eksempel et brudekke eller et brukar. Anomalier (feil) som delaminering under overflatene kan bli sett som «hot spots» fordi det oppstår et brudd i varmens ledningsevne gjennom betongen. Teorien er da at f.eks. sprekker/delaminering kan oppdages med fjernvisuell inspeksjon framfor tradisjonelle metoder som bl.a. har begrensinger iht kostnader, sikkerhet og hva slags informasjon de kan gi om interne feil. Bruk av infrarød droneteknologi kan gi et eventuelt økt datagrunnlag i forbindelse med bruinspeksjon og dermed bidra med mer og bedre informasjon for vedlikehold av bruer.</p> <p>Det må understrekes at denne testen av IR-teknologi ikke ser på inspeksjon av veidekke. Dette er kjent teknologi, som har vært i bruk i mange år. Innsamlingen skjer med IR-kameraer montert på bil. Datainnhenting kan skje i stor fart og gir mye data, men er bare egnet for å se på selve veibanen. Vi ønsket å se i hvor stor grad vi kan bruke IR montert på drone for å se på utsiden av brua.</p>			
<b>Oppdragsgiver:</b> Statens vegvesen, Region Øst			
<b>Dato:</b> 27.-28.06.2019	<b>Bygg:</b> Kjøkøysund bru, Fredrikstad, Østfold		
<b>Tilstede:</b> Orbiton AS			
<b>Oppdragsbeskrivelse:</b>			
<p>Ved termografering, undersøkelse med infrarøde sensorer, er det forskjell i temperatur man ser etter. Ved søk etter varmetap i bygg, ser man at varm luft kommer innenfra ut i kaldere luft utendørs. Ved søk etter fukt i kompakte tak, venter man til temperaturen går ned etter en solfylt dag, da temperaturen synker saktere i våt isolasjon enn i tørr.</p> <p>Orbiton ønsket å undersøke hvorvidt varm luft inne i konstruksjonen gjør at sprekker i bru-karet kjøles ned raskere enn betongen rundt etter at solen går ned og lufttemperaturen synker. Orbiton ville også sjekke om det motsatte var mulig å dokumentere, altså at sprekker ville varmes opp raskere når solen står opp og begynner å skinne på konstruksjonen. Dersom det ble oppdaget forskjell i oppvarming/nedkjøling i områder med kjente sprekker, var målet å undersøke om dette lot seg oppdage <i>før</i> sprekken ble synlige. Men først måtte det altså fastslås at teknologien fungerte etter hensikten i områder med kjente skader.</p>			

#### **Beskrivelse av metode:**

Flyvningen ble foretatt med Orbitons luftfartøyer, som er spesielt egnet til inspeksjonsformål. Orbiton innehar alle nødvendige tillatelser, og flyvningene ble foretatt i henhold til gjeldene forskrifter og regelverk for slik flyvning.

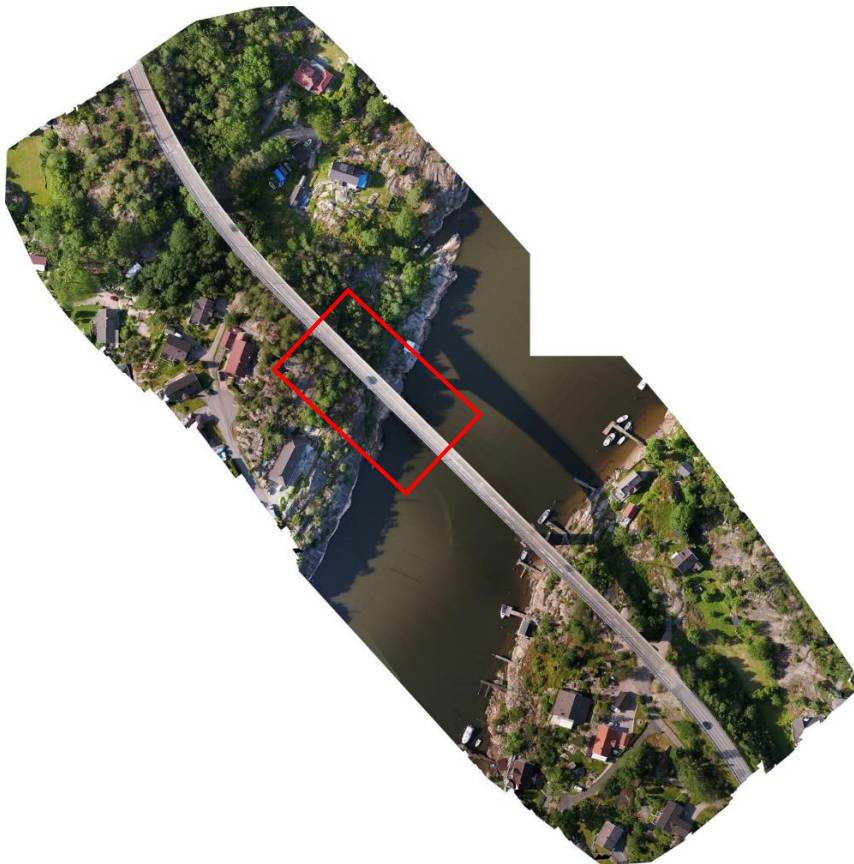
Det ble foretatt søk etter brudd i varmens ledningsevne gjennom betongen med bruk av termografi - varmesøkende kamera - tilkoblet drone. Fordi mellomrom og/eller sprekker i betongen er fylt med luft og/eller vann som har forskjellige varmestråling enn betongoverflaten rundt vises de som anomalier i et IR-bilde.

Termiske infrarøde bilder er en teknologi basert på måling av et elements temperaturstråling og konvertering av denne målingen til et visuelt bilde. Termisk infrarød stråling avgis av så å si alle elementer. Et termisk IR-kamera brukes for å samle overflatetermisk stråledata av et objekt og omgjøre det til et termisk IR-bilde. Teorien som støtter bruken av IR-teknologi i betongbruer er at anomalier/delamineringene bryter varmeoverførselen gjennom betongen og vises med en annen stråletemperatur på et IR-bilde sammenlignet med områdene rundt der betongen er sunn og hel. I løpet av dagen, når den atmosfæriske temperaturen øker, absorberer betongen varmen og stråler varmeenergi. Delamineringer og luftsprekker varmes opp raskere enn betongen rundt og vil derfor vises som «hot spots» i et IR-bilde. Etter solnedgang, idet den atmosfæriske temperaturen synker, vil områdene i betongen rundt sprekker/delamineringer kjøles ned saktere, slik at sprekker/delamineringene vises som kaldere områder i et IR-bilde.

Sensoren som ble brukt er av type FLIR Zenmuse XT. Samtidig ble det tatt bilder med en elektro-optiske sensor av typen X5S, som tok vanlige dagslys stillbilder.

#### **Oversiktsbilde:**

Nedenfor vises et ortofoto produsert av Orbiton fra droneflyvningen der inspeksjonsområde er merket i rødt. Nedenfor sees de også to oversiktsbilder av brudelen som er inspisert, hhv fra sør og fra nord.





Oversikt fra sør



Oversikt fra nord

### Gjennomføring:

Tidspunktet for innsamlingen av data er den mest kritiske faktor i en termisk IR-inspeksjon. Ikke alle materialer har den samme responsen til variasjoner i atmosfæriske temperaturforandringer. Dvs. at i løpet av en gitt tidsperiode gjennomgår forskjellige materialer forskjellige variasjoner i varmeutstråling (dvs. utgir mer eller mindre varme). Terminologien «thermal inertia» (termisk treghet) refererer til en materiales termiske respons til forandringer i f.eks. lufttemperatur, det vil si hvor lenge materialet holder på temperaturen.

Flyvningene ble gjennomført torsdag 27. og fredag 28.juni 2019. Først ble området kartlagt, og det ble – i samråd med Aas-Jakobsen - bestemt hvilken del av brua det skulle fokuseres på. Kjøkøysund bru ble i utgangspunktet valgt fordi det er en bru hvor tidligere inspeksjoner har avdekket en hel del sprekker, både overfladiske og gjennomgående. Siden Statens vegvesen allerede har etablert et testområde på akkurat denne brua, var det naturlig å ta utgangspunkt i akkurat dette området, som ligger på den nordvestlige siden av brua. Siden det også var interessant å se forskjellen mellom solbelastede områder og skyggepartier på samme

tidspunkt av døgnet, så vi også på den andre siden av det samme området, altså den vestlige siden av brua, sett fra sør.

Først ble det fløyet inn et ortokart over området, og deretter en inspeksjonsflight fra sør, på en del av brua hvor sola hadde varmet godt. Denne delen burde i henhold til teorien gi en helt jevn overflate uten noen avvik i temperatur. Deretter ble det fløyet vi en flight på baksiden av brua, i skyggen, hvor resultatet burde bli det samme.

Senere på kvelden på torsdag, etter at sola hadde gått ned og temperaturen hadde senket seg flere grader, ble det fløyet fra sør igjen. Dette burde kunne gi et positivt resultat.



På morgenen etter, da sola hadde passert og test-området lå i skyggen igjen, og ble det gjennomført en flight ca en halv time etter at sola hadde passert, og deretter en ny, tilsvarende flight etter enda en halv time.

**Konklusjoner:**

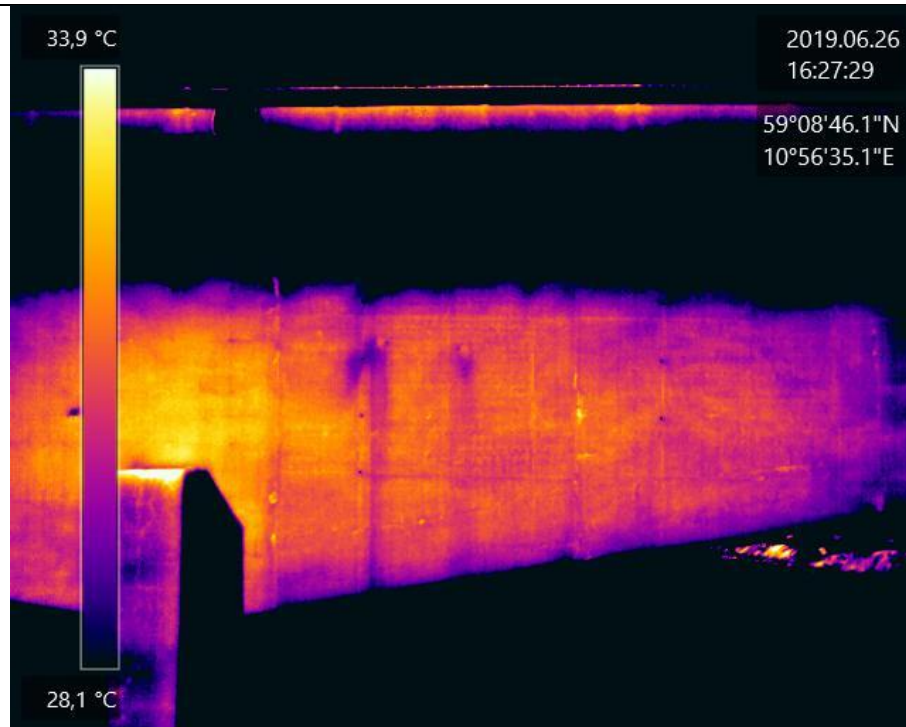
Som man kan se av bildene og kommentarene i bildevedlegget, ser vi mange av skadene i IR-bildene, men ingen av dem er mer synlige der enn på de vanlige dagslysbildene, noe som er en forutsetning for å begynne å bruke denne teknologien til inspeksjon.

Prosjektet viste også at selv om man gjør interessante funn på bruer ved hjelp av IR-kameraer, trengs det mer arbeid for å sikre at metodikken som benyttes er så effektiv som mulig. I motsetning til elektro-optisk inspeksjon, som kan utføres når som helst så lenge man har nok lys til at sensorene kan registrere god data, er man med IR-sensoren helt avhengig av eksterne elementer, hvor den viktigste er sola. En bygning som varmes opp innenfra, gir muligheter til aktivt å påvirke utstrålt temperatur, men i tilfellet med bruer og annen passiv infrastruktur, er man helt avhengig av solbelastning for å få gode resultater. Dette forholdet var vi godt kjent med fra annen type inspeksjon, men her ville vi se hvordan påvirket objektet gjennom døgnet, og hva vi kunne se under forskjellige sol- og temperaturforhold.

Disse første undersøkelsene viste at det trengs mer forskning for å sette dette arbeidet i system. Flyvningene ga blandede resultater, men en konklusjon er at selv om tidspunktet for innsamling av dataen er en avgjørende faktor, vil mange andre forhold også spille inn - og det er vanskelig å si sikkert hvilke faktorer som er viktigst. Det anbefales derfor at framtidig forskning innledningsvis baserer seg på laboratorietesting for å etablere det mest gunstige tidspunktet for datainnsamlingen, i kombinasjon med andre forhold. Innsamlet data påvirkes kraftig ikke bare av atmosfærisk temperatur men også av f.eks. solbelastning, vindhastighet og luftfuktighet. Det anbefales at forskjellige sammensetninger av disse faktorer testes under kontrollerte forhold.

<b><u>Område:</u></b>	<b><u>Observasjon/videre undersøkelser:</u></b>
Se bildevedlegg	Se bildevedlegg
For Orbiton AS: 	
Gonzalo Figueroa Termografør	Tomas Moss Daglig leder

**Bildevedlegg**



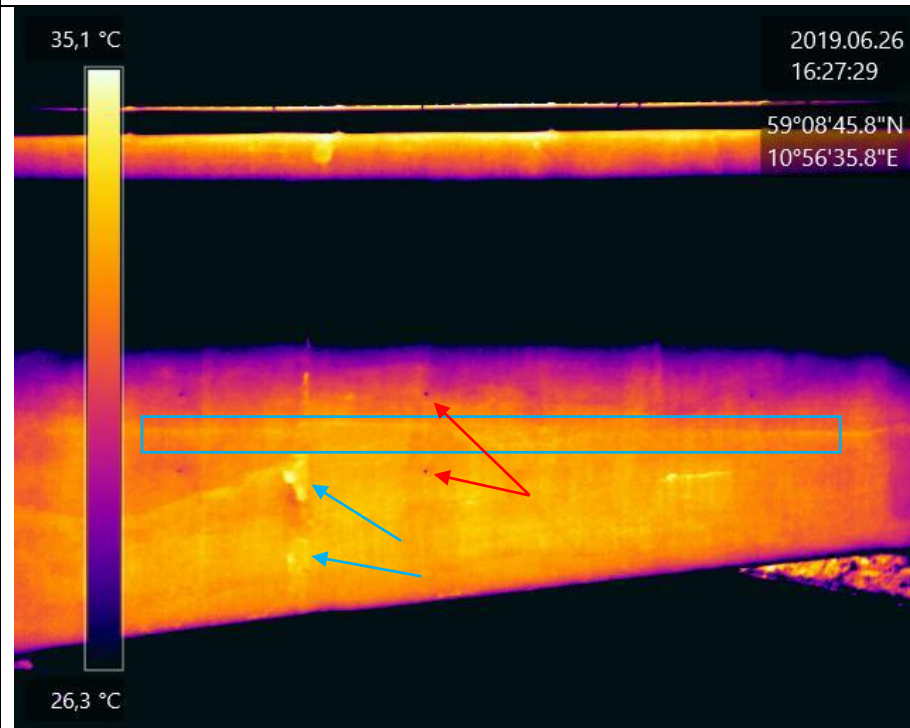
<b>Bilde nr:</b>	<b>1 IR</b>	<b>Bilde nr:</b>	<b>1 EO</b>
<b>Fil:</b>	<b>05_IR_DJI_0005</b>	<b>Fil:</b>	<b>05_DJI_0005</b>

**Beskrivelse og vurdering:**

De forskjellige fargene viser forskjellige temperaturer i betongen. Termogrammet viser en ujevn varmeoverføring i betongoverflaten.



**Bildevedlegg**

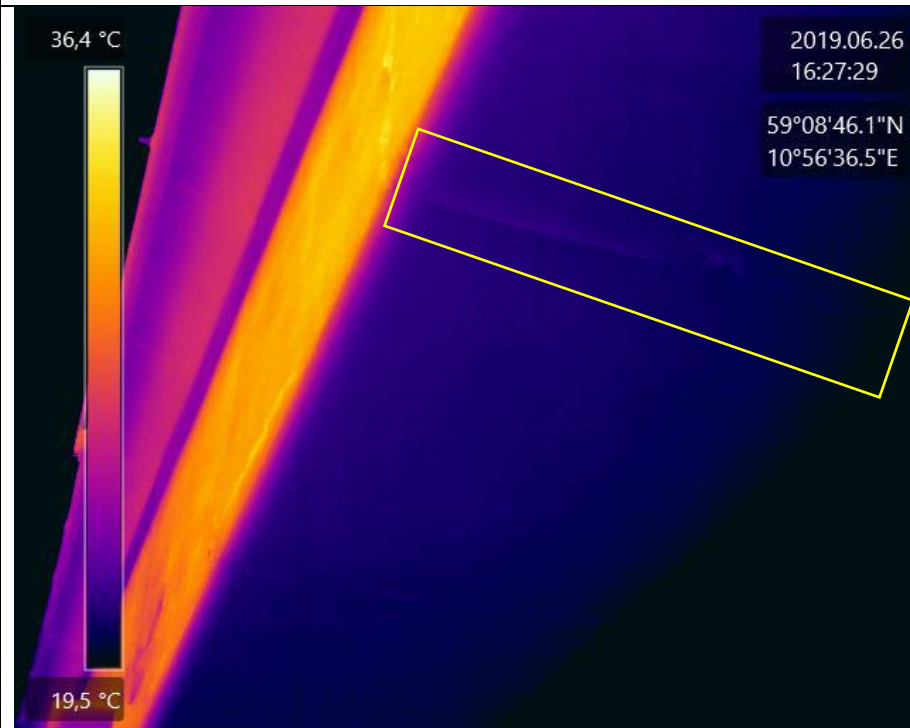


<b>Bilde nr:</b>	<b>2 IR</b>	<b>Bilde nr:</b>	<b>2 EO</b>
<b>Fil:</b>	<b>09_IR_DJI_0009</b>	<b>Fil:</b>	<b>09_DJI_0009</b>

**Beskrivelse og vurdering:**

Varmesignaturer tilsvarende omtrent med skjøtene som tydelig observeres i dagslysbildet til høyre (blå firkant). Sterkere varmesignaturer samsvarer med reparasjoner/materialoverganger (blå pil). Små lufthull observeres som kaldere punkter på grunn av brytning i varmeoverføringen i betongen (røde piler).

**Bildevedlegg**

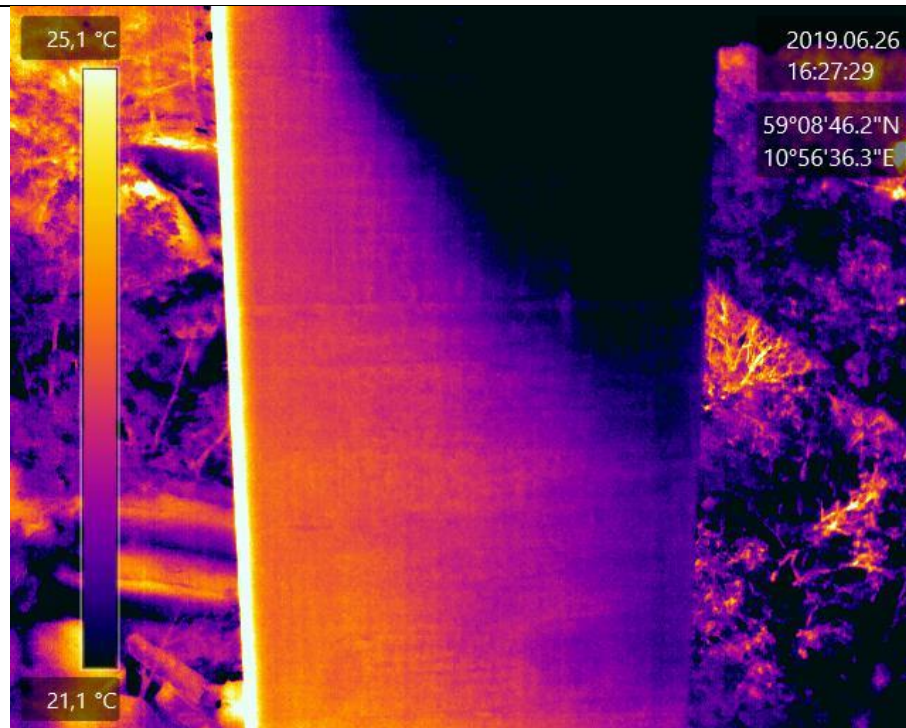


<b>Bilde nr:</b>	<b>3 IR</b>	<b>Bilde nr:</b>	<b>3 EO</b>
<b>Fil:</b>	<b>18_IR_DJI_0019</b>	<b>Fil:</b>	<b>18_DJI_0018</b>

**Beskrivelse og vurdering:**

Skader i betongoverflaten (til høyre) er ikke synlige i IR bildet. Dette skyldes sannsynligvis for høy temperaturskala (minimum temperatur vs. maksimum temperatur) i termogrammet og manglende «temperatur-tretthet» (thermal inertia). Datafangsten burde sannsynligvis seksjoneres i et overflateområde om gangen.

**Bildevedlegg**



<b>Bilde nr:</b>	<b>4 IR</b>	<b>Bilde nr:</b>	<b>4 EO</b>
<b>Fil:</b>	<b>21_IR_DJI_0022</b>	<b>Fil:</b>	<b>21_DJI_0021</b>

**Beskrivelse og vurdering:**

Termogrammet viser et lignende tilfelle som i bilde nr. 3 over, der betongoverflaten til venstre innehar en høyere temperatur enn den større overflatepartiet.

### Bildevedlegg

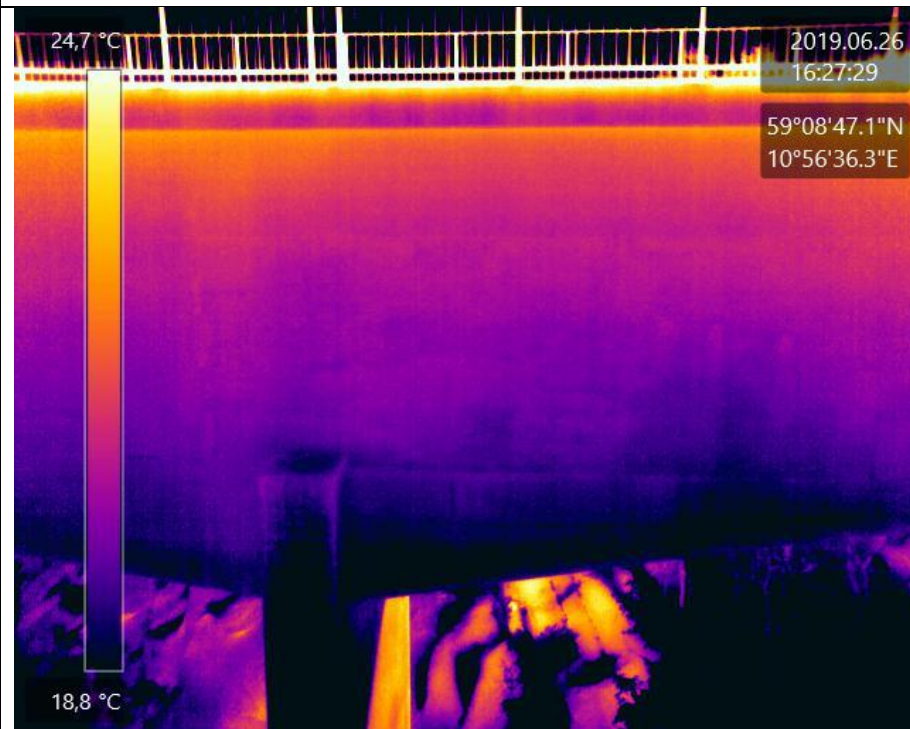


<b>Bilde nr:</b>	<b>5 IR</b>	<b>Bilde nr:</b>	<b>5 EO</b>
<b>Fil:</b>	<b>24_IR_DJI_0026</b>	<b>Fil:</b>	<b>24_DJI_0024</b>

**Beskrivelse og vurdering:**

Ujevnheter i veibanen fanges tydelige opp av IR-sensoren, hovedsakelig på grunn av overflatens forskjell i emissivitet (varmestråling). Partier i veibanen som er slitt stråler varmen annerledes enn de andre seksjonene. Hull (skader) i veibanen (blå sirkel) utgir klare varmesignaturer, men slike observasjoner er avhengige av detaljerte tolkning av IR-bildene for å bli oppdaget.

**Bildevedlegg**

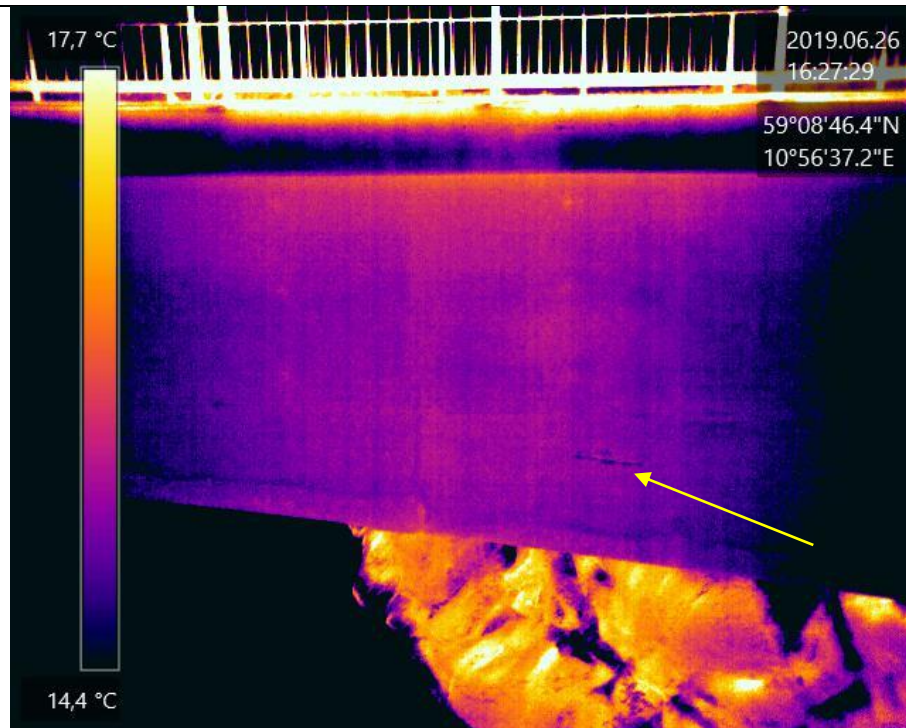


<b>Bilde nr:</b>	<b>6 IR</b>	<b>Bilde nr:</b>	<b>6 EO</b>
<b>Fil:</b>	<b>35_IR_DJI_0037</b>	<b>Fil:</b>	<b>35_DJI_0035</b>

**Beskrivelse og vurdering:**

Termogrammet viser lite tegn på bryting i temperaturoverføringen i betongen, kun en gradvis (ca. 6 grader) temperaturforandring fra toppen av brua (rekkverket, lysere området) til nedre seksjonen (mørk blå).

**Bildevedlegg**



<b>Bilde nr:</b>	<b>7 IR</b>	<b>Bilde nr:</b>	<b>7 EO</b>
<b>Fil:</b>	<b>42_IR_DJI_0044</b>	<b>Fil:</b>	<b>42_DJI_0043</b>

**Beskrivelse og vurdering:**

Pilen viser en kaldere temperatursignatur som bryter tydelig med temperaturoverføringen på betongoverflaten og samsvarer med skaden som observeres i dagslysbildet, der armeringsjern trer tydelig fram.

**Bildevedlegg**

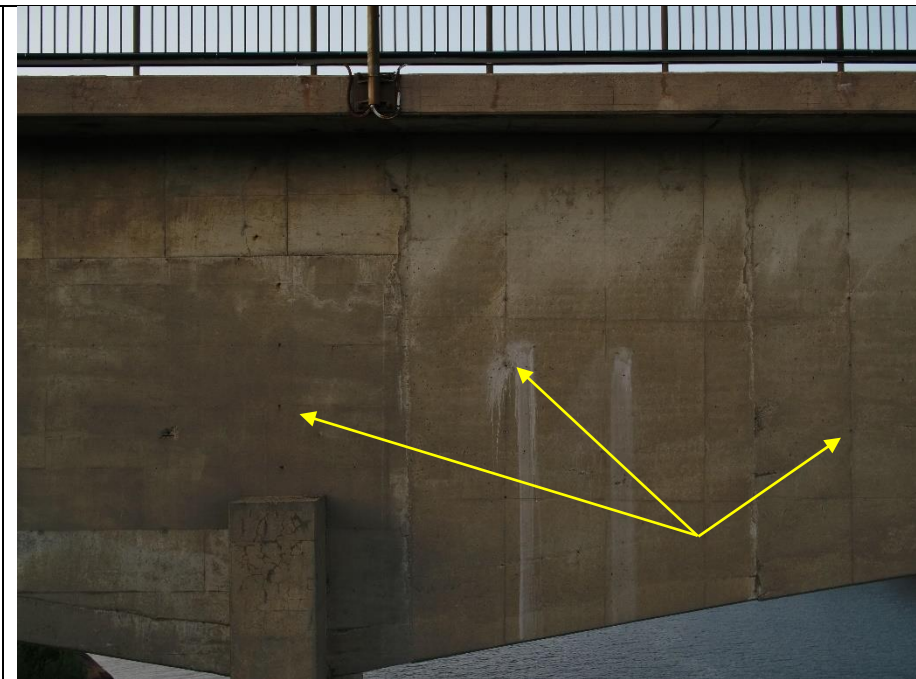


<b>Bilde nr:</b>	<b>8 IR</b>	<b>Bilde nr:</b>	<b>8 EO</b>
<b>Fil:</b>	<b>44_IR_DJI_0046</b>	<b>Fil:</b>	<b>44_DJI_0045</b>

**Beskrivelse og vurdering:**

Forandring i vinkelen for opptak av IR data viser ikke noe særlig annet enn tilsvarende informasjon som vises dagslysbildet.

**Bildevedlegg**



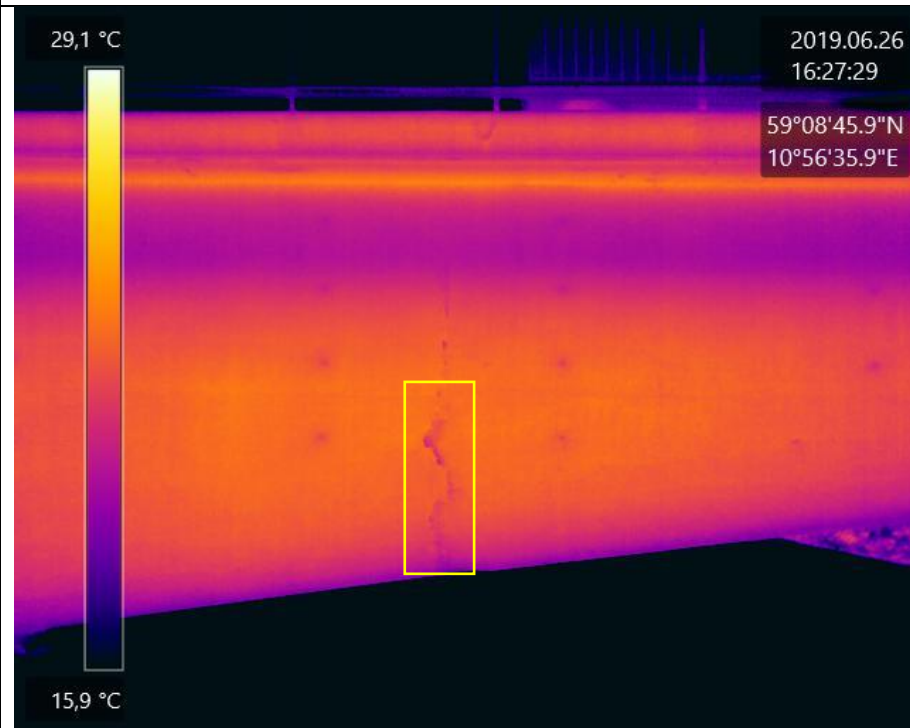
<b>Bilde nr:</b>	<b>9 IR</b>	<b>Bilde nr:</b>	<b>9 EO</b>
<b>Fil:</b>	<b>04_IR_DJI_0004</b>	<b>Fil:</b>	<b>04_DJI_0005</b>

**Beskrivelse og vurdering:**

Lufthull kan tydelig observeres som kaldere punkter i termogrammet på grunn av bryting i temperaturoverføringen i betongoverflaten. Dette tyder på at der hvor luft bryter overflaten (f.eks sprekker) oppstår det en temperatursignatur som kan fanges opp av en IR-sensor.



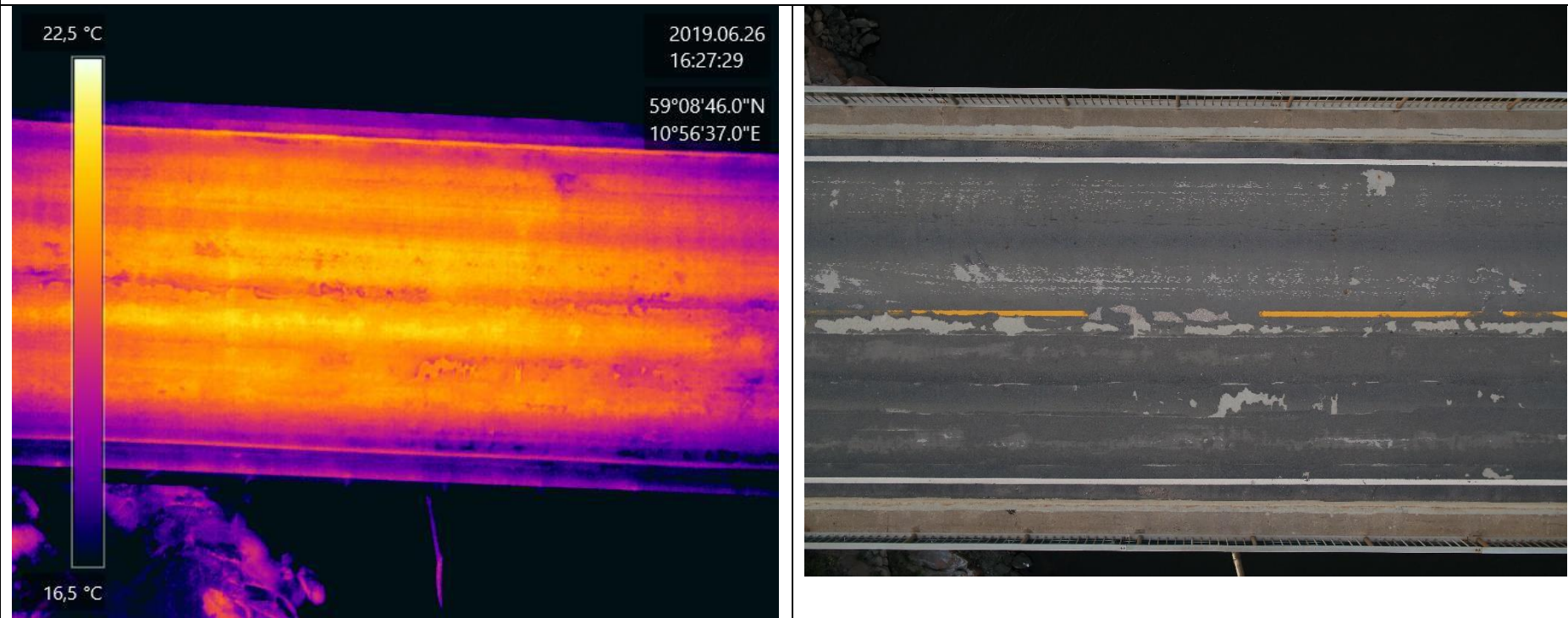
**Bildevedlegg**



<i>Bilde nr:</i>	<i>10 IR</i>	<i>Bilde nr:</i>	<i>10 EO</i>
<i>Fil:</i>	<i>08_IR_DJI_0008</i>	<i>Fil:</i>	<i>08_DJI_0009</i>

**Beskrivelse og vurdering:**  
 Tekstur/materialforandringen i overflaten gir en kaldere temperatursignatur på overflaten.

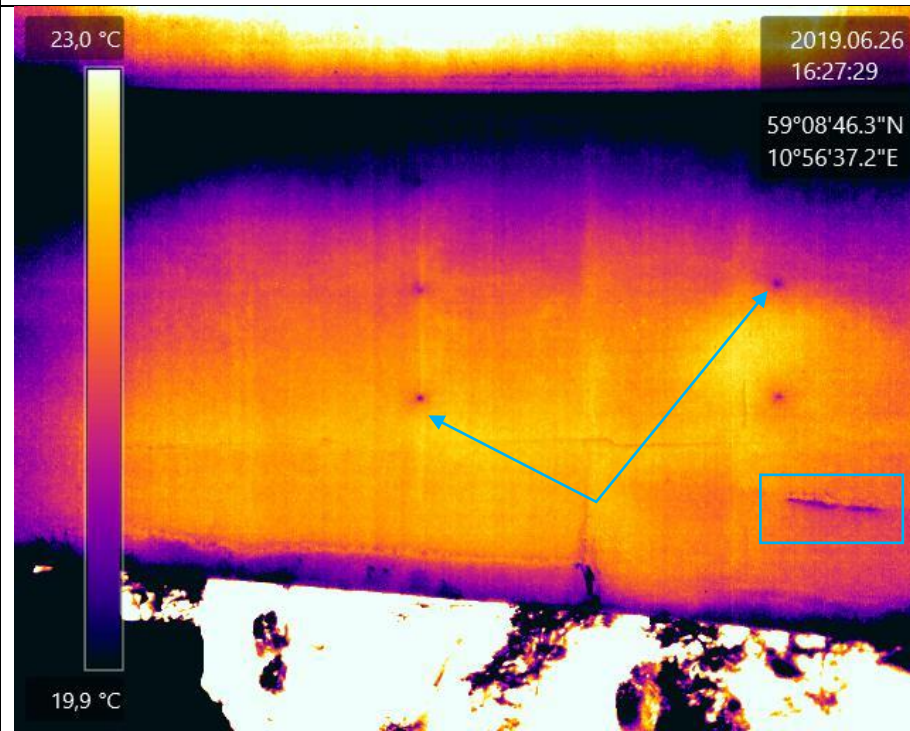
**Bildevedlegg**



<b>Bilde nr:</b>	<b>11 IR</b>	<b>Bilde nr:</b>	<b>11 EO</b>
<b>Fil:</b>	<b>12_IR_DJI_0012</b>	<b>Fil:</b>	<b>12_DJI_0013</b>

**Beskrivelse og vurdering:**  
 Slitasje på veibanen kommer tydelig fram i form av forskjellige varmesignaturer basert hovedsakelig på forskjeller i overflateemissivitet (forskjell i varmeutstråling av belegg på overflaten).

**Bildevedlegg**

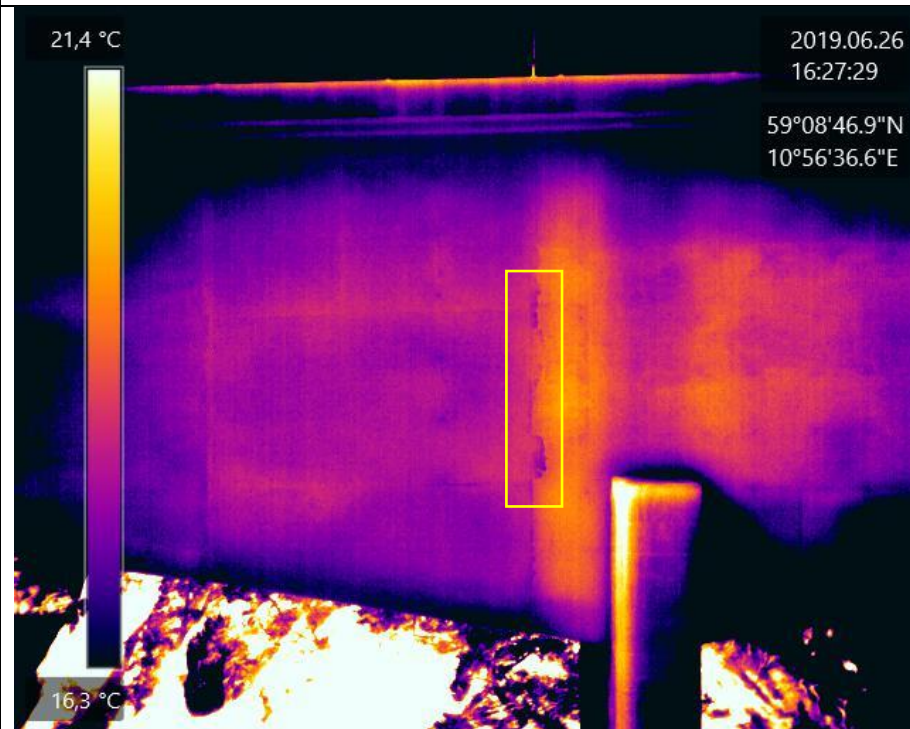


<i>Bilde nr:</i>	<i>12 IR</i>	<i>Bilde nr:</i>	<i>12 EO</i>
<i>Fil:</i>	<i>15_IR_DJI_0016</i>	<i>Fil:</i>	<i>15_DJI_0018</i>

**Beskrivelse og vurdering:**

Termogrammet er tatt etter kraftigere solbelastning (jfr. bilde nr. 7). Høy kontrast i temperaturen på betong overflaten mot atmosfærisk temperatur gjør det lettere å observere skaden (firkant) samt lufthull (piler) som kommer tydelig fram.

**Bildevedlegg**

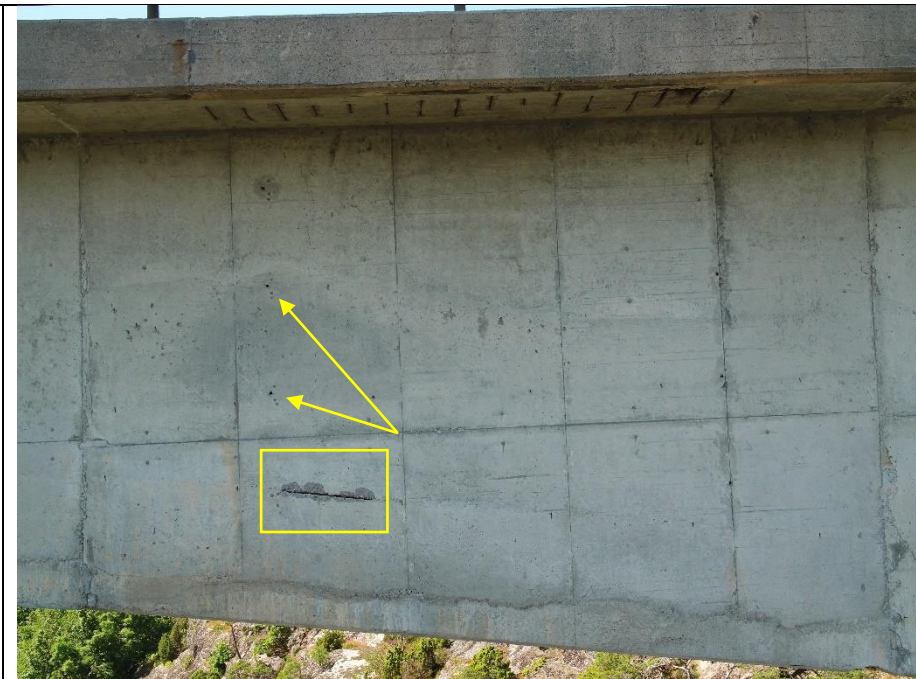
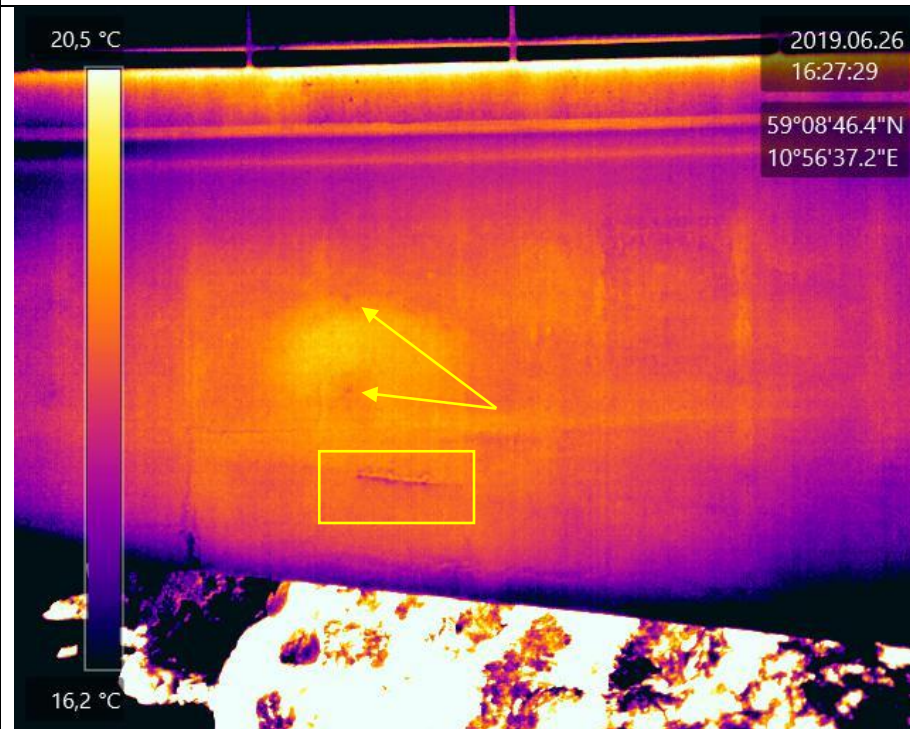


<i>Bilde nr:</i>	<i>13 IR</i>	<i>Bilde nr:</i>	<i>13 EO</i>
<i>Fil:</i>	<i>25_IR_DJI_0028</i>	<i>Fil:</i>	<i>25_DJI_0030</i>

**Beskrivelse og vurdering:**

Termogrammet er tatt tidlig om morgnen og i skyggen. Temperatursignaturen som sees i skjøten skyldes hovedsakelig tekstur/geometriske forskjeller i overflaten. Dette tyder på at høyere temperaturkontrast burde oppnås for å få fram ujevnheter/skader og/eller anomalier.

### Bildevedlegg



<b>Bilde nr:</b>	<b>14 IR</b>	<b>Bilde nr:</b>	<b>14 EO</b>
<b>Fil:</b>	<b>28_IR_DJI_0031</b>	<b>Fil:</b>	<b>28_DJI_0033</b>

**Beskrivelse og vurdering:**

Jfr. bilde nr. 7 og nr. 12. Termogrammet er tatt tidlig om morgnen, i skyggen og uten solbelastning. Skaden rundt armeringsjern er synlig, men i mindre grad enn der hvor temperaturforskjellen mellom atmosfærisk temperatur og temperatur på betongoverflaten er høyere (bilde nr. 12). Lufthull er lite synlige i termogrammet (piler).



Statens vegvesen  
Vegdirektoratet  
Publikasjonsekspedisjonen  
Postboks 6706 Etterstad 0609 OSLO  
Tlf: (+47) 22073000  
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

**Trygt fram sammen**