

# Termografierea in infrarosu

## 1. Considerații generale

Descoperita in 1800 de catre astronomul englez Sir William Herschel, radiatia infrarosie sta la baza tehnicii numita "termografie". Aceasta radiatie nu este vizibila cu ochiul liber, ea fiind perceputa de noi drept caldura. Orice obiect cu o temperatura mai mare de zero absolut (aproximativ -273 grade Celsius) emite radiatie termica. Chiar si corpurile foarte reci, cum ar fi cuburile de gheata, emit radiatie infrarosie. Termografia in infrarosu permite a se vedea 'invizibilul' - caldura si repartitia ei superficiala. Aparatele termografice moderne 'vad' temperaturi mergand de la -40°C pana la +1500 - 2000°C si pot decela diferente de temperatura de numai 0,1°C. Termografia in infrarosu isi poate gasi utilizarea practica in orice domeniu in care caldura apare sau isi modifica distributia ca urmare aunui proces chimic, fizic etc. sau de alta natura. Termografia este utilizata in industrie pentru monitorizarea regimurilor termice ale instalatiilor si proceselor tehnologice.

Termografia este utilizată de mult timp în industrie pentru monitorizarea regimurilor termice ale instalațiilor și proceselor tehnologice. În ultimii ani, termografia a căpătat o importanță deosebită în activitatea de mentenanță, în special în următoarele domenii: controlul periodic preventiv al instalațiilor electrice, pentru identificarea punctelor „calde” generate de conexiuni de rezistență mare, a unor împământări necorespunzătoare, precum și a circuitelor electrice în care apar circulații anormale de puteri datorită dezechilibrelor sau suprasarcinilor; controlul echipamentelor mecanice și electrice, în asociere cu analiza vibrațiilor; controlul izolației termice.

In ultimii ani, termografia a capatat o importanta deosebita in activitatea de mentenanta, in special in urmatoarele domenii: controlul periodic preventiv al instalatiilor electrice, pentru identificarea punctelor „calde” generate de conexiuni de rezistenta mare, a unor impamantari necorespunzatoare, precum si a circuitelor electrice in care apar circulatii anormale de puteri datorita dezechilibrelor sau suprasarcinilor; controlul echipamentelor mecanice si electrice, in asociere cu analiza vibratiilor; controlul izolatiei termice.

Termografia in infrarosu este tehnica ce permite obtinerea, cu ajutorul unui echipament sau aparat corespunzator, imaginea termica a unei scene termice observata intr-un domeniu spectral de infrarosu. Scena termica reprezinta partea de spatiu (obiect) observabil cu ajutorul aparatelor sau echipamentelor destinate termografiei in infrarosu. Imaginea termica consta in repartitia structurata a datelor reprezentative ale radiatiei in infrarosu, ce provin de pe o scena termica.

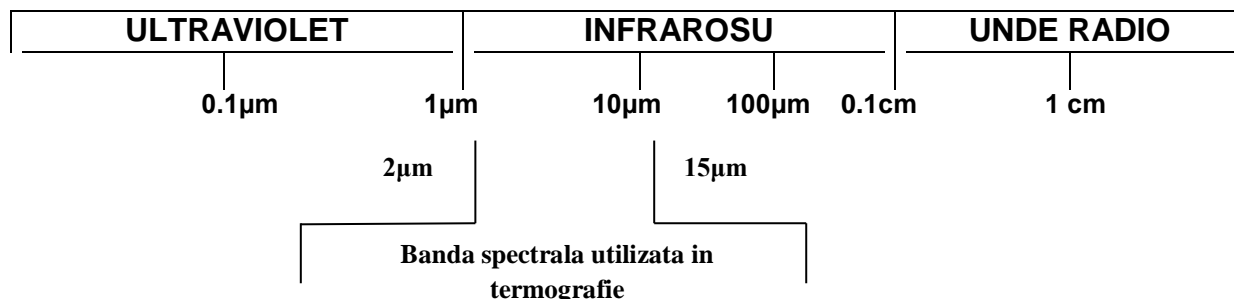
Camerele in infrarosu sunt dispozitive ce permit inregistrarea acestei radiatii si, implicit, determinarea temperaturii obiectelor fara a fi necesar contactul nemijlocit cu acestea. Radiatia infrarosie, sau energia termica radianta invizibila, este similara cu lumina vizibila, cu undele radio si cu radiatia ultravioleta, de care difera doar prin lungimea de unda. Toate sunt forme de energie electromagnetica - energie ce se propaga in linie dreapta, sub forma de unde, cu viteza luminii si interactioneaza cu materia la nivel atomic si molecular.

Dezvoltarea tehnologica fara precedent, in ultimele decenii, a condus la diversificarea solutiilor constructive, la miniaturizarea si ultraminiaturizarea componentelor electronice, la incorporarea micropcesoarelor de mare performanta in camerele termografice posibile si a permis dezvoltarea unei game foarte largi de echipamente de termografiere in infrarosu. Termoviziunea sau vizualizarea in infrarosu (IR) este o tehnica prin care o camera (sau scanner) detecteaza si afiseaza o harta a intensitatii radiatiei pe un domeniu din spectrul electromagnetice.

Termoviziunea sau vizualizarea in infrarosu (IR) este o tehnica prin care o camera (sau scanner) detecteaza si afiseaza o harta a intensitatii radiatiei pe un domeniu din spectrul electromagnetice. Termenul termoviziune defineste imaginea obtinuta de camera termica si se utilizeaza in special in aplicatiile militare sau de supraveghere civila, in timp ce termografia implica si masurarea temperaturii, in aplicatii industriale sau stiintifice.

Infrarosul ocupa o portiune larga in cadrul spectrului electromagnetice, de la 0,8  $\mu\text{m}$  pana la 200  $\mu\text{m}$ , inasa numai o mica parte este utilizabila de echipamentele de masuraresi vizualizare IR. Pentru termoviziune (termografie) prezinta interes numai domeniul cuprins intre 0,8  $\mu\text{m}$  si 15  $\mu\text{m}$ . Practic, functie de producator, sunt recunoscute 3 (sau 2) subdomenii:

- unde scurte (SW )sau apropiat infrarosu (NIR)- 0,8... 1,5  $\mu\text{m}$
- unde medii (MW) - 2...5  $\mu\text{m}$
- unde lungi (LW) - 7...15  $\mu\text{m}$



Responsabila pentru aceste delimitari pe subdomenii (numite si ferestre) este atmosfera. Evident transmisia depinde de distanta intre obiectul scanat si camera in infrarosu, dar si de compozitia atmosferei, dioxidul de carbon si vaporii de apa fiind cei mai importanti factori ce afecteaza radiatia. Termoviziunea este singura metoda de

investigație rapidă și eficientă ce va putea oferi informații complete asupra stării izolației termice a unei clădiri și nu numai.

Termografierea în infraroșu se bazează pe captarea radiației infraroșii emisă de obiectul examinat și convertirea acesteia prin intermediul unui detector într-o mărime electrică ușor de măsurat și de codificat pentru vizualizare sau pentru stocare sau înregistrare în vederea interpretării.

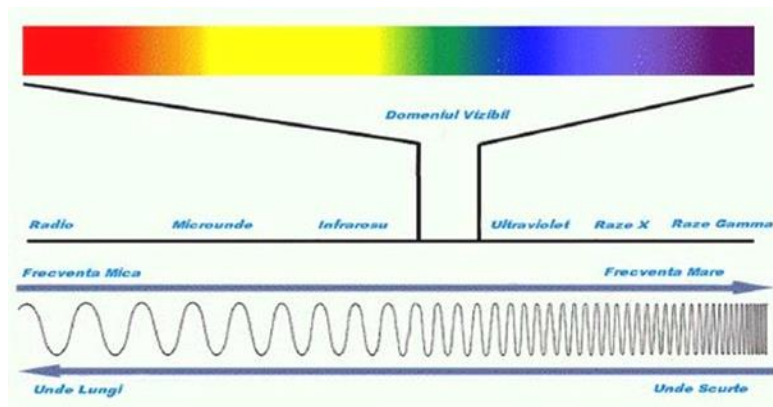


Figura 1. Spectrul de radiații

Din punct de vedere principal schemele de termografiere pot fi grupate în două mari grupe:

- metodele de control care necesită o sursă de căldură ca anexă a echipamentului de examinare, denumite metode active;
- metodele de control care constau în analiză sau măsurarea fluxului termic furnizat de produsul examinat (căldura există sau este produsă independent de procesul de examinare), denumite metode pasive.

Principiul metodei active constă în încălzirea obiectului de examinat, de exemplu o placă metalică conținând un defect plan, cu unul sau mai multe impulsuri termice produse de un ansamblu de blitzuri de radiație termică alimentat de la o sursă de curent specială. Metodele active se folosesc pentru: detectarea defectelor în materiale lipite, stratificate, acoperite, compozite (metalice sau nemetalice); măsurarea grosimilor straturilor de acoperire sau învelisurilor; caracterizarea materialelor din punct de vedere al comportamentului termic; evaluarea structurii materialelor compozite polimerice.

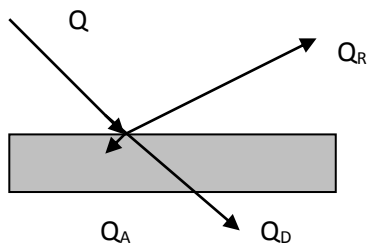
## 2. Noțiuni de fizica radiațiilor

### 2.1 Radiația electromagnetică

Pentru exemplificare, se prezintă spectrul radiației electromagnetice. Banda spectrală utilizată în termografie este de la 2 la 15  $\mu\text{m}$ . Radiația electromagnetică este o undă determinată de vectorii câmp și câmp magnetic, care se propagă într-o direcție dată și se caracterizează prin lungimea de undă, în  $\mu\text{m}$  și puterea vehiculată, în W (Watt). Într-un mediu semi-transparent M, omogen și izotrop, radiația electromagnetică se propagă în linie dreaptă și, din acest motiv, se folosește în mod curent noțiunea de „rază de lumină”.

## 2.2 Mărimi caracteristice radiației termice

Fluxul radiant,  $\Phi$ , incident pe suprafața unui corp se distribuie astfel:



$\Phi_A$  – este flux absorbit;

$\Phi_R$  – este flux reflectat;

$\Phi_D$  - este flux difuzat (străbate corpul).

Ecuția de bilant energetic este:

$$\Phi = \Phi_A + \Phi_R + \Phi_D \quad (1)$$

sau:

$$1 = \frac{\Phi_A}{\Phi} + \frac{\Phi_R}{\Phi} + \frac{\Phi_D}{\Phi} = A + R + D \quad (2)$$

unde: A - coeficientul de absorbție;

R - coeficientul de reflexie;

D - coeficientul de difuzie (permiabilitate).

Coeficienții A, R și D pot lua valori cuprinse între 0 și 1 funcție de natura corpului, starea suprafețelor, spectrul radiației incidente și temperatură. În funcție de aceste valori, se poate face o clasificare a corpurilor:

- pentru  $A = 1$ ;  $R = D = 0$ , corpul este absolut negru (radiator integral);
- pentru  $R = 1$ ;  $A = D = 0$ , corpul este absolut alb;
- pentru  $D = 1$ ;  $A = R = 0$ , corpul este diaterm (transparent).

În natură, corpurile sunt cenușii ( $A < 1$ ), absorbind pe toate lungimile de undă o anumită proporție din radiațiile incidente.

Suprafața unui corp poate fi:

- lucie, dacă reflectă radiația incidentă într-o direcție determinată, unghiul de incidență fiind egal cu cel de reflexie;
- mată, dacă reflectă radiația incidentă în toate direcțiile.

Fluxul radiant unitar (putere totală de emisie), E, reprezintă fluxul radiant pe unitatea de suprafață a unui corp în toate direcțiile și pe toate lungimile de undă :

$$E = \frac{d\Phi}{dS}, [\text{W}/\text{m}^2] \quad (3)$$

Intensitatea de radiație,  $I_\lambda$ , reprezintă energia radiantă de unitatea de suprafață a unui corp în unitate de timp, pe o anumită lungime de undă:

$$I_\lambda = \frac{dE}{d\lambda}, [\text{W}/\text{m}^3] \quad (4)$$

Factorul de emisie,  $\varepsilon$ , este raportul între puterea totală de emisie a unui corp oarecare,  $E$ , și puterea totală de emisie a corpului negru,  $E_0$ :

$$\varepsilon = \frac{E}{E_0} \quad (5)$$

### 2.3. Legile radiației termice

Legea lui Planck reprezintă legea de distribuție a intensității de radiație,  $I_{\lambda,0}$ , pentru corpul negru, la diferite temperaturi:

$$I_{\lambda,0} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left( e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)}, [\text{W}/\text{m}^3], \quad (6)$$

unde:  $C_1$  este prima constantă Planck, cu valoarea  $C_1 = 0,374 \cdot 10^{-15}$ ,  $[\text{W}/\text{m}^2]$ ;

$C_2$  este a doua constantă Planck, cu valoarea  $C_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2}$ ,  $[\text{m} \cdot \text{K}]$ .

Relația (3.7) a fost stabilită pe cale analitică: arată că  $I_{\lambda,0} \rightarrow 0$  pentru  $\lambda \rightarrow 0$  și  $\lambda \rightarrow \infty$  și are un maxim pentru fiecare temperatură.

Legea lui Planck prezintă două cazuri extreme:

- pentru  $\lambda T \gg C_2$ , legea Reyleigh–Jeans, care, prin dezvoltarea în serie a termenului  $e^{\frac{C_2}{\lambda T}}$ , se rețin primii doi termeni:

$$e^{\frac{C_2}{\lambda \cdot T}} = 1 + \frac{1}{1} \left( \frac{C_2}{\lambda \cdot T} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{C_2}{\lambda \cdot T} \right)^2 + \dots \quad (7)$$

rezultă:

$$I_{\lambda,0} = \frac{C_1 \cdot T}{C_2 \cdot \lambda^4}, \text{ [W/m}^3\text{]} \quad (8)$$

- pentru  $\lambda T \ll C_2$ , legea Wien, se neglijează unitatea:

$$I_{\lambda,0} = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot e^{\lambda \cdot T}}, \text{ [W/m}^3\text{]} \quad (9)$$

Maximul relației (3.10) se determină anulând derivata:

$$\frac{dI_{\lambda,0}}{d\lambda} = 0 \quad (10)$$

obținându-se:

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ [m} \cdot \text{K]}, \quad (11)$$

relația Wien arătând că maximul intensității de radiație se deplasează cu creșterea temperaturii spre lungimi de undă mai mici.

Legea Ștefan–Boltzman, stabilește dependența puterii totale de emisie de temperatura corpului absolut negru:

$$E_0 = \int_0^{\infty} I_{\lambda,0} \cdot d\lambda = C_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4, \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (12)$$

unde,  $C_0 = 5,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$  este coeficientul de radiație al corpului negru.

Pentru corpurile cenușii:

$$E = \varepsilon \cdot E_0 = \varepsilon \cdot c_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4, \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (13)$$

unde,  $\varepsilon$  este factorul de emisie (depinde de natura materialului și de starea suprafețelor).

Legea lui Kirchoff stabilește legătura dintre cantitatea de energie emisă și cea absorbită de un corp, în anumite condiții de temperatură. Se obține simplu considerând mai multe corpuri aflate într-o incintă închisă de mari dimensiuni, admisă corp negru. Pentru fiecare corp, în condițiile echilibrului termodinamic, energia emisă este egală cu energia absorbită.

$$E_1 = A_1 \cdot E_0 = E_2 = A_2 \cdot E_0 \quad (14)$$

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \dots = E_0 = f(T) \quad (15)$$

$$E = \varepsilon \cdot E_0 = A \cdot E_0 \Rightarrow \varepsilon = A \quad (16)$$

deci, pentru un corp în echilibru termodinamic coeficientul de absorbție egal cu factorul de emisie.

Capacitatea de radiație a unui corp este cu atât mai mare cu cât capacitatea sa de absorbție este mai mare.

### **3. Aspecte practice privind utilizarea termografiei în infraroșu**

#### **3.1 Termografia in domeniul constructiilor si instalatiilor industriale**

Termografia este utilizată de mult timp în industrie pentru monitorizarea regimurilor termice în instalații și procese tehnologice. În ultimii ani, termografia a căpătat o importanță însemnată în activitatea de mentenanță, îndeosebi în următoarele domenii:

- Controlul periodic preventiv al instalațiilor electrice pentru identificarea punctelor calde, generate de conexiuni de rezistență mare, a împământărilor necorespunzătoare, a circuitelor electrice cu circulații anormale de puteri (dezechilibre sau suprasarcini).

- Controlul echipamentelor mecanice și electrice rotative în asociere cu analiza vibrațiilor. Pot fi controlate cuplaje, rulmenți, statoare de motoare electrice, sisteme de ungere și răcire.

- Controlul integrității izolațiilor termice ale cuptoarelor rotative și fixe, schimbătoarelor de căldură, rețelelor de transport agent termic. În acest domeniu variațiile de temperatura ofera informatii extrem de bogate, acest domeniu beneficiind din plin, în ultimul deceniu, de performanțele atinse de termoviziune/termografie.

- Izolațiile efectuate incorect, crapaturile existente în structura, infiltrațiile, ciupercile etc. apar foarte clar în imaginile termice obținute cu o camera de termografie specializată. În țările avansate termografia este utilizată pe scară largă în inspecțiile monumentelor istorice.

Cu ajutorul unui echipament termografic se pot pune în evidență și defecte constructive, infiltrații de apă sau aer, vizualizarea modului de funcționare a instalațiilor termice și a traseelor prin pereți și pardoseala, corectitudinea executării și a montării tamplărilor la ferestre, identificarea punctelor termice și multe altele.

De foarte multe ori termografia este singura metoda rapidă de investigare la fața locului a unei construcții. Prin simpla scanare a fatadei unei clădiri se pot observa

zonele in care peretii nu ofera o izolatie corespunzatoare, implicatiile fiind un consum de energie nejustificat de mare pentru incalzirea incaperilor pe timp de iarna si incalzirea excesiva a interiorului cladirii pe timpul verii.

#### 4. Exemple de utilizare a camerei de termografiere Testo 885

##### 4.1 Caracteristici tehnice ale camerei de termoviziune Testo 885

Nr. crt.	Specificatie tehnica	Valoare
1	Domeniu de măsură	-30 la +100°C / 0 la +350 °C (comutabil) 0 la +650 °C (comutabil)
2	Acuratețe	±2 °C, ±2 % din v.m. (±3 °C din v.m. la -30 to -22 °C)
3	Emisivitate / temperatura reflectată	0.01 la 1 / manual
4	Domeniu spectral	7.5 la 14 μm
5	Focalizare	auto / manual
6	Rata de refresh a imaginii	33 Hz
7	Tehnologie SuperResolution (pixel / IFOV) - opțional (versiune lentile)	640 x 480 pixeli / 1.06 mrad (Standard) 640 x 480 pixeli / 0.38 mrad (Telefoto) 640 x 480 pixeli / 0.17 mrad (Super-telefoto)
8	Rezoluție geometrică (IFOV) (versiune lentile)	1.7 mrad (Standard) 0.6 mrad (Telefoto) 0.27 mrad (Super-telefoto)
9	Câmp de vizualizare/distanța de focalizare minimă (versiune lentile)	30° x 23° / 0.5 m (Standard) 11° x 9° / 0.5 m (Telefoto) 5° x 3.7° / 2 m (Super-telefoto)
10	Sensibilitate termică (NETD)	< 30 mK la +30 °C
11	Tip detector	320 x 240 pixeli

#### Aplicatie Termografierea unui aparat schimbator de caldura de tip radiator avand diferite tipuri de conectare la rețeaua de distribuție

Cazul 1

Tip radiator: - panou de incalzire

Material radiator: - aluminiu

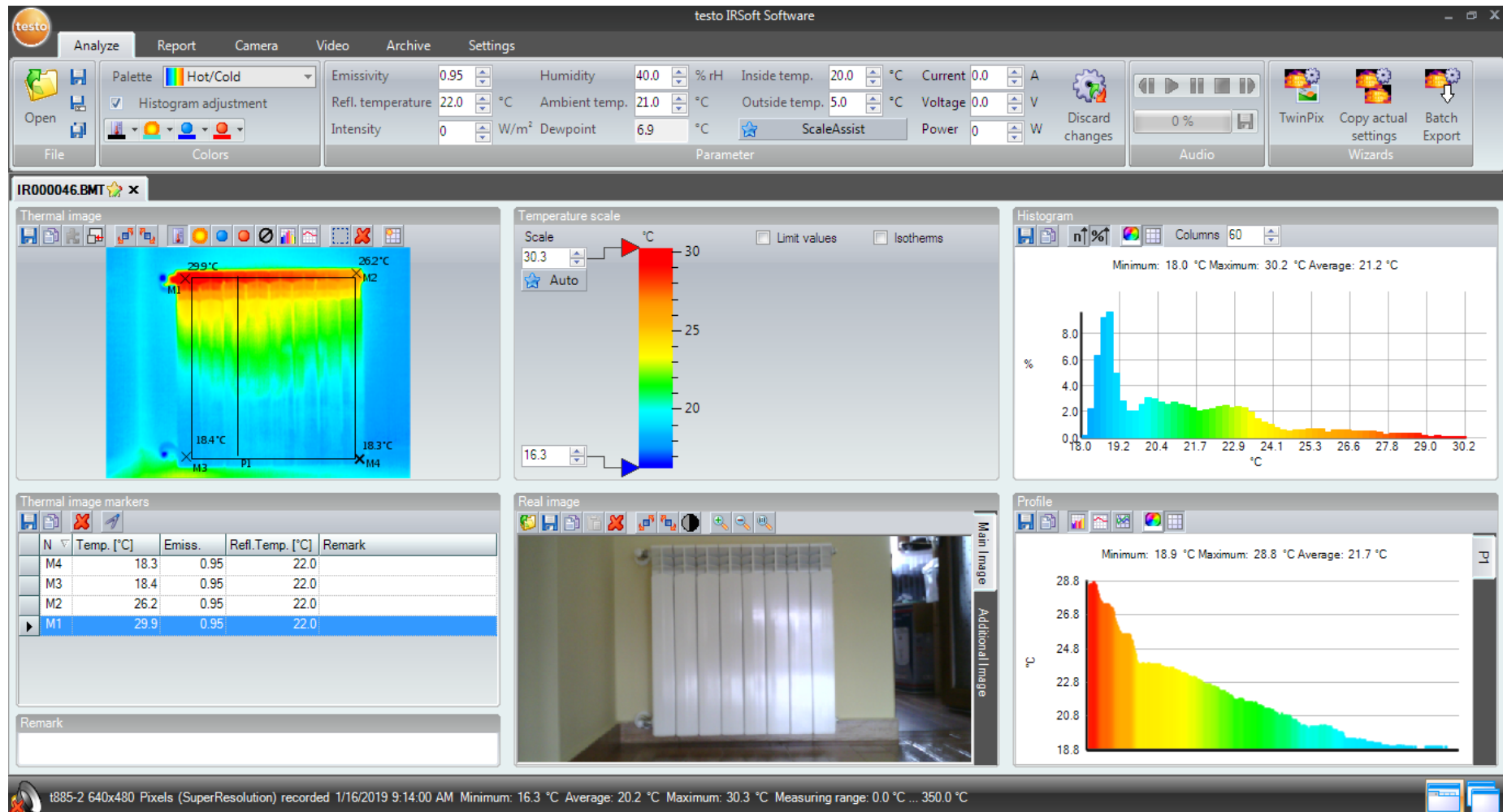
Tip conectare: - tur – retur pe aceeasi parte laterala a radiatorului

Se cere distributia temperaturii pe suprafata radiatorului.



**Cazul 1:** Tip radiator: - panou de incalzire; Material radiator: - aluminiu; Tip conectare: - tur – retur pe aceeasi parte laterala a radiatorului

Se cere distributia temperaturii pe suprafata radiatorului.



**Cazul 2:** Tip radiator: - panou de incalzire; Material radiator: - aluminiu; Tip conectare: - tur – retur la partea inferioara a radiatorului

Se cere distributia temperaturii pe suprafata radiatorului.

testo IRSoft Software

Analyze Report Camera Video Archive Settings

Open File Palette Hot/Cold Histogram adjustment Colors

Emissivity 0.95 Humidity 40.0 % rH Inside temp. 20.0 °C Current 0.0 A  
 Refl. temperature 22.0 °C Ambient temp. 22.0 °C Outside temp. 5.0 °C Voltage 0.0 V  
 Intensity 0 W/m<sup>2</sup> Dewpoint 7.8 °C ScaleAssist Power 0 W Discard changes

Audio 0 % TwinPix Copy actual settings Batch Export Wizards

IR000046.BMT IR000063.BMT

Thermal image Temperature scale Histogram

Thermal image markers

No	Temp. [°C]	Emiss.	Refl.Temp. [°C]	Remark
M1	53.9	0.95	22.0	
M2	49.1	0.95	22.0	
M3	41.2	0.95	22.0	
M4	44.8	0.95	22.0	
M5	41.6	0.95	22.0	

Remark

Real image Profile

Minimum: 7.2 °C Average: 34.9 °C Maximum: 58.2 °C Measuring range: 0.0 °C ... 350.0 °C

EN 12:44 PM 1/18/2019

**Cazul 3:** Tip radiator: - panou de incalzire; Material radiator: - fonta; Tip conectare: - tur – retur pe aceeasi parte laterala a radiatorului

Se cere distributia temperaturii pe suprafata radiatorului.

testo IRSoft Software

Analyze Report Camera Video Archive Settings

Open File Palette: Hot/Cold Histogram adjustment Colors

Emissivity: 0.95 Humidity: 51.0 % rH Inside temp.: 20.0 °C Current: 0.0 A  
 Refl. temperature: 22.0 °C Ambient temp.: 20.0 °C Outside temp.: 5.0 °C Voltage: 0.0 V  
 Intensity: 0 W/m<sup>2</sup> Dewpoint: 9.6 °C ScaleAssist Power: 0 W Discard changes

IR000046.BMT IR000063.BMT IR000069.BMT

Thermal image Temperature scale Histogram

Thermal image markers

No	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Remark
M1	39.1	0.95	22.0	
M2	39.1	0.95	22.0	
M3	36.0	0.95	22.0	
M4	37.2	0.95	22.0	

Real image Profile

1895-2 640x480 Pixels (SuperResolution) recorded 1/18/2019 12:24:16 PM Minimum: 21.3 °C Average: 34.8 °C Maximum: 41.0 °C Measuring range: -30.0 °C ... 100.0 °C

EN 12:58 PM 1/18/2019