

## TERMOGRAFIE ÎN INFRAROȘU

### 1. Considerații generale

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.

Termenul de termografie își are originea în cuvintele grecești *thermos* și *graphae*:

*Termografie* = *thermos* (căld) + *graphae* (scriere)

*Termografia în infraroșu* este tehnica ce permite să se obțină, cu ajutorul unui echipament sau aparat corespunzător, imaginea termică a unei scene termice observată într-un domeniu de infraroșu.

*Scena termică* reprezintă partea de spațiu (obiect) observabil cu ajutorul aparatelor sau echipamentelor destinate termografiei în infraroșu.

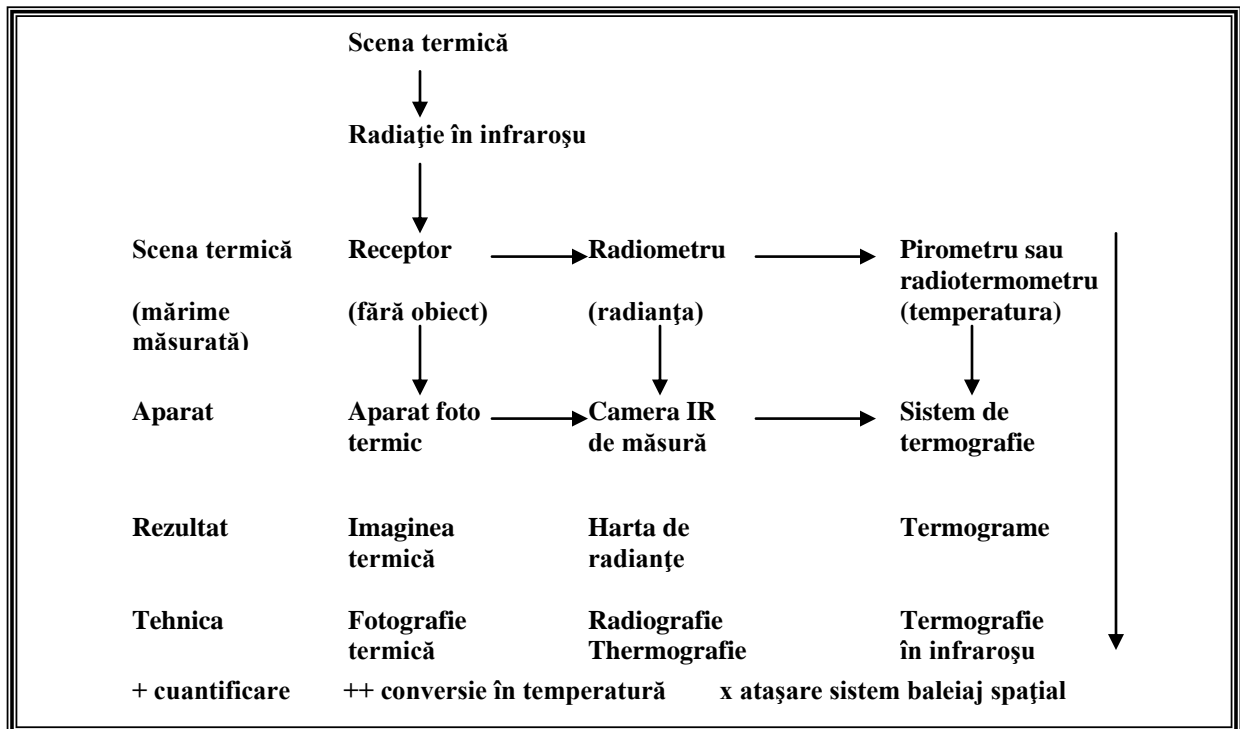


Figura 1. Cadru sinoptic general al termenilor relativi la termografie

*Imaginea termică* constă în repartiția structurată a datelor reprezentative ale radiației în infraroșu, ce provin de pe o scenă termică.

Sub formă sintetică, în cele ce urmează, în Figura 1, este prezentat cadrul sinoptic general al termenilor relativi privind termografia.

## 2. Noțiuni de fizica radiațiilor

### 2.1 Radiația electromagnetică

Pentru exemplificare, în Figura 2 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  $W$ .

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 „*raza de lumină*” sau „*fascicul infraroșu*”.

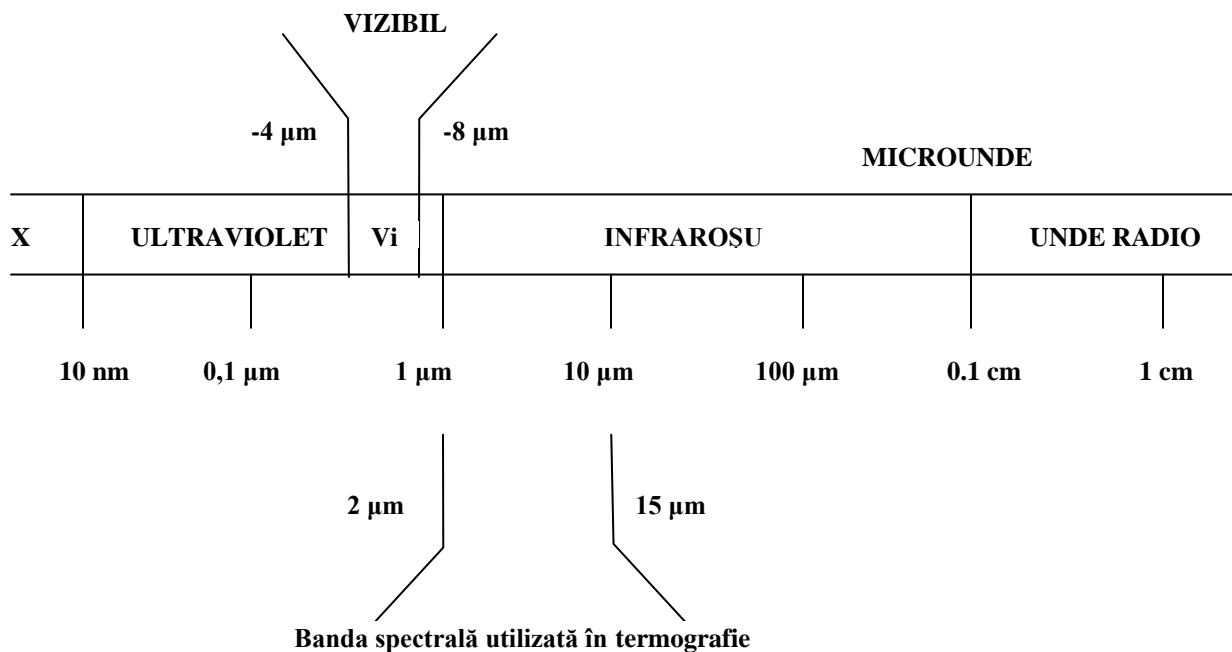


Figura 2 Spectrul radiației electromagnetice

## 2.1.1 Mecanismele de transfer de energie prin radiație

Se consideră două elemente materiale  $S$  și  $R$  situate într-un mediu semi-transparent  $M$ . Transferul de energie prin radiație se realizează prin următoarele fenomene:

- *emisie termică* – corpul  $S$  transformă o parte din căldura sa în radiație electromagnetică;
- *transmisie* – mediul  $M$  transmite total sau parțial radiația emisă de corpul  $S$ ;
- *reflexie sau difuziune* – corpul  $R$  reflectă în mediul  $M$  o parte din radiația emisă de corpul  $S$  care vine în contact cu suprafața sa;
- *absorbție termică* – corpul  $R$  transformă în căldură o parte din radiația provenită de la corpul  $S$ .

Fenomenele de transfer menționate anterior pot avea loc sau nu, în funcție de natura corpului și a mediului de propagare, după cum urmează:

- un material opac emite, reflectă și absoarbe radiație, dar nu o transmite;
- un corp negru emite și absoarbe, dar nu reflectă și nu transmite;
- un gaz sau o flacără nu reflectă practic, dar emite, absoarbe și transmite, deoarece sunt medii semi-transparente.

## 2.1.2 Intensitatea radiației (radianța) emise de un corp

Pentru exemplificare, se consideră un corp  $S$ , reprezentat în Figura 3, care trimite în tot spațiul o energie sub formă de radiație electromagnetică. Această energie, numită energie radiantă, provine din corp, dar poate fi emisă, reflectată sau transmisă de acel corp. Prin raportarea energiei  $E$  [J], care provine de la corpul  $S$ , la unitatea de timp [sec], se obține puterea radiantă  $\Phi$  sau fluxul energetic care pleacă de la corpul  $S$ , conform următoarei relații:

$$\Phi = \frac{E}{t} \quad [\text{W}] \quad (1)$$

În termografie, nu prezintă importanță acest flux total ce pleacă de la suprafața unui corp în tot spațiul, pentru toate lungimile de undă. Instrumentul de măsură a radiației prelevează pentru cuantificare doar o parte a acestui flux. În acest sens, instrumentul vizează un element de suprafață  $dS$ , un element de unghi solid  $d\Omega$ , într-o direcție de observație  $Or$ , care face un unghi  $\theta$  cu normala  $On$  a elementului  $dS$  și un interval de bandă spectrală  $d\lambda$ , centrată pe lungimea de undă  $\lambda$ , conform celor reprezentate în Figura 4.

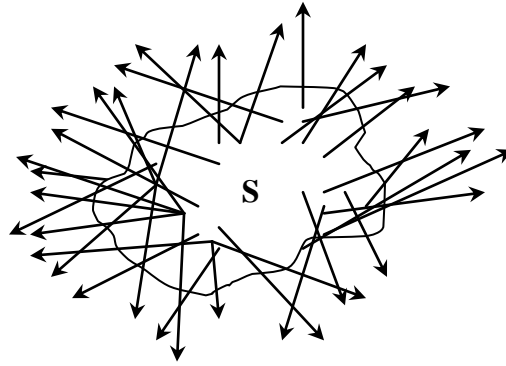


Figura 3 Energia radiată de un corp  $S$  în tot spațiul, pentru toate lungimile de undă

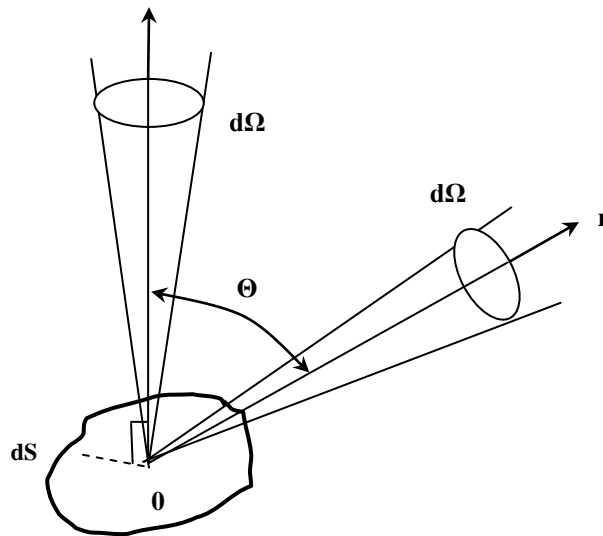


Figura 4 Prelevarea, pentru cuantificare, a unei părți din fluxul total emis de un corp

Intensitatea radiației (radianța) este o mărime fundamentală în înțelegerea corectă a radiometriei, iar  $L_\lambda$  reprezintă un element de flux provenind de la un element de suprafață, într-o direcție dată, sub un unghi solid, într-un interval de bandă spectrală.

## 2.2 Corpul negru

Prin definiție, corpul negru este un obiect ideal care absoarbe integralitatea radiațiilor incidente, oricare ar fi lungimea de undă și direcția acestora și care emite o radiație în conformitate cu legea lui Planck. În felul acesta, corpul negru constituie emițătorul sau receptorul ideal.

Conform legii lui Planck, se poate scrie următoarea expresie:

$$L_\lambda = \frac{C_1 \cdot \lambda^{-5}}{\pi \cdot e^{\frac{C_2}{\lambda T} - 1}} \quad (2)$$

unde:

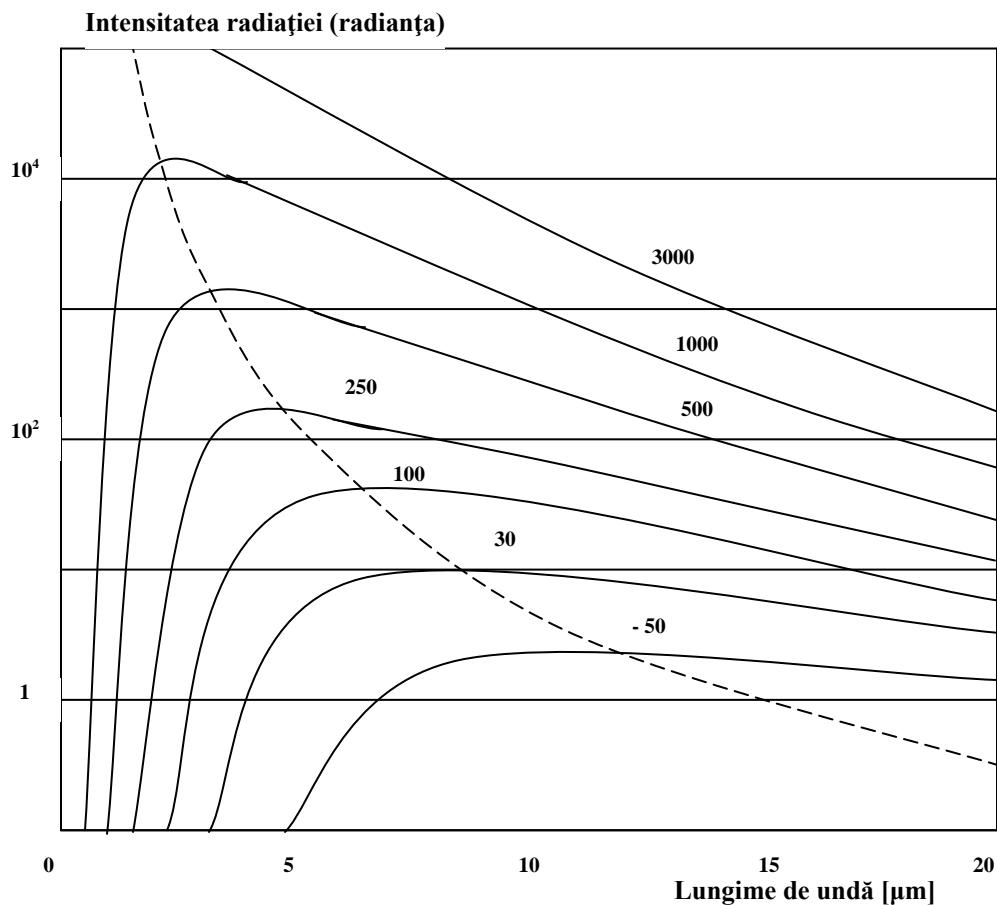
$C_1 = 3,741832 \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^2$  – prima constantă de radiație;

$C_2 = 1,438786 \cdot 10^{-2} \text{ K}\cdot\text{m}$  – a doua constantă de radiație;

$\lambda$  = lungimea de undă [m];

$T$  = temperatura [K].

De menționat faptul că expresia (2) corespunde numai corpului negru, atunci când emisia de radiație are loc în vid sau într-un mediu puțin dens, cu indice de refracție apropiat de unitate. Temperatura  $T$  dedusă dintr-o măsură de intensitate radiantă cu un radiometru se numește *temperatura de radianță* sau *temperatura corpului negru*, respectiv *temperatura aparentă*, pentru că, în cazul general, aceasta nu este egală cu temperatura adevărată a obiectului decât în situația când acesta este corp negru.



**Figura 5** Curbele lui Planck

Curbele lui Planck, prezentate în Figura 5, constituie fundamentul înțelegerii radiometriei, radiotermometriei și a termografiei în infraroșu. Din cele menționate anterior, se desprind următoarele observații:

- Spectrul radiației corpului negru este un spectru continuu, care nu prezintă absențe ale radiației pentru anumite lungimi de undă. Pentru temperaturi inferioare valorii de 2000 °C, aproape toată energia emisă este situată în infraroșu. Acest lucru explică asocierea infraroșu-căldură.
- Oricare ar fi lungimea de undă, radianța este o funcție monoton crescătoare, dependentă de temperatură. Atunci când crește temperatura, crește și radianța. Astfel, un radiometru ce funcționează pe o lungime de undă fixă, oarecare, furnizează un semnal de ieșire tip funcție crescătoare pentru temperatura  $T$  a corpului negru observat.
- Un corp negru, la temperatura  $T$ , emite o radiație electromagnetică compusă dintr-o infinitate de radiații elementare de lungimi de undă și de radianțe, a căror repartiție este descrisă de legea lui Planck.

Trebuie menționat faptul că nu trebuie să se considere că unei temperaturi a corpului negru îi corespunde o lungime de undă de radiație pe care trebuie să se racordeze un receptor pentru a indica temperatura aceluși corp. Totuși, ideea nu este lipsită total de interes; se poate imagina un spectroradiometru capabil să se acordeze pe lungimea de undă corespunzătoare maximului de energie emisă de corpul negru. Această lungime de undă  $\lambda_{max}$  indică, în felul acesta, temperatura corpului.

Prin derivarea legii lui Planck, în raport cu lungimea de undă  $\lambda$ , se obține lungimea de undă  $\lambda_{max}$ , pentru care emisia radiantă este maximă și anume:

$$T = \frac{2898}{\lambda_{max}} \quad [K] \quad (3)$$

Expresia (3) poartă denumirea de legea de deplasare Wien și este reprezentată punctat în Figura 5. Se observă clar că, dacă temperatura crește, maximumul energiei emise se deplasează către lungimi de undă inferioare.

Se consideră, de exemplu, o sursă de căldură în procesul de încălzire, sursa fiind considerată corp negru. Într-o primă etapă de încălzire, sursa se colorează într-un roșu-închis; în această etapă, sursa emite o parte redusă de radiație în spectrul vizibil. Temperatura sursei este în această situație de 510÷520 °C. Dacă ochiul uman ar avea un prag de răspuns mai coborât, ar "vedea" temperaturi mai joase. Continuând încălzirea sursei, culoarea devine succesiv roșu-aprins, portocaliu, galben, alb. Diferitele lungimi de undă emise în spectrul vizibil se adăuionează pentru a da culoarea albă. Becurile cu incandescență au un filament de tungsten încălzit la cca. 2000 °C. O mare parte a energiei emise se situează în infraroșu și ca o consecință, randamentul luminos (în spectrul vizibil) nu este bun.

Din analiza celor prezentate anterior se desprind următoarele concluzii:

- Corpul negru este un obiect teoretic perfect absorbant și emițător.
- Legea lui Planck descrie emisia radiantă a corpului negru.
- Oricare ar fi lungimea de undă, emisia radiantă crește odată cu temperatura.
- Lungimea de undă a maximului emisiei radiante descrește cu creșterea temperaturii.

## 2.3 Corpul real

Obiectele reale se disting de corpul negru ideal prin faptul că ele emit un flux de radiație inferior celui emis de corpul negru, oricare ar fi temperatura și lungimea de undă.

a) În condițiile reale, nu se dispune decât de corpuri termoradiante. Corpul de referință pentru încercările de laborator constă dintr-o cavitate în care se poate regla temperatura. Corpurile termoradiante se caracterizează prin următoarele caracteristici:

- gama de temperatură acoperită;
- incertitudinea valorii de temperatură afișate;
- emisivitatea spectrală;
- uniformitatea temperaturii;
- timpul de stabilizare în temperatură.

b) Corpurile reale prezintă proprietăți radiative descrise de următorii factori: *emisivitatea, factorul de reflexie, factorul de absorbție, factorul de transmisie.*

*Emisivitatea* unui obiect real este un factor de comparație a emisiilor radiante ale acestui obiect real și ale corpului negru, amplasate în aceleași condiții și aceeași temperatură, conform celor reprezentate în Figura 6.

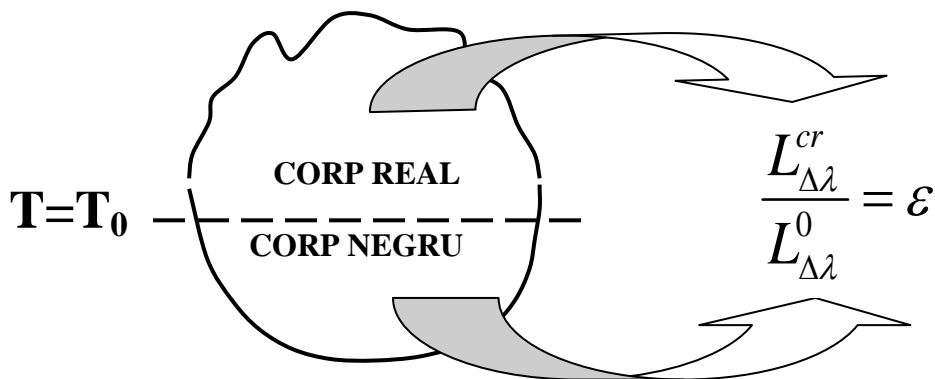
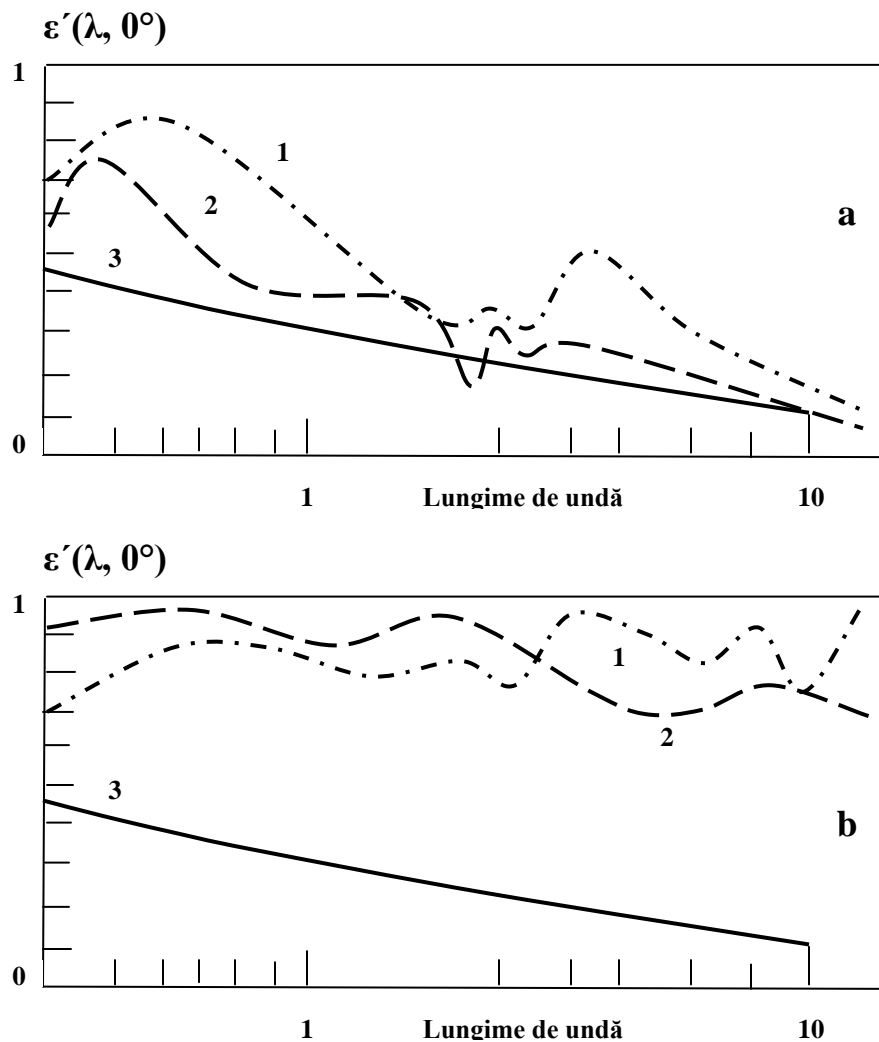


Figura 6 Definirea emisivității

Emisivitatea ia valori variabile în funcție de *natura materialului și starea suprafeței acestuia*. Astfel, cu cât suprafața este mai rugoasă sau oxidată și emisivitatea are șansa de a fi mai ridicată (fiecare microporozitate a suprafeței reprezintă un micro-corp quasi-negru). Materialele conductoare au emisivitate mai redusă și aceasta se diminuează accentuat cu creșterea lungimii de undă, cu condiția ca suprafața să nu oxideze. În Figura 7 este reprezentată emisivitatea spectrală normală pentru oțel și fier, încălzite la diferite temperaturi timp de 9 ore, precum și pentru suprafețe netede neoxidate. Materialele izolante au o emisivitate mai ridicată și suferă variații importante cu lungimea de undă.

*Lungimea de undă* – când emisivitatea unui corp nu variază cu lungimea de undă, se spune că acesta este *corp gri*. Când emisivitatea unui corp variază cu lungimea de undă, acesta este *corp selectiv*. Variația emisivității în funcție de lungimea de undă este reprezentată în Figura 8.



**Figura 7** Emisivitatea spectrală normală a metalelor: a) oțel inox 304; b) fier;  
Curba 1 – încălzit la 600 °C timp de 9 ore; Curba 2 – încălzit la 400 °C timp de 9 ore;  
Curba 3 – suprafața netedă neoxidată



În radiotermometrie și în termografie se adoptă ipoteza că obiectul observat se comportă ca un corp gri în banda spectrală utilizată. Acest lucru este necesar pentru că răspunsul spectral al instrumentului de măsură nu este constant în cazul unei măsurii efective, ipoteza de corp gri este cea care permite determinarea temperaturii reale (adevărate).

*Direcția de emisie* – similar unei antene de emisie, direcția de emisie privilegiată este normală la suprafața emițătoare. Variația emisivității cu unghiul de observație este redată în Figura 9.

Pentru unghiuri de observație mai mici de  $45^\circ$ , emisivitatea variază puțin pentru un material izolant, pe când pentru unghiuri mai mari de  $60^\circ$ , variația emisivității este semnificativă.

*În radiotermometrie și termografie în infraroșu se va avea grijă ca unghiul de observare a scenei termice de către instrumentul utilizat să nu depășească  $45^\circ$ – $60^\circ$ .*

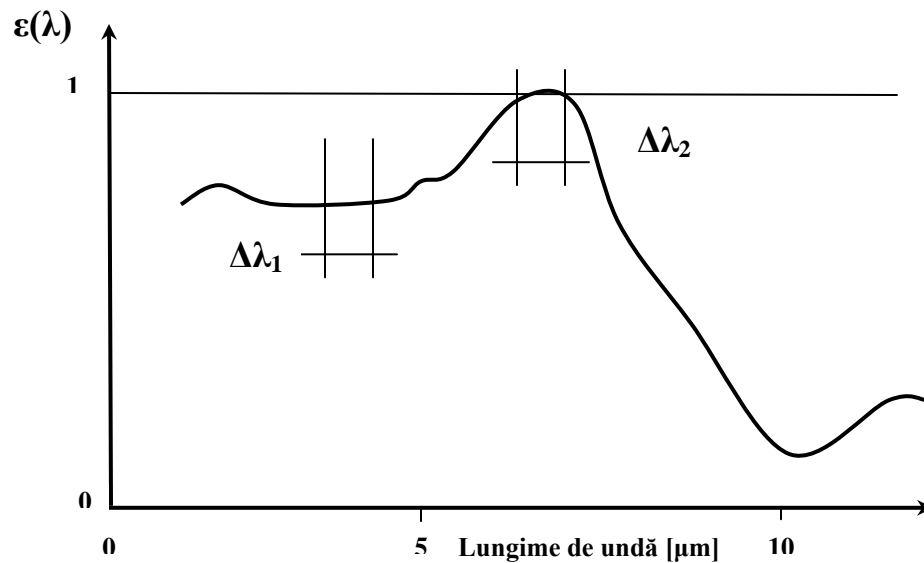
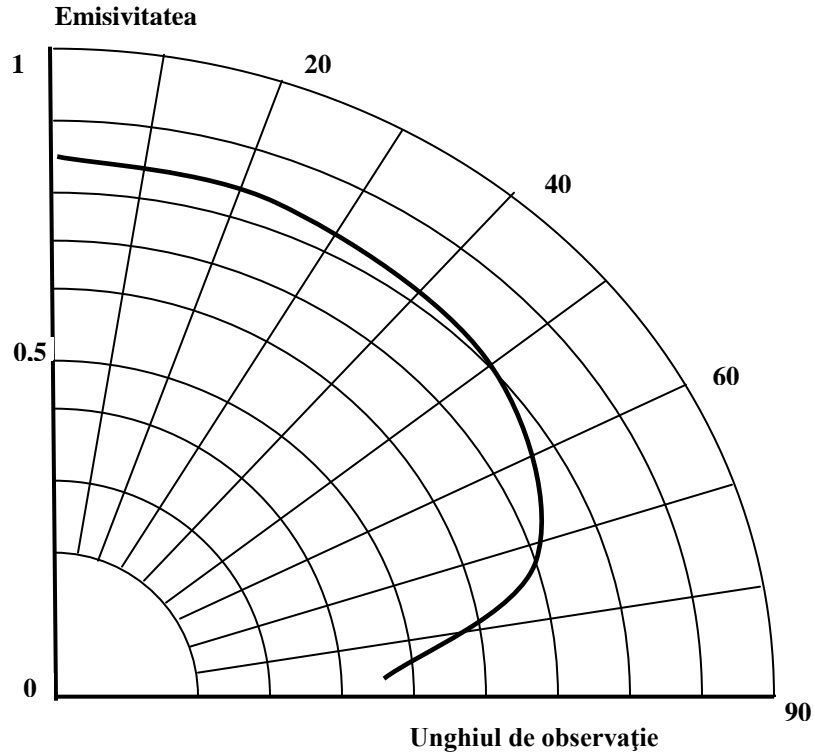


Figura 8 Variația emisivității în funcție de lungimea de undă

### *Efectul de orizont*

Diminuarea emisivității pentru un unghi de observație apropiat de  $90^\circ$  produce un „efect de orizont”. Un obiect de temperatură omogenă, plasat pe un fond de temperatură mai joasă, prezintă un contur de emisivitate mai redusă. În această situație, emisia radiantă a acestui contur ia o valoare intermediară între emisia radiantă a fondului și cea a obiectului. Utilizarea funcției „*Isoterm*” a sistemului de termografie folosit permite vizualizarea acestui contur similar modului cum un observator scrutează orizontul.

*Temperatura materialului* – această variație se datorează modificării induse de temperatură a stării suprafeței corpului. De reținut faptul că emisivitatea variază lent cu temperatura.



**Figura 9** *Variația emisivității în funcție de unghiul de observație*

Măsurarea practică a emisivității unui material, pentru o temperatură dată, presupune utilizarea de dispozitive speciale și condiții de laborator. Metode practice pentru evitarea măsurării emisivității materialului sunt următoarele:

➤ Creșterea emisivității materialului

Această metodă, clasică în termografia în infraroșu, constă în a acoperi suprafața materialului cu un alt material de emisivitate ridicată și cunoscută. În acest scop, se pot utiliza:

- Hârtie autocolantă de grosime suficientă, cu emisivitate în apropiere de 0,9.
- Vopsea mată; vopseaua și grosimea stratului depinde de lungimea de undă a instrumentului utilizat. De exemplu, o emisivitate de 0,9 pentru  $\lambda=3...5 \mu\text{m}$  se obține pentru un strat cu grosime de  $10\div 15 \mu\text{m}$ .
- Suspensie de cărbune pulverizată – aplicabilă materialelor cu temperaturi ridicate.

➤ Măsurarea intensității radiației emise de material pentru mai multe lungimi de undă, pirometria bicromatică sau bicoloră fiind un exemplu clasic. Cu astfel de pirometre se măsoară temperaturi mai mari de 250 °C.

### ***Factorul de reflexie pentru materialele opace***

Legea reflexiei menționează că unghiul de reflexie este egal cu unghiul de incidență și este valabilă pentru materiale cu o suprafață tip oglindă. Acest tip de reflexie se numește reflexie-oglindă și este un caz particular. În general, reflexia este de tip difuz, radiația incidentă fiind reflectată în tot semispațiul definit de suprafața reflectantă.

### ***Factorul spectral de absorbție***

Când pe un element de suprafață  $dS$  a unui material considerat opac se primește un flux de radiație, o parte a acestui flux intră în material și este absorbit de acesta. Între acești doi factori se poate scrie următoarea relație:

$$a + r = 1 \quad (4)$$

unde  $a$  reprezintă factorul de absorbție, iar  $r$  factorul de reflexie.

De remarcat faptul că pot exista dificultăți la măsurători dacă elemente de suprafață ale scenei termice „luminează” alte elemente  $dS$  ale acestei scene termice, aparținând unor obiecte cu suprafață concavă. Este necesară o simplificare a procedurii de măsură pentru a se lua în considerație radiațiile mediului care se reflectă pe elementul de suprafață  $dS$ . Simplificarea constă în a uniformiza temperatura acestui mediu, numită *temperatură ambientală*,  $T_e$ , în tot semi-spațiul văzut de elementul  $dS$ .  $T_e$  se consideră a fi temperatura obiectelor compacte situate în semi-spațiu și nu a atmosferei. În cazul reflexiilor multiple, dacă ambientul scenei termice nu prezintă o emisivitate ridicată, acesta poate reflecta radiațiile ce provin de pe scena termică. Pentru a evita astfel de situații care pot falsifica rezultatele măsurătorilor, este necesar ca ambientul scenei termice observate să se afle în următoarele situații:

- la temperatură uniformă;
- la temperatură mai joasă decât scena termică observată;
- la emisivitate ridicată;
- cu reflexie tip difuz.

### ***Factorul de transmisie***

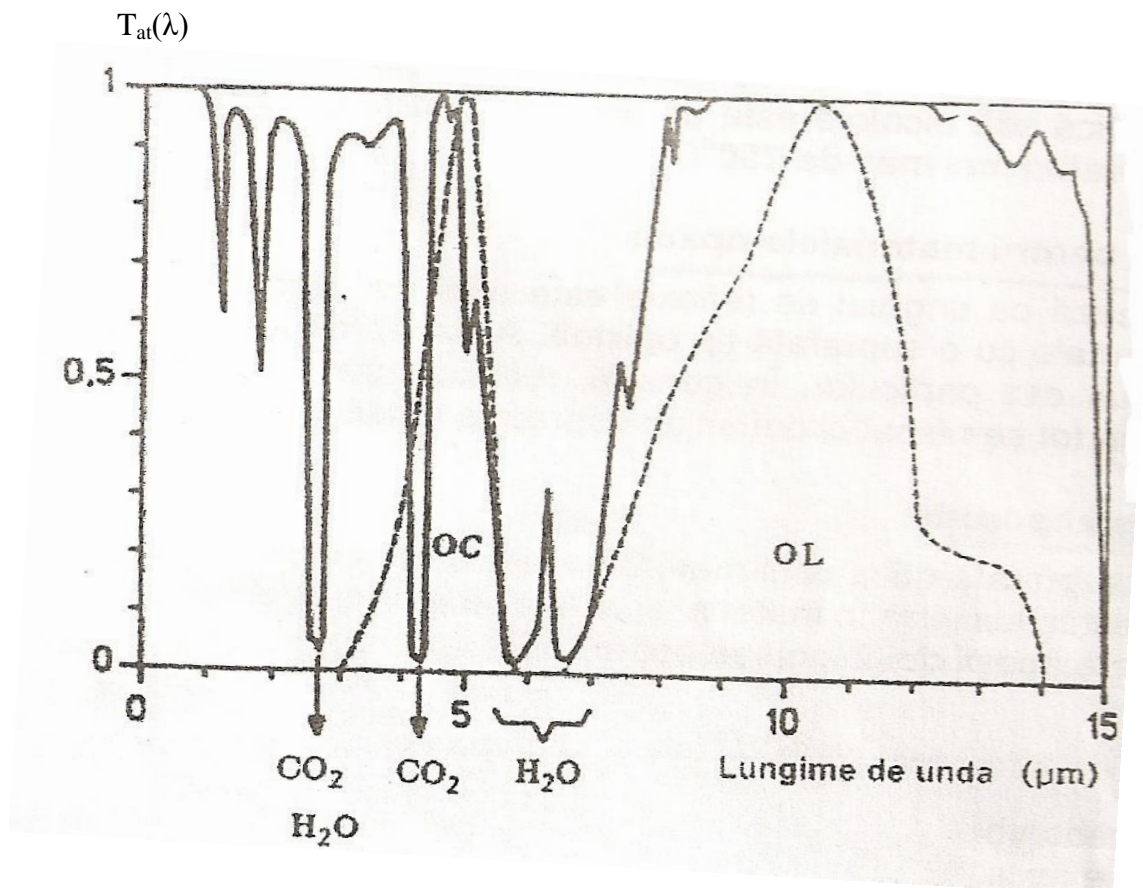
Acest factor se definește ca fiind raportul dintre fluxul radiant transmis prin obiect și fluxul radiant incident. În cazul în care obiectul posedă o suprafață de intrare și una de ieșire, factorul de transmisie se definește ca *factor de transmisie externă*. Când se consideră transmisia fluxului radiant

în mediu delimitat sau nu de plane de separație (intrare și ieșire), se definește *factorul de transmisie internă*.

### *Factorul de transmisie atmosferică*

Acest factor constituie un caz particular important pentru factorul de transmisie internă. În Figura 10 este prezentată variația factorului de transmisie a unei grosimi de 30 m de atmosferă, în funcție de lungimea de undă.

Moleculele de  $\text{CO}_2$  și  $\text{H}_2\text{O}$  din atmosferă absorb radiațiile de anumite lungimi de undă provenite de pe scena termică.



**Figura 10** Variația factorului de transmisie a unei grosimi de 30 m de atmosferă, în funcție de lungimea de undă

Din punct de vedere practic, pot fi precizate următoarele obiective:

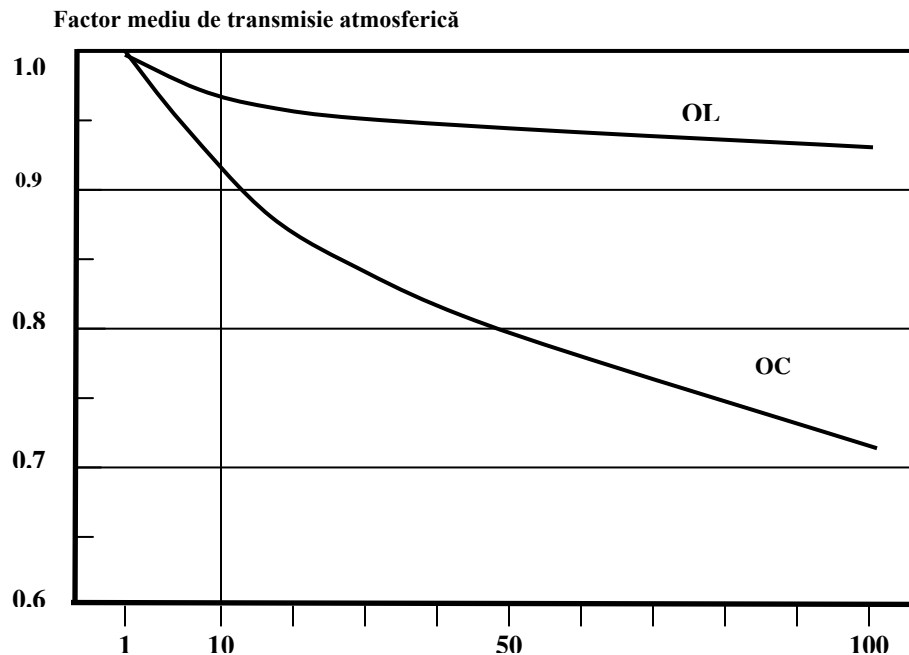
- Anumite benzi spectrale trebuie evitate, și anume:
  - 2,5 ÷ 2,8  $\mu\text{m}$ : absorbție de către moleculele de  $\text{CO}_2$  și  $\text{H}_2\text{O}$ ;
  - 4,2 ÷ 4,4  $\mu\text{m}$ : absorbție de către moleculele de  $\text{CO}_2$ ;

- 5,5 ÷ 7,3  $\mu\text{m}$ : absorbție de către moleculele de  $\text{H}_2\text{O}$ ;
- peste 14,2  $\mu\text{m}$ : absorbție de către moleculele de  $\text{CO}_2$  și  $\text{H}_2\text{O}$ ;

În aceste benzi, atmosfera este mai mult sau mai puțin opacă, în funcție de compoziție și distanță.

- Alte benzi spectrale sunt numite ferestre de transmisie atmosferică, în care factorul de transmisie depinde de distanța de măsură, concentrația de gaze și temperatură.
- Limitele benzilor interzise sau ale ferestrelor variază cu distanța de măsură și temperatură.
- Ferestrele de transmisie pot conține benzi interzise.
- Aplicațiile industriale iau în considerare foarte rar problemele complexe ale factorului de transmisie atmosferică. De regulă, în practică, se definește un factor mediu de transmisie atmosferică în benzile spectrale de funcționare ale aparatelor. Acest factor depinde doar de distanța de măsură, pentru o atmosferă cu compoziție standard.

Variația *factorului mediu de transmisie atmosferică* în funcție de distanță, pentru camere IR cu unde scurte (OC) și unde lungi (OL), este prezentată în Figura 11.



**Figura 11** Factorul mediu de transmisie atmosferică în funcție de distanța pentru camere IR cu unde scurte (OC) și unde lungi (OL)

Adoptarea acestei simplificări implică mai multe restricții și anume:

- obiectul observat se comportă ca un corp gri în banda spectrală de analiză;
- distanța de măsură nu este foarte importantă în ideea de a menține factorul mediu de transmisie la o valoare ridicată;
- atmosfera se presupune omogenă în profunzime și similară atmosferei standard.

Constructorii de echipamente în infraroșu au realizat și consacrat două benzi spectrale, devenite clasice și anume:

- undele scurte – 3...5,5  $\mu\text{m}$  sau 2....5,5  $\mu\text{m}$  (bandă largă);
- undele lungi – 8...12  $\mu\text{m}$  sau 7.... 14  $\mu\text{m}$  (bandă largă).

### **Factorul de transmisie externă**

Acest factor ia în considerare factorul spectral de reflexie pe fiecare din cele două suprafețe de separație. Obiectele semi-transparente, limitate de două suprafețe, sunt utilizate mai ales în optică, sub formă de lentile, prisme, lame, filtre, ferestre de protecție.

Conform celor menționate, se desprind următoarele observații practice:

- În cazul general, se va urmări creșterea *factorului de transmisie externă* pentru a transmite un maxim de radiație într-o bandă spectrală dată, prin următoarele mijloace:
  - utilizarea materialelor cu factor de transmisie intern ridicat;
  - diminuarea factorului de reflexie a suprafețelor de separație.
- În cazuri particulare, care vizează anumite filtre, se urmărește diminuarea factorului de transmisie internă, pentru atenuarea radiației transmise – cazul filtrelor atenuatoare.

Pe baza celor precizate, rezultă că, în termografia în infraroșu generală, se vor considera numai obiectele opace pentru lungimile de undă utilizate. Astfel, se va lua în considerare doar factorul de transmisie a mediului intermediar între scena termică și instrumentul de măsură, care poate fi lentilă sau atmosfera.

## **2.4 Radiometru**

### **2.4.1 Introducere**

Într-un radiometru, mărimea de intrare este constituită din fluxul de radiație, iar la ieșire este afișată o mărime radiometrică, care poate fi o tensiune, în volți sau un curent, în miliamperi. Schema de principiu a unui radiometru este prezentată în Figura 12.



Figura 12 Schema de principiu a unui radiometru

Relația între distanța obiect-radiometru și mărimea suprafeței observate a obiectului este reprezentată în Figura 13.

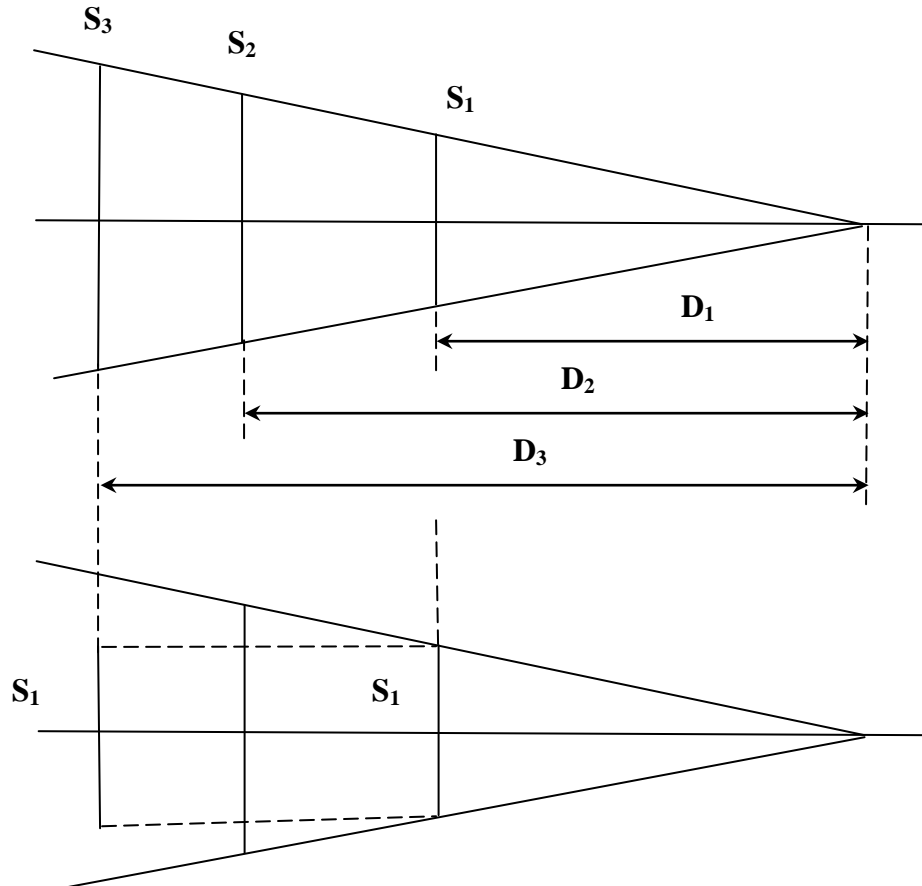


Figura 13 Dependența între distanța obiect-radiometru și mărimea suprafeței observate a obiectului

În ipoteza că receptorul  $R$  detectează integral fluxul radiant  $\Phi_\lambda$ , la ieșire va exista un semnal de forma următoare:

$$V = K\Phi_\lambda = K' L\lambda \quad (5)$$

iar pentru ca radiometrul să măsoare intensitatea radiației, trebuie să fie îndeplinită următoarea condiție:

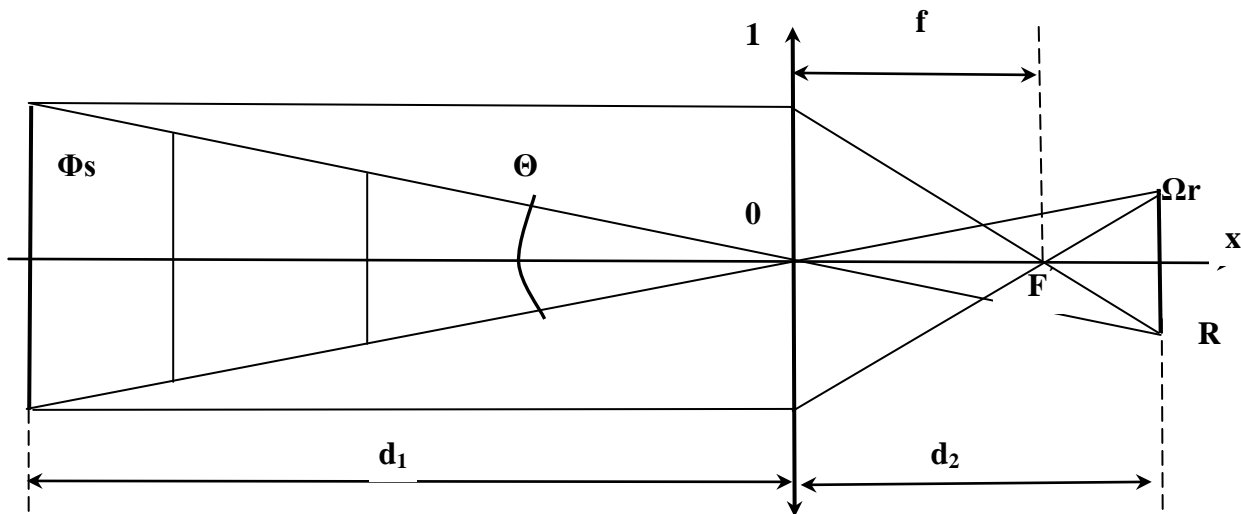
$$K' = ct. \text{ sau } \Omega = \frac{S}{D} \cdot 10^2 \quad (6)$$

unde  $\Omega$  reprezintă unghiul solid.

Radiometrul este instrumentul care definește dimensiunea suprafeței  $S$  observate, pentru o distanță dată și, în același timp, un concentrator de radiație.

## 2.4.2 Optica geometrică a radiometrului

În mod simplificat, radiometrul este constituit dintr-o lentilă  $I$  convergentă, având distanța focală  $f = OF'$ , ce formează imaginea sursei de radiație  $S$  pe detectorul  $R$ , conform schemei optice reprezentate în Figura 14.



**Figura 14 Radiometru – schema optică**

Dacă se presupune că receptorul  $R$  este un disc de diametru  $r$ , imaginea sa inversă este sursa  $S$  de diametru  $s$ . În acest sens, în optică sunt definite următoarele noțiuni:

- mărirea transversală:

$$v = \frac{r}{s} = \frac{d_2}{d_1};$$

- unghiurile solide:

$$\frac{S}{R} = \frac{d_1^2}{d_2^2} = \frac{s^2}{r^2} = \frac{1}{v^2};$$

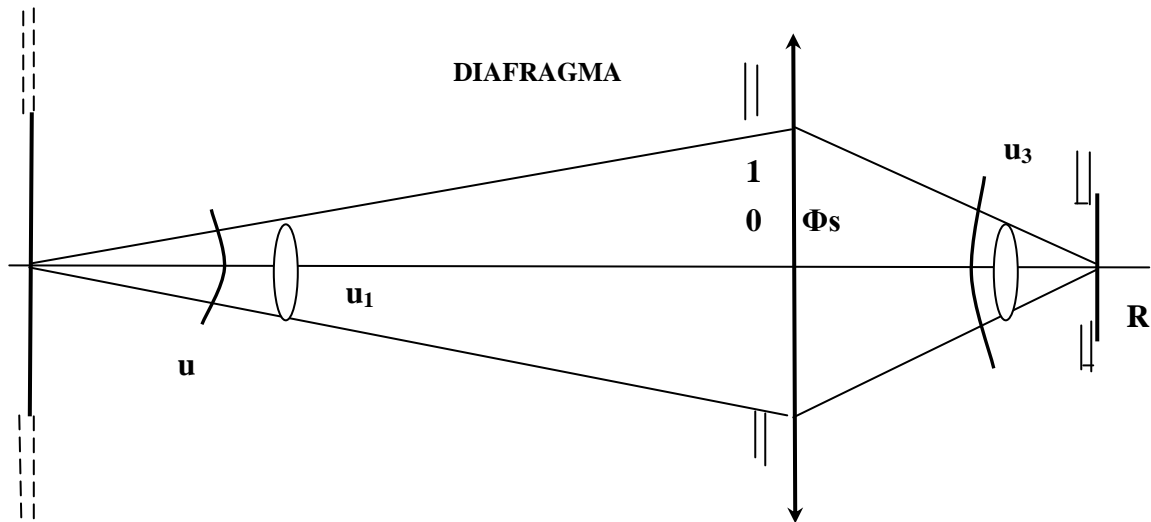
- pozițiile planelor  $S$  și  $R$ :

$$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_1} = \frac{1}{f};$$

Focalizarea radiometrului pe  $S$  se obține prin variația distanței  $d_2$ ; prin construcție se asigură că  $d_2 \geq f$ . Când  $d_2 = f$ , sursa este la distanță infinită de  $R$ . În realitate, receptorul  $R$ , geometric, nu



este circular, ci pătrat. Pentru realizarea simetriei de revoluție se utilizează diafragma de deschidere, conform celor reprezentate în Figura 15.



**Figura 15 Radiometru – utilizarea diafragmei**

Raportul  $N = f/a$  se numește *indice de diafragmă al radiometrului*. Diafragma servește la limitarea fluxului radiant incident pe detector și astfel, permite adaptarea radiometrului la gama de măsură corespunzătoare, în scopul evitării saturării detectorului.

*Unghiul de observație* este unghiul sub care se vede  $S$  de la intrarea radiometrului; acest parametru este indicat de producător.

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

#### 3.1 Generalități

*Termografia* este disciplina care studiază măsurarea de la distanță a temperaturii suprafețelor corpurilor. Toate corpurile au o imagine termică, regiunile „calde”, respectiv cele „rece” ale acestora, emițând radiație în infraroșu, detectată de traductoare specializate. În spectrul electromagnetic, domeniul radiației în infraroșu este cuprins în intervalul  $0.7...100\mu\text{m}$  și se divide în patru subdomenii:

- infraroșu inferior  $0.7...2.4\ \mu\text{m}$ ;
- infraroșu mediu  $2.4...5\ \mu\text{m}$ ;
- infraroșu superior  $6...15\ \mu\text{m}$ ;
- infraroșu extrem  $15...100\ \mu\text{m}$ .

De menționat că, în cazul instrumentelor de măsură în infraroșu, cele mai utilizate intervale de lungimi de undă sunt  $2-5\ \mu\text{m}$  și  $7-12\ \mu\text{m}$ . Termografia în infraroșu are un caracter pluridisciplinar, implicând noțiuni din următoarele domenii:

- tehnica măsurării;
- fizica radiațiilor;
- optică;
- termotehnică;
- electronică analogică și digitală;
- prelucrare semnale electrice;
- programare.

### 3.2 Aplicații ale termografiei

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). Datele de exploatare arată o reducere de cel puțin 10 ori a avariilor generate de contacte imperfecte.
- 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.

### 3.3 Beneficii ale utilizării termografiei în infraroșu

- Durata redusă de amortizare a investiției prin identificarea unor potențiale defecte care nu s-ar evidenția decât la avarii. Datele furnizate de firmele care oferă astfel de servicii menționează coeficienții de revenire a investiției în programe de mentenanță, utilizând termografia în infraroșu, situați în intervalul 500...1100 %.
- Reducerea substanțială a costurilor de mentenanță datorită diminuării timpilor de revizie planificați, prin detectarea și localizarea defectelor în stare incipientă.
- Creșterea siguranței în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor prin micșorarea întreruperilor neplanificate (avariilor).
- Creșterea indicatorilor de siguranță în funcționare a instalațiilor de producere, transport și distribuție a energiei electrice.

### 3.4 Elemente de influență asupra rezultatelor controlului prin termografie în infraroșu

- **Calificarea și experiența operatorului uman**

În acest scop, se impune exigență și rigoare în formarea profesională a operatorului uman și un minim de experiență practică.

- **Instrumentul radiometric**

Este necesară cunoașterea temeinică a caracteristicilor funcționale ale instrumentului de lucru, inclusiv a limitelor acestuia.

- **Procedurile de inspecție**

În momentul actual nu există o standardizare a procedurilor de control prin termoviziune. Sunt operative recomandările elaborate de instituțiile de standardizare – National Electrical Testing Association (NETA), MIL Standards, American Society for Nondestructive Testing – și firme de consultanță și training în domeniu. Recomandările privind nivelul criteriilor de acceptare implică în mod considerabil și experiența operatorului uman.

De exemplu, pentru activitatea de mentenanță este necesară o sarcină de 10 % din sarcina nominală a instalației, iar pentru acceptare la recepție o încărcare de 40 % din sarcina nominală.

- **Condițiile de mediu**

Factorii de influență sunt următorii:

- variații în temperatura ambientului;
- răcire prin convecție – vânt sau curenți de aer;
- încălzire solară a componentelor electrice;
- răcire prin evaporare datorată umezelii la suprafața observată.

- **Echipamentele inspectate**

Factorii de influență sunt prezentați după cum urmează:

- necorelare între datele măsurărilor suprafeței observate și starea termică reală în zona de contact;
- variația transferului de căldură cu geometria și masa reperului observat;
- natura materialului;
- emisivitatea redusă a suprafețelor unor componente;
- legătura între sarcina electrică a circuitului și temperatura contactelor.

- **Rata de defectare**

Relația între temperatura crescută a unor componente și procesul de defectare este complexă, modelarea matematică a acesteia fiind extrem de dificilă. Modurile posibile de defectare a echipamentelor electrice constau din:

- topire;
- călire.

Trebuie menționat faptul că rezistența electrică și oxidarea contactelor depind de temperatură, după legi mai puțin riguroase.

### 3.5 Limite ale metodei și aparaturii

Instrumentele de măsură în infraroșu constituie un mijloc de control deosebit de puternic în activitatea de mentenanță a echipamentelor electrice, dar trebuie menționate și limitele necesare a fi luate în considerare de către personalul de mentenanță, cum ar fi:

- *Instrumentele nu măsoară temperatura!* Acestea măsoară radiația în infraroșu care, corectată, poate da o temperatură aparentă. În condiții reale de măsură, o corecție de precizie repetabilă este practic imposibilă pentru orice material radiant, cum sunt metalele din componența echipamentelor electrice.
- Instrumentele termografice furnizează informații numai despre temperatura de suprafață și nu despre maximumul acesteia în zona afectată.
- Energia termică emisă la locul de defect variază cu pătratul sarcinii vehiculate prin acea cale de curent. Fără informații despre sarcina vehiculată în momentul măsurării și predicția evoluției acesteia, termograma își pierde substanțial din informație.
- Cu cât crește temperatura aerului, crește și frecvența incidentelor. Dacă inspecțiile vor fi efectuate pe timp rece, este posibil ca informația oferită de termogramă să fie subestimată.
- Condițiile de mediu ca praful, vibrațiile și sarcinile ciclice influențează rata de defectare. De exemplu, temperatura unei cleme, într-o stație exterioară, poate fi redusă până la 50 % de vânt, cu viteza de 30 km/h.
- Degradarea componentelor electrice urmează în timp, extrem de rar, o lege de variație liniară. Defectul poate apărea uneori după o supratensiune, o creștere de sarcină, o creștere a nivelului de vibrații sau o schimbare în condițiile de mediu.

- O creștere de temperatură pentru un echipament inspectat poate indica o tendință de defectare cu o evoluție nu neapărat liniară. Practic, anomaliile care pot conduce la efecte nedorite în instalații trebuie imediat remediate.
- Când se controlează un echipament electric, modul de analiză indicat este prin compararea temperaturilor pe cele trei faze; localizarea defectului se face prin utilizarea temperaturii relative.
- Tranziția de la aprecierea calitativă a termogramei la apreciere cantitativă este o problemă extrem de delicată și presupune acordarea unei atenții deosebite metodei de lucru.

### **3.6 Posibile soluții pentru diminuarea gradului de incertitudine în diagnosticarea stării instalațiilor, utilizând termografia în infraroșu.**

- **Stabilirea unor relații de acuratețe ridicată**
  - Între sarcină și temperatură;
  - Între modificările de mediu și temperatura măsurată, absolut și diferențial;
  - Între temperatură și durata remanentă de viață a echipamentelor.
- **Inițierea de acțiuni specifice pentru creșterea gradului de încredere în rezultatele inspecțiilor prin termoviziune.**
  - Adoptarea unor standarde privind calificarea personalului;
  - Dezvoltarea unor proceduri standard de colectare a datelor și raportare, adecvate instalațiilor inspectate.
- **Dezvoltarea unor termograme-standard** de referință pentru instalațiile inspectate.
- **Stabilirea unor proceduri sigure de creștere a emisivității** la manufacturarea sau instalarea echipamentelor.
- **Dezvoltarea procedurilor privind stabilirea priorităților în reparații** prin considerarea, într-o relație de ponderare, a unor coeficienți: de siguranță, de stare critică, de costuri, de informație istorică, de tendință, de temperatură, de disponibilitate, de sarcină.

Pentru exemplificare, în tabelul următor este prezentată o ierarhizare a intervențiilor, precum și o clasificare a defectelor.

Clasificare defect	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ fază-fază	Comentarii
Minor	1 ÷ 10	Probabilitate redusă de defect Reparație conform planificării
Mediu	10 ÷ 30	Probabilitate de defectare crescută a reperului Reparație în 2÷4 săptămâni
Serios	30 ÷ 70	Reparație în 1÷2 zile; înlocuire reper și verificare reperi învecinate
Critic	> 70	Reparație imediată; verificare echipament după reparație

### 3.7 Etape în definirea unui program de mentenanță predictivă

- **Elaborarea managementului programului:**
  - definirea necesității și scopului programului;
  - dezvoltarea planului de management;
  - stabilirea etapelor de implementare a programului;
  - instituirea unor criterii de evaluare a implementării programului.
- **Pregătirea personalului**
  - desemnarea echipei;
  - definirea atribuțiilor membrilor echipei;
  - însușirea de către echipă a obiectivelor programului;
  - elaborarea și desfășurarea de programe de formare profesională.
- **Dezvoltarea procedurilor operaționale, incluzând:**
  - stabilirea procedurilor de control;
  - definirea condițiilor de control;
  - stabilirea listei echipamentelor de inspectat;
  - stabilirea traseelor și a frecvenței controalelor.
- **Stabilirea programului de control propriu-zis:**
  - crearea formelor și procedurilor de comunicare, incluzând definirea tipurilor de inspecții:
    - de rutină, periodică, inspecție unică;
    - după instalarea echipamentului sau modificări ale acestuia.
  - colectarea datelor în faza preliminară inspecției:
    - cu camera în infraroșu.
  - proiectarea și elaborarea rapoartelor de defect;
  - stabilirea procedurilor de urmărire a programului, incluzând:

- transmitere de rapoarte la departamentele interesate;
- notificarea defectelor pentru intervenții:
  - ✓ programarea inspecțiilor post-reparații;
  - ✓ cu camera *IR* sau piometre *IR*.
- notificarea defectelor minore pentru monitorizare;
- programarea inspecțiilor de monitorizare.

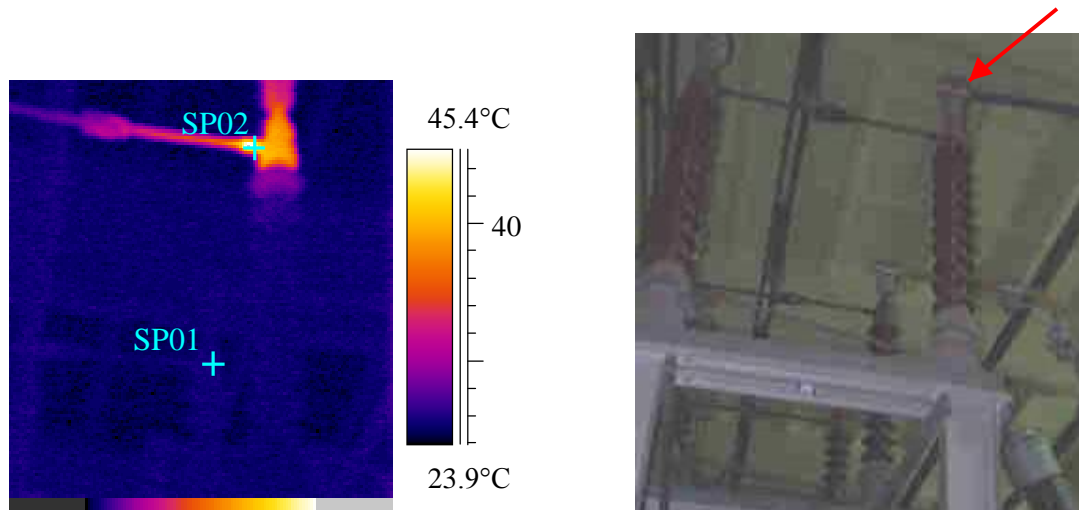


Figura 15

### COMENTARIU – RECOMANDĂRI

Echipament inspectat: SR 8, celula trafo 4

Locul defectului: SB, faza T – spre întrerupător

Temperatura de referință: 25,5 °C

Supratemperatura admisibilă: 30 °C

Temperatura măsurată: 44,6 °C

Supratemperatura reală: 19,1 °C

Curenți de sarcină măsurați: -

Curenți de sarcină maximi: 1,25 I

Supratemperatura corectată: 29.8 °C la creșterea sarcinii cu 25 %

Tipul intervenției: a) **la revizie planificată** pentru sarcina maximă egală cu sarcina din momentul controlului

b) **imediat** pentru creșterea sarcinii cu 25 %

Comentarii:

IR information	Value
Date of creation	24.09.2001
Time of creation	12:10:36
Object parameter	Value
Emissivity	0,70
Object distance	8,0 m
Ambient temperature	28,0 °C
Label	Value
SPO1	25,5 °C
SPO2	44,6 °C



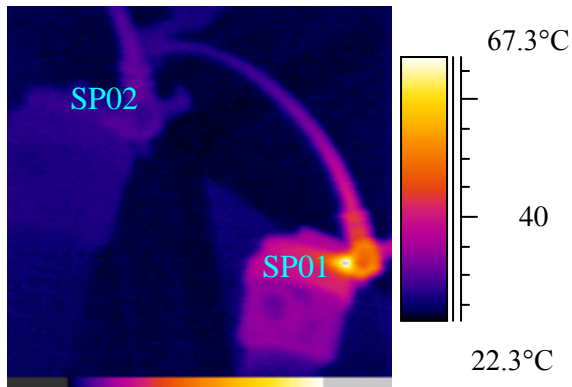


Figura 16

### COMENTARIU – RECOMANDĂRI

Echipament inspectat: celula CT4 (celula X17B),

SC1

Locul defectului: IO, faza R, conexiune spre separator bare

Temperatura de referință: 28,5 °C

Supratemperatura admisibilă: 30 °C

Temperatura măsurată: 69,2 °C

Supratemperatura reală: 40,7 °C

Curenți de sarcină mășurați: -

Curenți de sarcină maximi:

Supratemperatura corectată:

Tipul intervenției: **imediat**

Comentarii:

IR information	Value
Date of creation	6.12.2001
Time of creațion	11:52:03
Object parameter	Value
Emissivity	0,70
Object distance	6,0 m
Ambient temperature	28,0 °C
Label	Value
SPO1	69,2 °C
SPO2	28,5 °C

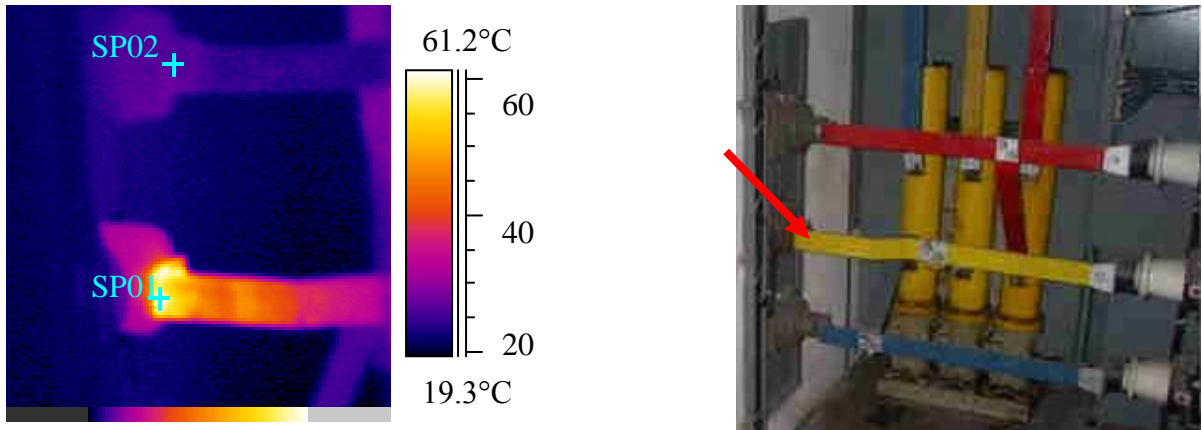


Figura 17

## COMENTARIU – RECOMANDĂRI

Echipament inspectat: motor1 CUAC, SRA 12

Locul defectului: celula 1.13, faza S, conexiune

bară - izolator de trecere

Temperatura de referință: 26,2 °C

Supratemperatura admisibilă: 30 °C

Temperatura măsurată: 61,3 °C

Supratemperatura reală: 35,1 °C

Curenți de sarcină mășurați: -

Curenți de sarcină maximi:

Supratemperatura corectată:

Tipul intervenției: **imediat**

Comentarii:

IR information	Value
Date of creation	6.12.2001
Time of creation	10:12:33
Object parameter	Value
Emissivity	0,70
Object distance	3,0 m
Ambient temperature	26,0 °C
Label	Value
SPO1	61,3 °C
SPO2	26,2 °C

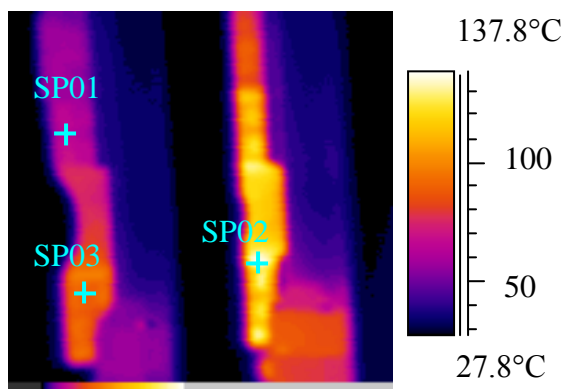


Figura 18

### COMENTARIII – RECOMANDĂRI

Echipament inspectat: [SRA 12](#)

Locul defectului: motor3, 9MW întrerupător DBq, fazele S,T

Temperatura de referință: 63,4 °C

Supratemperatura admisibilă: 30 °C

Temperatura măsurată: 136,4 °C(T) ; 89.1 (T)

Supratemperatura reală: 73 °C (T); 25.6 (S)

Curenți de sarcină mășurați: -

Curenți de sarcină maximi:

Supratemperatura corectată:

Tipul intervenției: **imediat**

Comentarii:

IR information	Value
Date of creation	6.12.2001
Time of creation	9:36:04
Object parameter	Value
Emissivity	0,70
Object distance	3,0 m
Ambient temperature	30,0 °C
Label	Value
SPO1	63,4 °C
SPO2	136,4 °C
SPO3	89,1 °C

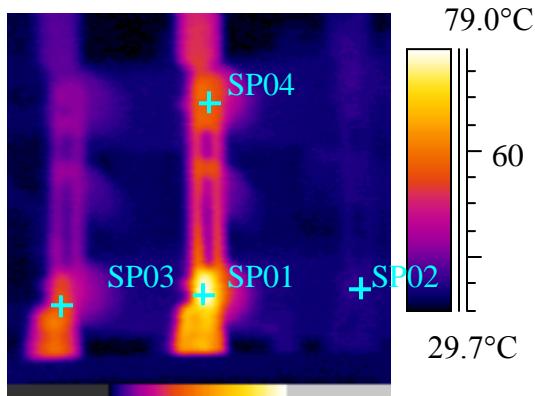


Figura 19



IR information	Value
Date of creation	6.11.2001
Time of creațion	2:16:02
Object parameter	Value
Emissivity	0,70
Object distance	3,0 m
Ambient temperature	28,0 °C
Label	Value
SPO1	79,3 °C
SPO2	35,7 °C
SPO3	56,5 °C
SPO4	56,9 °C

### COMENTARIU – RECOMANDĂRI

Echipament inspectat: **SMIC**

Locul defectului: celula D5, acționare principală, SB,  
fazele S, R

Temperatura de referință: 35,7 °C

Supratemperatura admisibilă: 30 °C

Temperatura măsurată: 79,3°C (S); 56.5 (R)

Supratemperatura reală: 43.6 °C(S); 20,8 (R)

Curenți de sarcină mășurați: -

Curenți de sarcină maximi:

Supratemperatura corectată:

Tipul intervenției: **imediat**

Comentarii:

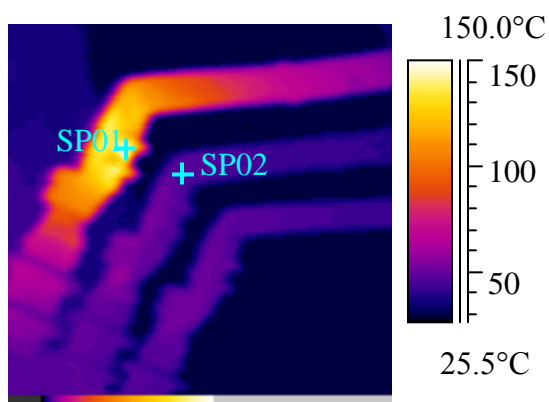


Figura 20

### COMENTARIU – RECOMANDĂRI

Echipament inspectat: [SRA 8, trafo 1](#)

Locul defectului: borna 10 kV

Temperatura de referință: 46,9 °C

Supratemperatura admisibilă: 30 °C

Temperatura măsurată: 151,1 °C

Supratemperatura reală: 104,2 °C

Curenți de sarcină mășurați: -

Curenți de sarcină maximi:

Supratemperatura corectată:

Tipul intervenției: **imediat**

Comentarii:

IR information	Value
Date of creation	6.11.2001
Time of creation	1:30:10
Object parameter	Value
Emissivity	0,70
Object distance	5,0 m
Ambient temperature	34,0 °C
Label	Value
SPO1	151,1 °C
SPO2	46,9 °C

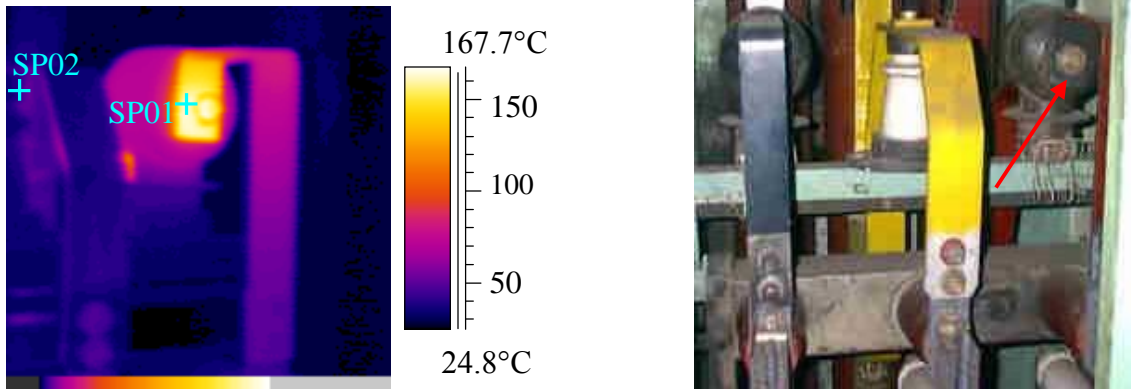


Figura 21

### COMENTARIU – RECOMANDĂRI

Echipament inspectat: [SRA 10, celula 31, ISUC2, PDC 10-7, F1](#)

Locul defectului: TC, racord faza R

Temperatura de referință: 41,1 °C

Supratemperatura admisibilă: 30 °C

Temperatura măsurată: 163,8 °C

Supratemperatura reală: 122,7 °C

Curenți de sarcină mășurați: -

Curenți de sarcină maximi:

Supratemperatura corectată:

Tipul intervenției: **imediat**

Comentarii:

IR information	Value
Date of creation	25.09.2001
Time of creation	09:19:46
Object parameter	Value
Emissivity	0,70
Object distance	2,0 m
Ambient temperature	28,0 °C
Label	Value
SPO1	163,8 °C
SPO2	41,1 °C

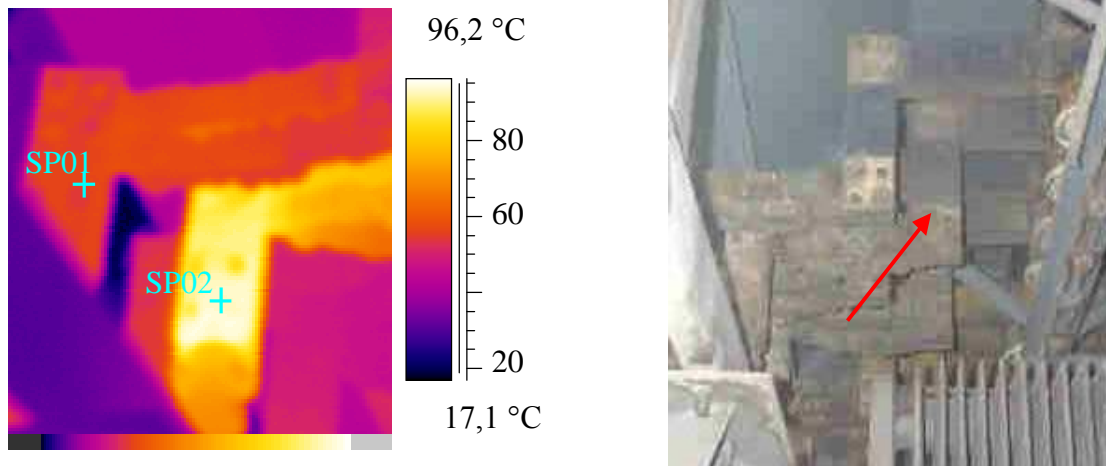


Figura 22

**COMENTARIU – RECOMANDĂRI**

Echipament inspectat: SRA 15, trafo4

Locul defectului: borne JT, faza T

Temperatura de referinta: 56,4°C

Supratemperatura admisibila: 30°C

Temperatura masurata: 93,6°C

Supratemperatura reala: 37,2°C

Curenti de sarcina masurati: -

Curenti de sarcina maximi:

Supratemperatura corectata:

Tipul interventiei: **imediat**

Comentarii: se corelează cu termograma din Figura 16

IR information	Value
Date of creation	25.09.2001
Time of creațion	10:40:35
Object parameter	Value
Emissivity	0,70
Object distance	3,0 m
Ambient temperature	26,0 °C
Label	Value
SPO1	56,4 °C
SPO2	93,6 °C

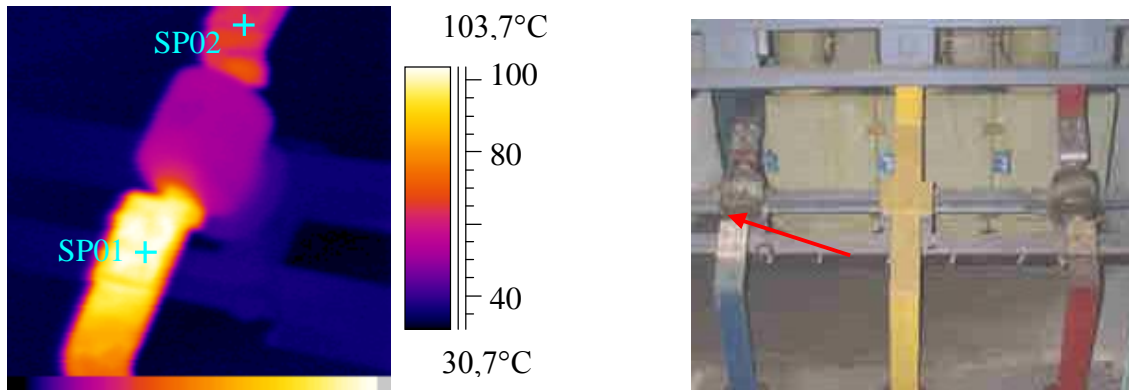


Figura 23

### COMENTARIU – RECOMANDĂRI

Echipament inspectat: SRA 12, celula 24, plecare B4

Locul defectului: TC, faza T

Temperatura de referință: 43,2 °C

Supratemperatura admisibilă: 30 °C

Temperatura măsurată: 102 °C

Supratemperatura reală: 58,8 °C

Curenți de sarcină mășurați: -

Curenți de sarcină maximi: pentru 12 MW

Supratemperatura corectată: 235,2°C la dublarea sarcinii

Tipul intervenției: **imediat**

Comentarii:

IR information	Value
Date of creation	25.09.2001
Time of creation	13:42:50
Object parameter	Value
Emissivity	0,70
Object distance	2,0 m
Ambient temperature	28,0 °C
Label	Value
SPO1	102,0 °C
SPO2	64,1 °C



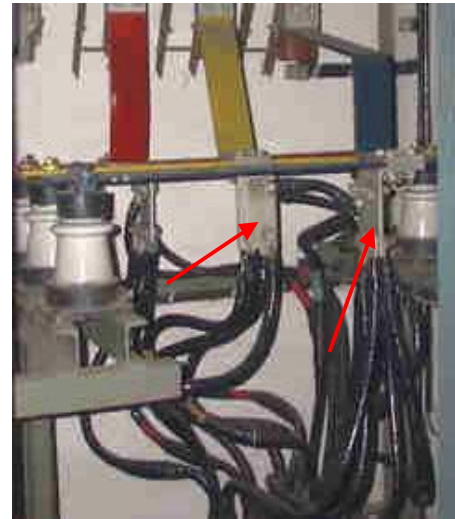
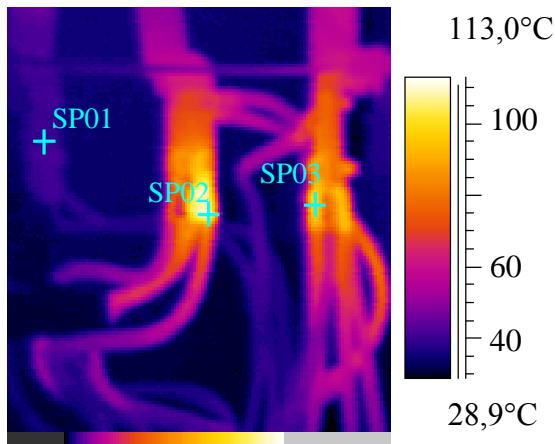


Figura 24

### COMENTARII – RECOMANDĂRI

Echipament inspectat: [SRA 12, celula reactanță, M4](#)

Locul defectului: cabluri plecare, fazele ST

Temperatura de referință: 40,1 °C

Supratemperatura admisibilă: 30 °C

Temperatura măsurată: 111,7 °C (S); 99,4 °C (T)

Supratemperatura reală: 71,6 °C (S); 59,3 °C (T)

Curenți de sarcină mășurați: -

Curenți de sarcină maximi:

Supratemperatura corectată:

Tipul intervenției: **imediat**

Comentarii:

IR information	Value
Date of creation	25.09.2001
Time of creation	13:50:38
Object parameter	Value
Emissivity	0,70
Object distance	2,0 m
Ambient temperature	28,0 °C
Label	Value
SPO1	40,1 °C
SPO2	111,7 °C
SPO3	99,4 °C

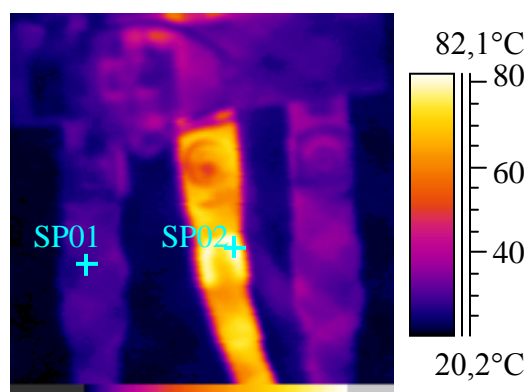


Figura 25

### COMENTARIU – RECOMANDĂRI

Echipament inspectat: stație 0,4 CET

Locul defectului: circuit alimentare pompa 38/4,  
releu termic borna ieșire, faza S

Temperatura de referință: 27,6 °C

Supratemperatura admisibilă: 30 °C

Temperatura măsurată: 82,1 °C

Supratemperatura reală: 54,5°C

Curenți de sarcină mășurați: -

Curenți de sarcină maximi: -

Supratemperatura corectată: -

Tipul intervenției: **imediat**

Comentarii:

IR information	Value
Date of creation	04.03.2001
Time of creation	3:59:21
Object parameter	Value
Emissivity	0,85
Object distance	1,0 m
Ambient temperature	20,0 °C
Label	Value
SPO1	27,6 °C
SPO2	82,1 °C

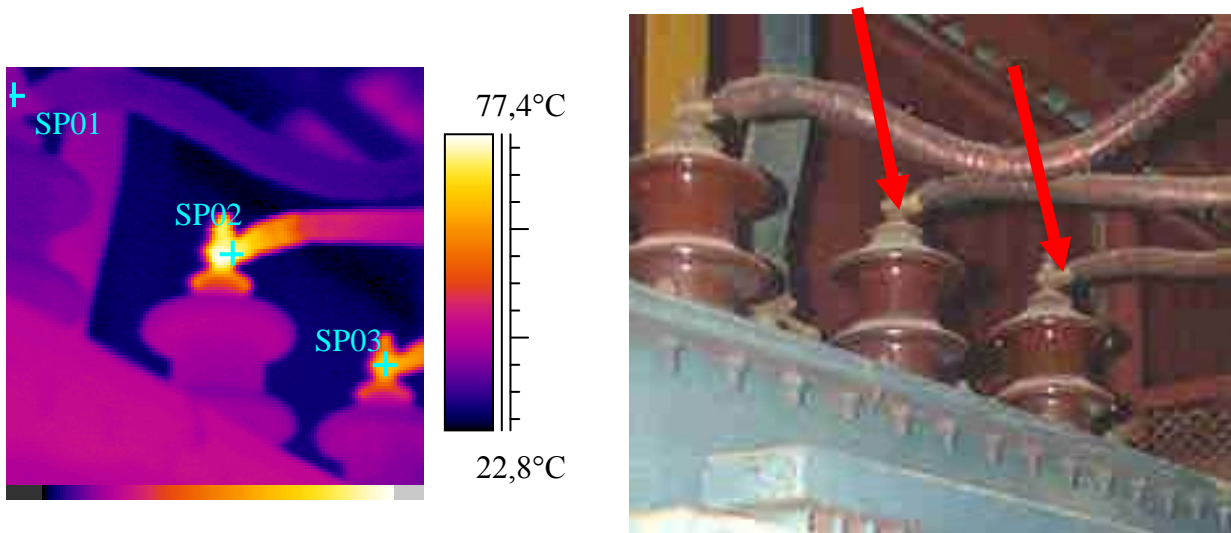


Figura 26

### COMENTARIU – RECOMANDĂRI

Echipament inspectat: PT 7, trafa1

Locul defectului: trafa1 ,borne MT, fazele S,T

Temperatura de referinta: 36°C

Supratemperatura admisibila: 30°C

Temperatura masurata: 77.5°C (S); 66°C(T)

Supratemperatura reala: 47.5°C (S); 30°C (T)

Curenti de sarcina masurati: -

Curenti de sarcina maximi: -

Supratemperatura corectata: -

Tipul interventiei: **imediat**

Comentarii:

IR information	Value
Date of creation	04.03.2001
Time of creation	04:43:53
Object parameter	Value
Emissivity	0,65
Object distance	8,0 m
Ambient temperature	15,0 °C
Label	Value
SPO1	36,0 °C
SPO2	77,5 °C
SPO3	66,0 °C

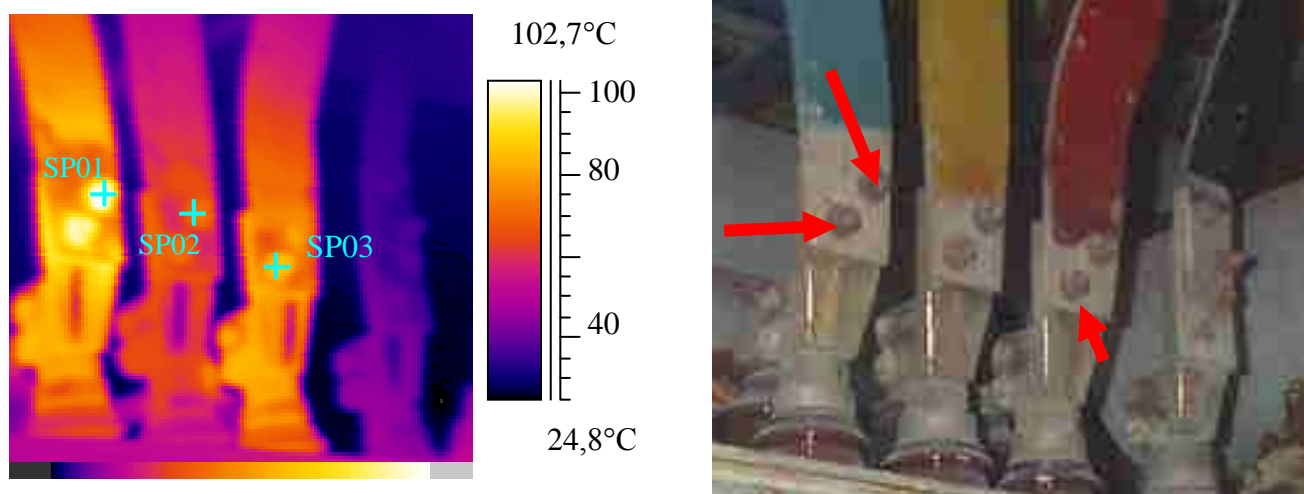


Figura 27

### COMENTARIU – RECOMANDĂRI

Echipament inspectat: PT7 ,trafo2

Locul defectului: borne JT, faza T

Temperatura de referinta: 72°C

Supratemperatura admisibila: 30°C

Temperatura masurata: 100.4°C (T); 86.3 (R);

Supratemperatura reala: 27,6°C (T); 14.3(R)

Curenti de sarcina masurati: -

Curenti de sarcina maximi: -

Supratemperatura corectata: 33.4°C la cresterea cu 10% a sarcinii

Tipul interventiei: **imediat**

Comentarii:

IR information	Value
Date of creation	04.03.2001
Time of creațion	04:54:40
Object parameter	Value
Emissivity	0,65
Object distance	8,0 m
Ambient temperature	15,0 °C
Label	Value
SPO1	100,4 °C
SPO2	72,0 °C
SPO3	86,3 °C

### 4. Modul de desfășurare a lucrării

- Studenții sau utilizatorii trebuie să certifice principiile fundamentale privind termografia în infraroșu, cadrul sinoptic general al termenilor relativ la termografie, mecanismele de transfer de energie prin radiație, factorii care influențează emisivitatea, precum și aspectele practice privind utilizarea termografiei în scopul monitorizării regimurilor termice ale instalațiilor din domeniul energetic, cum ar fi: controlul periodic preventiv al instalațiilor electrice pentru identificarea punctelor calde generate de conexiuni de rezistență mare, a împământărilor necorespunzătoare, a circuitelor electrice în care apar circulații anormale de puteri datorate dezechilibrelor sau suprasarcinilor etc.
- Sistemele moderne de termoviziune, pe lângă imaginea captată, afișează în plus și o analiză detaliată a hărții de temperaturi, precum și cuantificarea energiei termice, furnizând astfel o imagine clară asupra problemelor apărute în urma supraîncălzirilor. Pentru exemplificare, sunt prezentate în lucrare câteva exemple furnizate de sistemele de termoviziune în infraroșu, care conțin imaginea captată, harta de temperaturi, emisivitatea, distanța sistemului de termoviziune față de obiectul supravegheat, temperatura mediului ambiant, temperatura măsurată, temperatura de referință, cu ajutorul cărora utilizatorii au posibilitatea ierarhizării procedurilor pentru stabilirea priorităților în reparații.
- Pe baza aspectelor teoretice și a exemplelor de monitorizare indicate în lucrare, sunt prezentate în cele ce urmează o serie de informații complete, furnizate de un sistem de termoviziune, pe baza cărora utilizatorii trebuie să prezinte comentariile, respectiv recomandările privind echipamentul analizat.

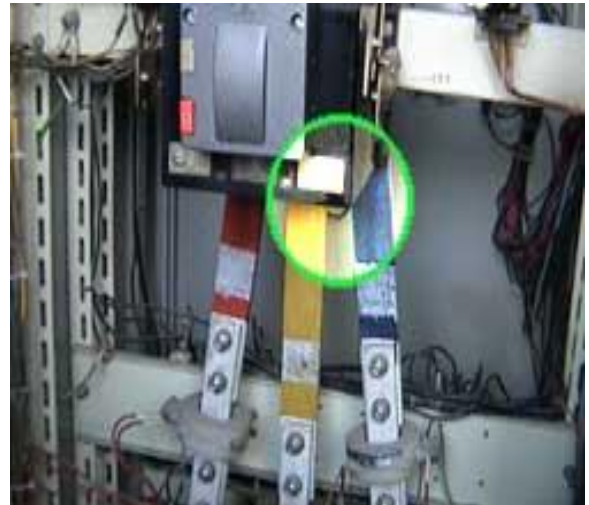
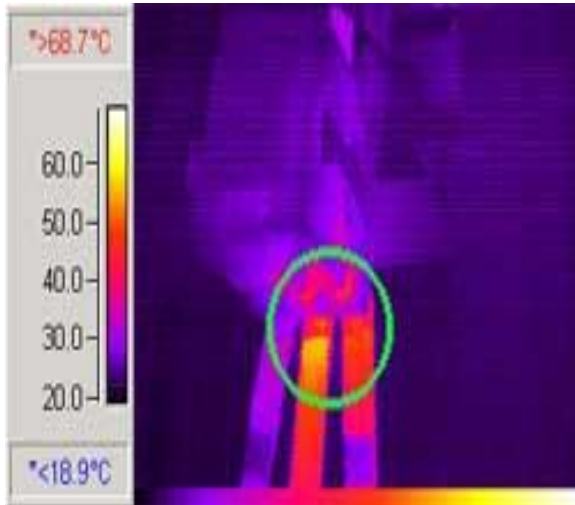


Figura 28

Echipamentul inspectat: PSI ca 0,4kV, Înterupător TSI 2

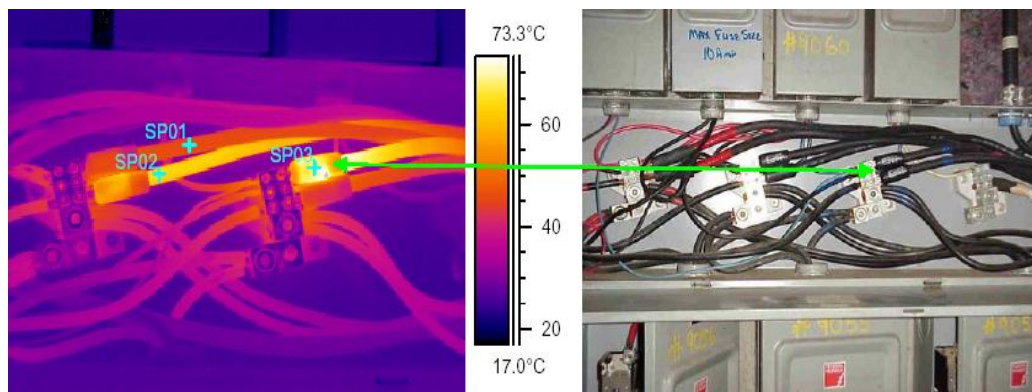


Figura 29

Echipamentul inspectat: cabluri de alimentare (distribuție)

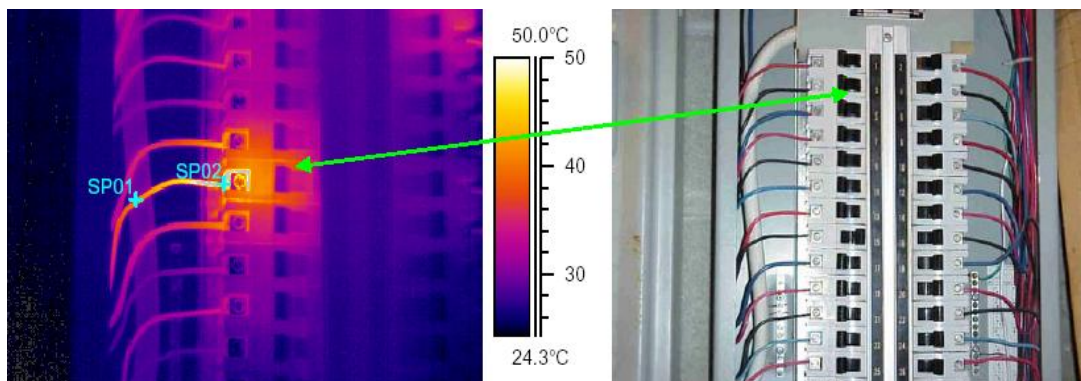


Figura 30

Echipamentul inspectat: Panou A, conductoare de legătură

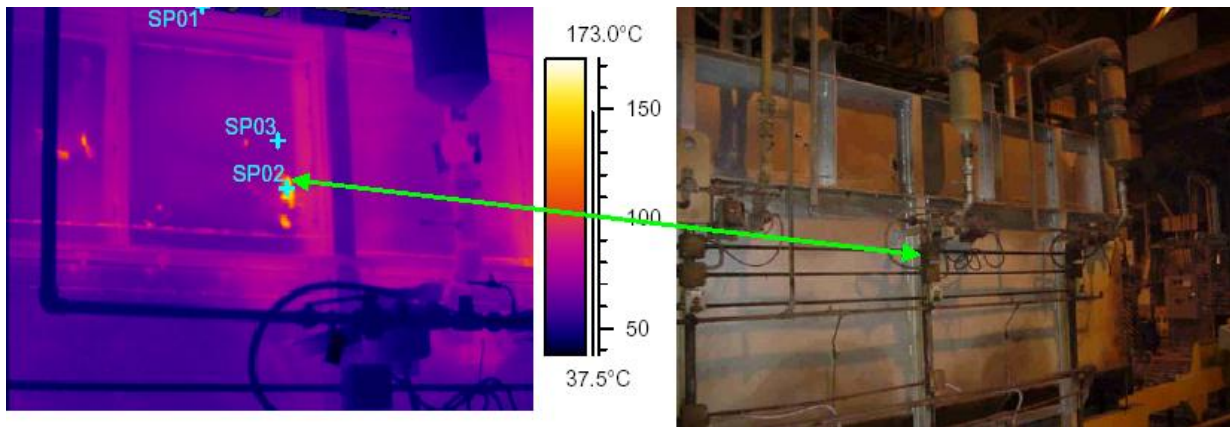


Figura 31

Echipamentul inspectat: cuptor de ardere, partea de vest

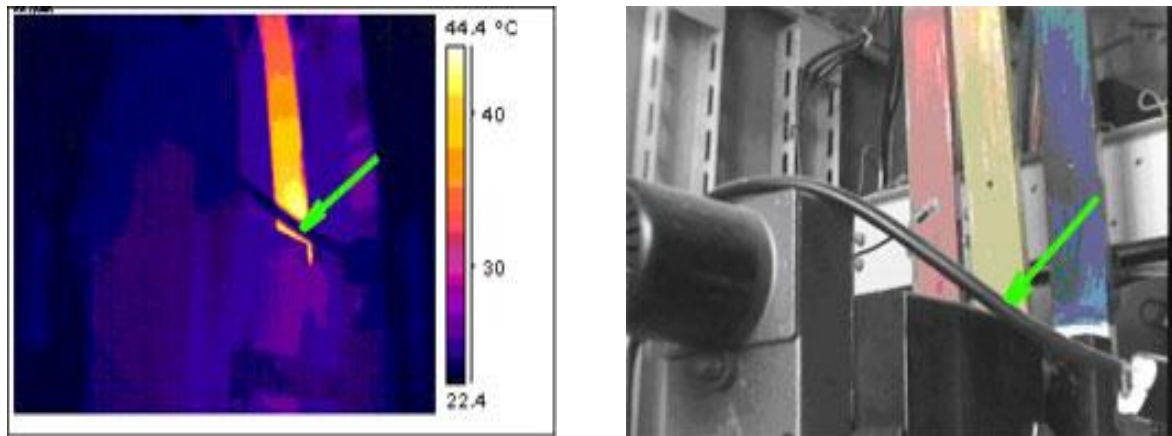


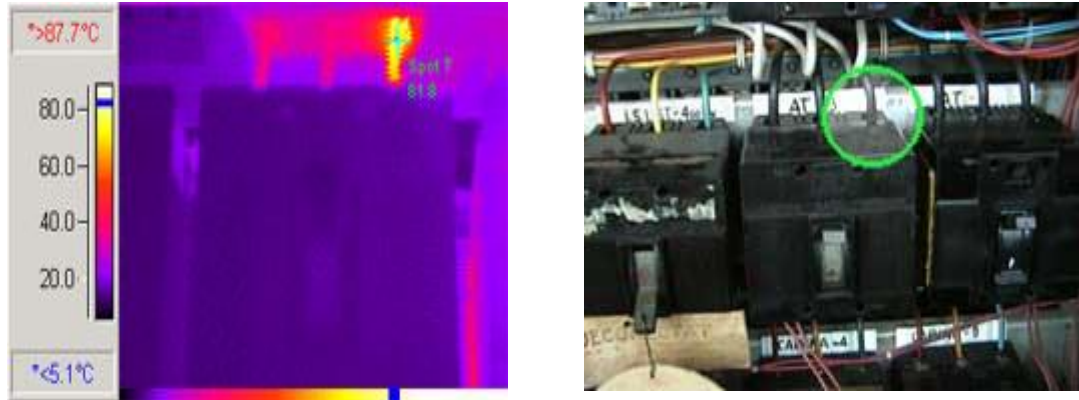
Figura 32

Echipamentul inspectat: 5 PSpa, USOL PTM 2

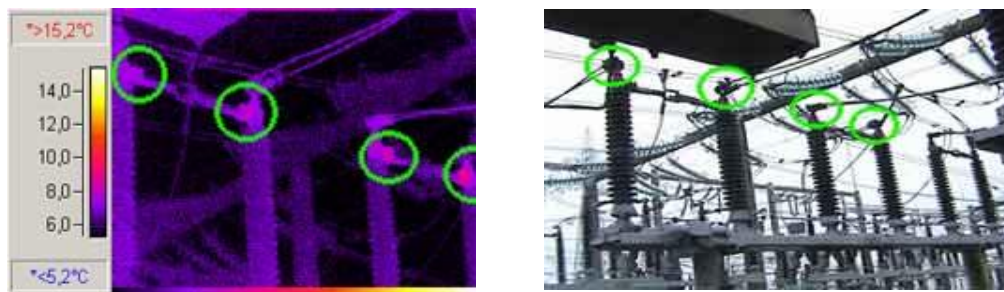


Figura 33

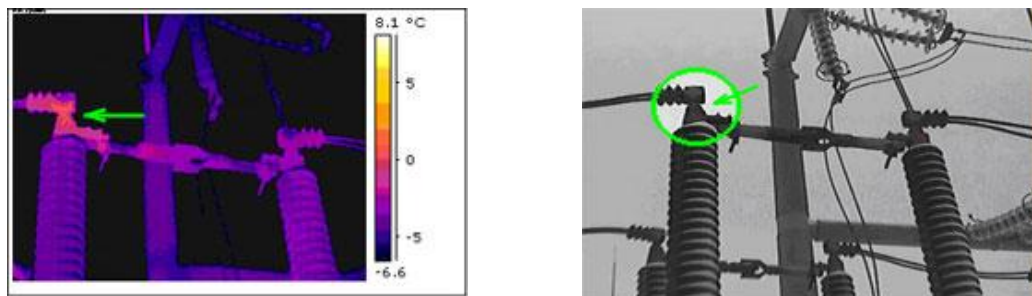
Echipamentul inspectat: Trafo 3, TC, celula 110kV



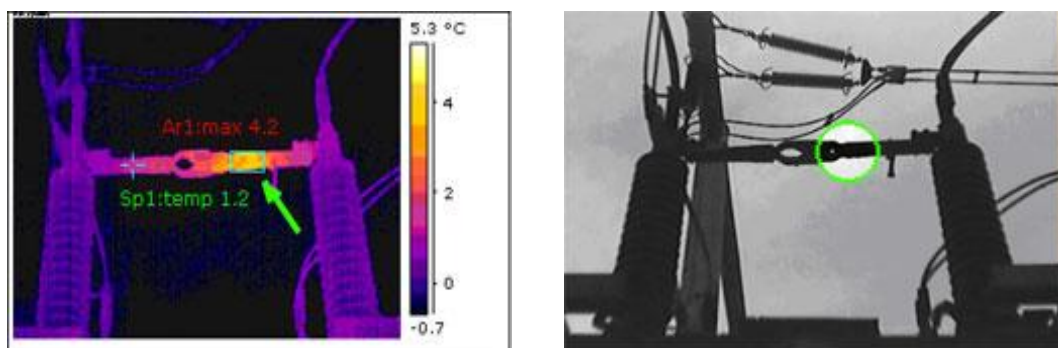
**Figura 34**  
Echipamentul inspectat: PSI ca (110kV)



**Figura 35**  
Echipamentul inspectat: celula 110kV, 2, SB-2



**Figura 36**  
Echipamentul inspectat: SB, borna polul spre IO(nu clema)



**Figura 37**  
Echipamentul inspectat: celula 110 kV, CT-A, SB1



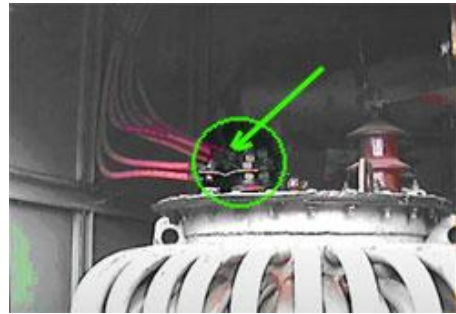
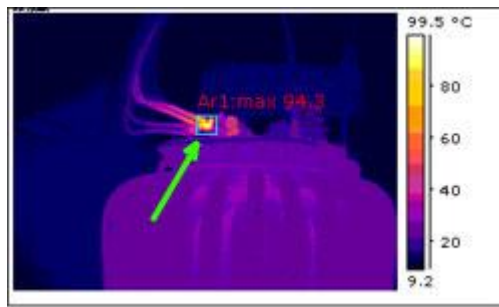


Figura 38

Echipamentul inspectat: Trafo 6/0,4kv, PTM 1

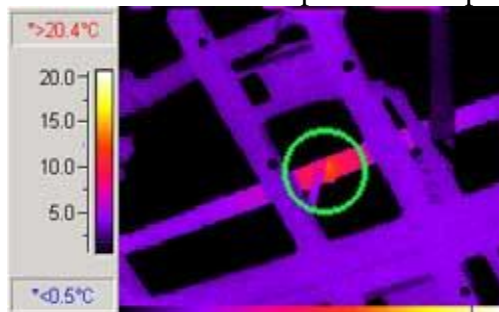


Figura 39

Echipamentul inspectat: Pod de bare, 20kV, trafo 1

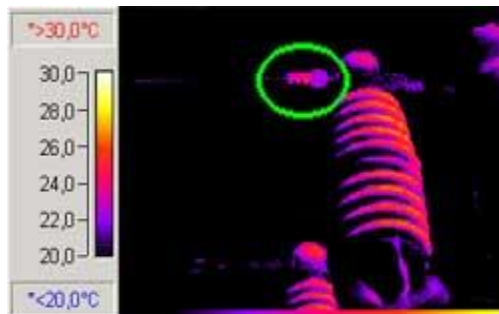


Figura 40

Echipamentul inspectat: celula 110 kV, Trafo 1, clemă borna, spre polul IO

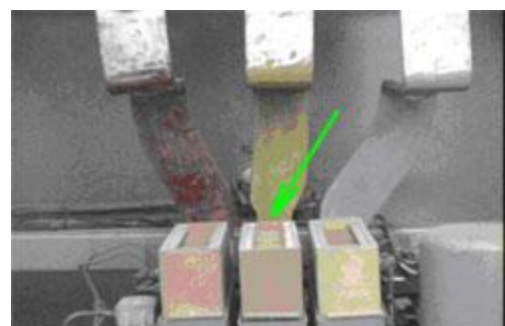
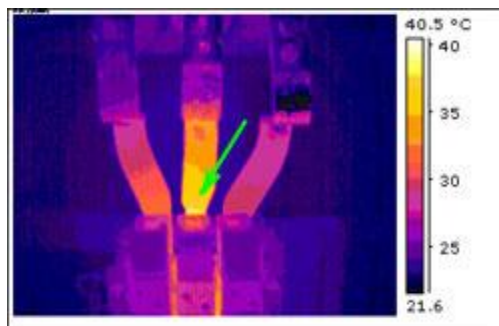
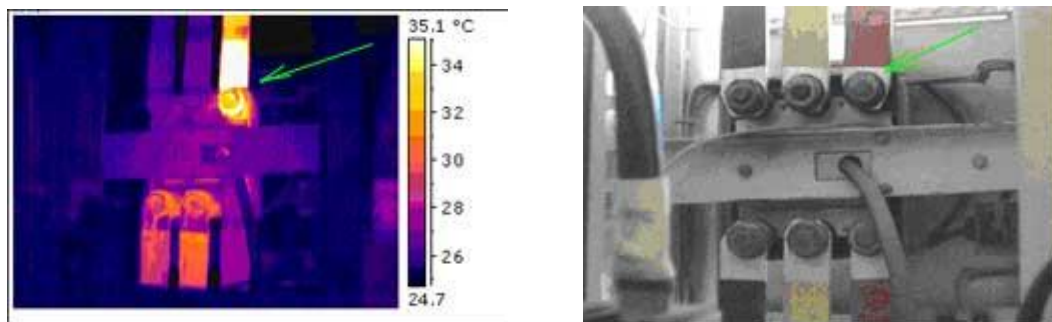


Figura 41

Echipamentul inspectat: întrerupător 0,4 kV TSI 1



**Figura 42**

Echipamentul inspectat: 3Pspa 0,4 kV, ISOL 500A