

Reglementare din 13/04/2004

Publicat în Monitorul Oficial, Partea I nr. 405 din 06/05/2004

Reglementare tehnica "Metodologie privind determinările termografice în construcții, indicativ MP-037-04"

1. GENERALITĂȚI

1.1. Obiectul prevederilor

Termografia este o metodă utilizată pentru vizualizarea, înregistrarea și reprezentarea distribuției temperaturii pe suprafața anvelopei clădirii.

Obiectul metodologiei îl constituie precizarea succesiunii etapelor de efectuat prin care se obține informația termică asupra construcției și prelucrarea acestei informații pentru integrarea sa în proiectele de specialitate.

Metodologia pune la dispoziția specialiștilor:

- o procedură de înregistrare a distribuției temperaturii pe suprafața investigată a anvelopei clădirii/elementului de construcție analizat;
- o procedură de prelucrare a imaginilor termografice în vederea identificării și localizării defectelor de izolare termică și a zonelor de infiltrații de aer din anvelopa clădirilor, respectând prevederile din reglementările tehnice în vigoare.

1.2. Domeniul de aplicare

Prezenta metodologie se aplică la reabilitarea termică a fondului construit de clădiri de locuit.

Metodologia este o procedură eficientă pentru detectarea neregularităților termice ale elementelor de construcție care alcătuiesc anvelopa clădirilor prin examinare termografică. Metoda este utilizată pentru identificarea variațiilor mari ale proprietăților termice, inclusiv etanșeitatea la aer ale componentelor care alcătuiesc anvelopa clădirilor.

Neregularitățile proprietăților termice ale elementelor constitutive ale anvelopei unei clădiri au ca rezultat variații ale temperaturii pe suprafețele anvelopei. În acest fel, prin cunoașterea distribuției temperaturii pe suprafața anvelopei se poate evalua structura și poziția punților termice. În mod normal aceste elemente se pot defini pe baza proiectului clădirii, în condițiile din proiect, dar sunt dificil de evaluat în condiții reale, ținând cont de calitatea execuției, îmbătrânirea și degradarea calității materialelor sau în lipsa proiectului de execuție al clădirii.

Temperatura pe suprafață este influențată de structura și umiditatea anvelopei și de debitul de aer care traversează anvelopa clădirii. Distribuția temperaturii pe suprafață poate fi deci utilizată la detecția neregularităților termice datorate defectelor de izolare, conținutului de umiditate și/sau infiltrațiilor de aer din elementele de închidere ale anvelopei clădirii.

Activitatea de termografiere se desfășoară:

- la recepția lucrărilor,
- la cerere,
- în caz de cutremure și mișcări de teren,
- la reabilitări de clădiri.

Termografia se aplică la:

- clădiri cu sursă de căldură interioară:
 - construcții civile (clădiri de locuit, clădiri publice),
 - clădiri industriale,
- clădiri fără sursă de căldură interioară:
 - clădiri de patrimoniu

1.3. Utilizatorii prevederilor

Metodologia se adresează celor care utilizează metoda termografică în construcții, utilizatori potențiali fiind ingineri care se ocupă de expertiza și reabilitarea clădirilor, auditori energetici, ingineri structuriști, energeticieni, specialiști în fizica construcțiilor, arhitecți cu specializarea protejarea patrimoniului construit.

Rezultatele determinărilor constituie date utilizate în fiecare dintre specialitățile în care se aplică metoda termografică.

1.4. Definiții

Termenii utilizați în prezenta metodologie sunt cei din referința normativă EN ISO 7345/1995 (1.6. [2]).

Termenii de utilizare generală se definesc astfel:

Termografie: determinarea și reprezentarea distribuției temperaturii prin măsurarea densității radiației infraroșii (IR) de la o suprafață, incluzând interpretarea mecanismelor întâmplătoare ce produc neregularități în imaginile termice.

Termograf: un sistem sensibil la radiația IR care produce o imagine termică bazată pe temperatura radiantă aparentă.

Imagine termică: imagine care este produsă de un termograf și care reprezintă distribuția temperaturii radiante aparente pe o suprafață.

Termogramă: o imagine termică, obținută printr-o înregistrare a ecranului camerei de luat vederi, pe un suport cu date analogice (bandă magnetică) sau pe un suport cu date digitale (memorie magnetică, dischetă, CD).

Radianță totală: raportul dintre fluxul de căldură și produsul dintre unghiul solid în jurul direcției vectorului Delta și aria proiectată normal la această direcție (EN ISO 9288:1996).

NOTĂ: Radianța include atât radiația emisă de la o suprafață cât și radiația reflectată și transmisă.

Temperatură radiantă aparentă: temperatură determinată pe baza radianței totale măsurate.

NOTĂ: Această temperatură este temperatura echivalentă a corpului negru care ar produce aceeași radianță totală.

Densitatea radiației infraroșii: caracteristica distribuției în volum (pe suprafață) a energiei în spectrul IR.

Izotermă: o regiune pe ecran alcătuită din puncte, linii sau arii având aceeași densitate a radiației infraroșii.

Imagine izotermă: imagine termică cu izoterme.

Fereastră atmosferică: domeniu de lungimi de undă transparent pentru radiația IR (nu există absorbție a radiației IR).

1.5. Simboluri

Simbolurile utilizate în prezenta metodologie și unitățile de măsură (SI) corespunzătoare sunt:

- R - puterea radiației emise pe unitatea de suprafață [W/m^2];
- μ - submultiplu al unității pentru lungime, $\mu = 10^{-6}$ m;
- h - constanta lui Planck, $h = 6,626196 \cdot 10^{-34}$ J·s;
- k - constanta lui Boltzmann, $k = 1,380622 \cdot 10^{-23}$ J/K;
- T - temperatura absolută [K].

1.6. Documente conexe

- | | |
|--------------------------|---|
| [1] SR EN ISO 13187/2000 | Performanța termică a clădirilor. Detecția calitativă a neregularităților termice în anvelopa clădirilor. Metoda termografică |
| [2] EN ISO 7345/1995 | Thermal insulation. Physical quantities and definitions. (Izolare termică. Mărimi fizice și definiții). |
| [3] SR EN ISO 10077/1 | Performanța termică a ferestrelor, ușilor și obloanelor – Calculul transmitanței termice. Partea I: Metoda simplificată. |
| [4] SR EN ISO 6946 | Părți și elemente de construcție - Rezistența termică și transmitanța termică - Metodă de calcul. |
| [5] SR EN 12524 | Materiale și produse pentru construcții - Proprietăți higrotermice – Valori de proiectare tabelate; |
| [6] SR EN ISO 9288 | Izolație termică. Transfer de căldură prin radiație. Mărimi fizice și definiții. |
| [7] SR EN 22726 | Ambianțe termice. Aparat și metode de măsurare a mărimilor fizice. |
| [8] NP 048-2000 | Normativ pentru expertizarea termică și energetică a clădirilor existente și a instalațiilor de încălzire și preparare a apei calde de consum aferente acestora, B.C. nr. 4/2001. |
| [9] NP 049-2000 | Normativ pentru elaborarea și acordarea certificatului energetic al clădirilor existente, B.C nr. 5/2001. |
| [10] NP 047-2000 | Normativ pentru realizarea auditului energetic al clădirilor existente și a instalațiilor de încălzire și preparare a apei calde de consum aferente acestora, B.C. nr. 5/2001. |

Metodologia se bazează pe Standardul Internațional ISO 6781 DIN 1983, intitulat: "Thermal performance in buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method" sau "Performanța termică a clădirilor. Detecția calitativă a neregularităților termice în anvelopa clădirilor. Metoda termografică", care a fost modificat pentru a se ține cont de dezvoltarea performanțelor echipamentului și practicii inspecțiilor, rezultând Standardul European EN 13187/noiembrie 1998. Modificarea principală constă în adăugarea unei proceduri pentru "încercări simplificate cu o cameră de luat vederi în IR". Versiunea română a acestui standard este SR EN ISO 13187/2000.

Completarea adusă prin prezenta metodologie o reprezintă elementele de prelucrare a informației termice și integrarea acestora în normativele apărute în domeniu.

1.7. Principiul termografiei

În contextul standardului SR EN ISO 13187/2000, termografierea se realizează cu ajutorul unui sistem sensibil la radiația infraroșie care produce o imagine bazată pe temperatura radiantă aparentă a suprafeței vizate. Radiația termică (corespunzătoare domeniului infraroșu cu $\lambda = 2 - 12 \mu$) emisă de suprafața vizată este convertită de sistemul sensibil la radiația în infraroșu într-o imagine termică care reprezintă intensitatea relativă a radiației termice. Intensitatea imaginii este funcție de temperatura suprafeței, de caracteristicile suprafeței, de condițiile de mediu și de tipul de senzor.

Procedura de măsurare implică și interpretarea imaginilor termice (termograme).

1.8. Responsabilități

Lucrările se execută de specialiști în IR în colaborare cu specialiști în termotehnica specifică construcțiilor (anvelopă, instalații), și în fizica construcțiilor, respectând prevederile prezentei metodologii.

2. METODOLOGIA PENTRU DETERMINĂRI TERMOGRAFICE ÎN CONSTRUCȚII

2.1. Documentarea lucrării

- Analiza proiectului clădirii investigate privind folosința principală și regimul de exploatare a clădirii.
- Estimarea volumului de muncă în teren și evaluarea necesarului de materiale.
- Estimarea emisivității materialelor de finisaj a suprafețelor vizate din tabelele corespunzătoare (1.6. [2]):

2.2. Strategia înregistrării

- Analiza prognozelor meteorologice și stabilirea perioadei optime pentru înregistrare.
- Stabilirea, de comun acord cu beneficiarul, a unui regim stabilizat de încălzire a clădirii.
- Alegerea poziției stațiilor (punctelor) de vânzare.
- Examinarea termografică se realizează conform prevederilor din (1.6. [1]), detaliate în continuare.

2.3. Condițiile generale ale măsurătorilor

Pentru a defini condițiile reale de încercare trebuie să fie luați în considerare următorii factori:

- a) specificațiile și capacitățile echipamentului termografic;
- b) caracteristicile anvelopei clădirii, adică tipurile corespunzătoare și localizarea sistemelor de încălzire, a elementelor structurale și a straturilor termoizolante;
- c) proprietățile radiative ale suprafeței, de exemplu materialele de finisaj;
- d) factorii climatici (temperatura și umiditatea relativă a aerului, viteza vântului);
- e) posibilitatea unui acces ușor pentru o inspecție ușoară;
- f) influențele vecinătății.

Se condiționează existența unui regim termic și aerulic care poate fi asimilat regimului staționar de transfer de proprietate (căldură și masă):

- Diferența de temperatură de pe fețele anvelopei trebuie să fie de minim 15°C ca să permită detecția neregularităților termice;
- Diferențele de temperatură și de presiune pe fețele anvelopei să fie constante;
- Variația (pe durata înregistrărilor) a temperaturii aerului interior și exterior să fie sub 2°C ;
- Anvelopa să nu fie expusă la radiația solară directă;
- Viteza vântului să fie sub 2 m/s .

Dacă examinarea este efectuată în situația unor abateri de la condițiile de încercare prevăzute/preconizate, de acest fapt trebuie să se țină seama la examinarea și evaluarea rezultatelor și trebuie specificat în raportul termografic.

Este posibilă obținerea unor informații privind structura clădirii, și în cazul în care, în lipsa existenței diferenței de temperatură între fețe, se realizează o încălzire locală într-un punct al structurii.

2.4. Dotările minime

Efectuarea încercărilor termografice este condiționată de existența unei aparaturi specifice termograf, a unor aparate auxiliare de măsurare a unor mărimi fizice necesare interpretării termogramelor, a unor dispozitive conexe necesare funcționării aparaturii de măsură, a unor mijloace auxiliare de măsură și a unor materiale consumabile.

Termograful trebuie să cuprindă:

- a) un senzor pentru radiația infraroșie care operează la lungimi de undă între 3 și $12 \mu\text{m}$, care poate detecta temperaturi radiante aparente de interes cu o rezoluție suficientă. (Anexa A.I.)
- b) un dispozitiv care face vizibilă și afișează sub forma unei imagini termice temperatura radiantă aparentă de pe suprafața examinată.
- c) un dispozitiv care face posibilă înregistrarea imaginii termice și dacă este relevantă, măsurarea digitală a datelor (informațiilor).

Aparate auxiliare:

- pirometre, termometre, instrumente de măsură a vitezei vântului, data-loggere pentru temperatura și umiditatea relativă a aerului, umidometre pentru pereți.

Dispozitive conexe:

- acumulatori necesari diferitelor aparate, încărcători pentru acumulatori.

Mijloace auxiliare:

- rulete de 10 ... 30 m, GPS, busolă, binoclu, aparat foto, lanterne.

Material consumabil:

- azot lichid (pentru aparatele care își realizează referința cu ajutorul acestuia).

2.5. Efectuarea înregistrării

1. Informațiile care trebuie să fie înregistrate sunt cele referitoare la temperatura aerului exterior, nebulozitate, precipitații și orice umiditate în exteriorul anvelopei clădirii, cât și condițiile de vânt. De asemenea, se notează orientarea clădirii în raport cu punctele cardinale.

2. Dacă scopul principal al examinării termografice este să localizeze infiltrațiile de aer, diferența de presiune trebuie să fie de cel puțin 5 Pa la locul inspecției. Examinarea termografică trebuie să fie făcută în planul suprafeței caracterizată de presiunea minimă.

3. Trebuie să fie estimate efectele produse de straturile de aer ventilat din pereți sau de la sursele de căldură (dacă există) instalate în clădire (conducte încastate, coșuri de fum, etc.) asupra temperaturii anvelopei examinate.

4. Trebuie să fie determinate cu o precizie de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ temperaturile aerului interior și exterior, înainte de începerea înregistrărilor. Se recomandă măsurarea cu o precizie de ± 2 Pa pe fața expusă la vânt și opusă vântului la nivelul fiecărui etaj. Se înregistrează valorile constatate. Se identifică direcția diferenței de presiune prin secțiunea anvelopei clădirii și poziția planului neutru, dacă există.

Se pregătește și se reglează termograful în conformitate cu instrucțiunile sale de utilizare: sensibilitatea, domeniul, emisivitatea și apertura sunt fixate prin setări ale reglajelor pentru a acoperi domeniul de temperatură al suprafeței care se studiază.

Variațiile în temperatura radiantă aparentă din imaginea termică a suprafeței anvelopei clădirii trebuie să fie măsurate cu o precizie de max ($\pm 10\%$ sau de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$). Temperatura de referință a suprafeței se determină cu o precizie de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Examinarea trebuie să înceapă cu efectuarea unei încercări preliminare pe suprafața anvelopei. Se studiază în detaliu părți ale suprafeței care prezintă interes special sau zone care prezintă anomalii. Trebuie să fie înregistrate termograme ale părților selectate ale anvelopei investigate (părți care nu prezintă defecte cât și părți în care se bănuiește prezența defectelor de construcție).

Pentru a decide dacă o variație a radiației de la suprafața implicată se datorează reflexiei de la o altă suprafață este cel mai bine să se studieze suprafața din diferite poziții pentru că, în general, reflexia se va modifica cu poziția.

Pozițiile părților reprezentate în termograme trebuie să fie indicate pe un plan sau schiță a clădirii.

Dacă termogramele indică infiltrații de aer, acestea trebuie verificate prin măsurători ale vitezei aerului, dacă este posibil.

2.6. Interpretarea rezultatelor

Examinarea termografică a părților de construcție cuprinde:

- determinarea câmpului de temperaturi superficiale pe o parte a unei anvelope a clădirii, pornind de la distribuția temperaturii radiante aparente obținută prin intermediul unui sistem sensibil la radiația infraroșie;

- analiza câmpului de temperaturi superficiale, constatarea defectelor de izolare, conținutului de umiditate și/sau infiltrațiilor de aer;

- în cazul neizotermiei - evaluarea tipului și dimensiunii neizotermiei suprafeței.

2.7. Modele termografice

Neregularitățile izolației termice, etanșeitatea la aer și structura clădirii vor produce diferite modele ale temperaturii superficiale. Anumite tipuri de defecte au o formă caracteristică într-o imagine termică. În evaluarea termogramelor trebuie să fie considerate următoarele caracteristici ale modelului:

- uniformitatea temperaturii radiante aparente în raport cu secțiunile suprafețelor structurilor similare în care nu există punți termice;

- regularitatea și incidența secțiunilor mai reci sau mai calde, de exemplu la parapeti și la colțuri;

- localizarea conturilor și a formei caracteristice a secțiunilor mai reci sau mai calde;

- diferența măsurată între temperatura medie a unei suprafețe a structurii analizate și temperatura secțiunilor selectate mai reci sau mai calde.

Neregularitățile în aspectul unei termograme indică adesea un efect al anvelopei clădirii. Aspectul unei termograme referitoare la o construcție cu un defect poate varia considerabil.

- Infiltrațiile de aer (la îmbinări și intersecții) în anvelopa clădirii produc forme neregulate cu margini neregulate și variații mari de temperatură;

- Lipsa izolației produce forme regulate și bine definite neasociate cu aspectul structurii clădirii. Aria defectului are o variație de temperatură relativ uniformă;

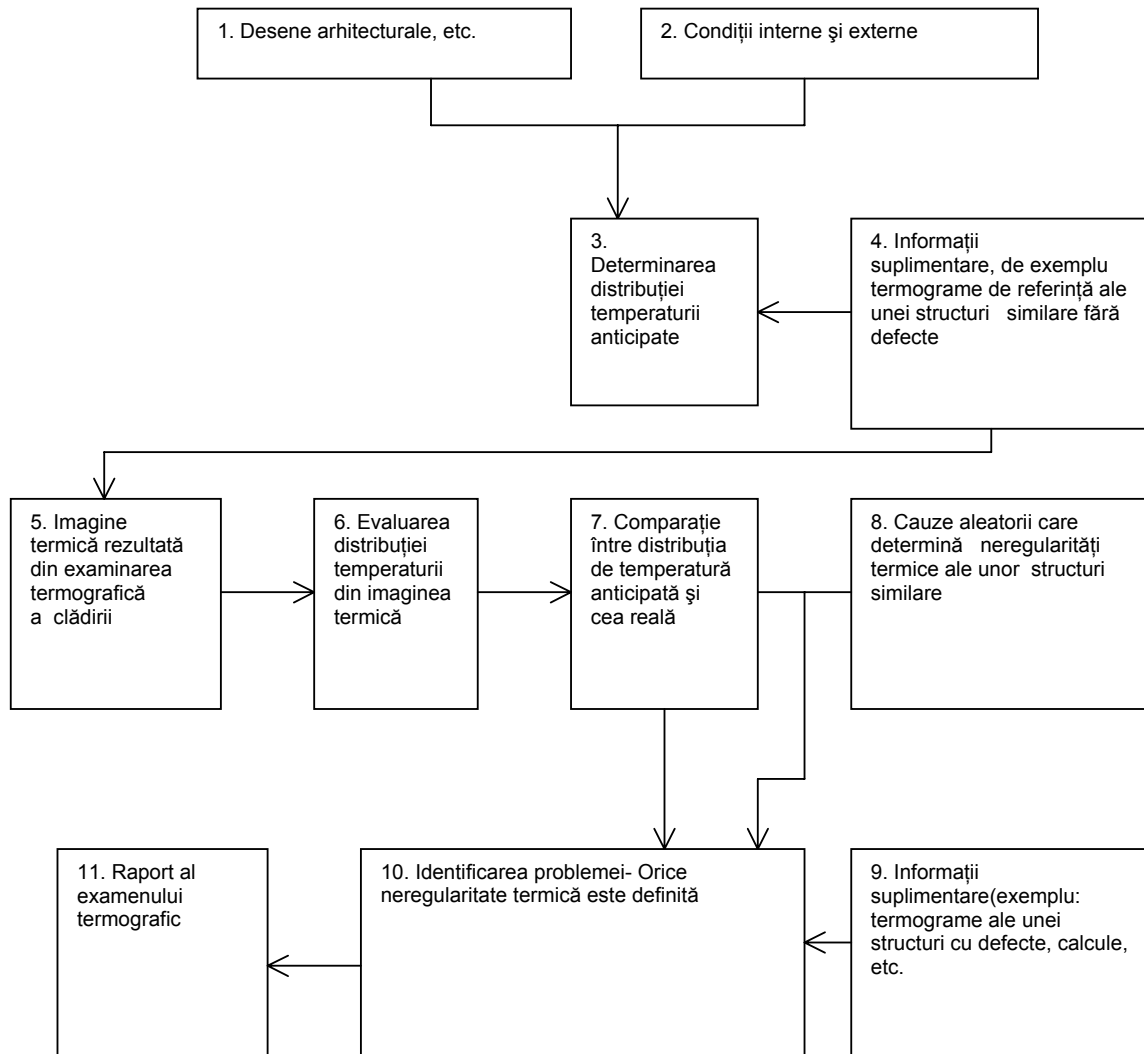
- Umiditatea prezentă în structură produce în mod normal un model pestriț și difuz. Variațiile de temperatură nu sunt extreme în cadrul modelului.

Pentru acele părți ale anvelopei clădirii în care a fost detectată prezența defectelor de izolare termică și a infiltrațiilor de aer, trebuie să se facă o scurtă analiză a tipului și extinderii fiecărui defect.

Rezultatele încercării pot fi verificate prin efectuarea de sondaje în zonele suspectate a fi cu defecțiuni sau prin prelevare de carote și prin supunerea acestora unor examinări vizuale. Acest supracontrol local, distructiv, va fi extrapolat la scara întregii clădiri (înregistrări termografice).

2.8. Procedeul general pentru interpretarea imaginilor termice

Etapele importante ale interpretării imaginilor termice sunt cuprinse în algoritmul prezentat în continuare:



Celulele 1, 2, 5, 6, 10 și 11 reprezintă activitatea specialistului IR;

Celulele 3, 4, 7, 8 și 9 reprezintă activitatea specialistului în termotehnică.

Distribuția temperaturii anticipate pentru părțile inspectate trebuie să fie determinată utilizând planuri și alte documente referitoare la anvelopa clădirii și la sistemul de încălzire și ventilare al clădirii examinate.

Distribuția de temperatură reală trebuie să fie evaluată din termograme. Dacă această distribuție de temperatură diferă de cea așteptată, acest fapt trebuie să se noteze. Se consideră ca defecte acele neregularități care nu pot fi explicate pe baza proiectului anvelopei în conformitate cu planurile, sau pe baza efectelor surselor de căldură, sau nu pot fi atribuite variațiilor de emisivitate sau valorii coeficientului de transfer termic.

2.9. Raportul tehnic termografic

Raportul tehnic termografic trebuie să includă:

a) descriere a încercării cu referire la standard și o declarație conform căreia a fost efectuată o încercare cu o cameră de luat vederi în IR, numele clientului și adresa completă a beneficiarului;

b) scurtă descriere a construcției clădirii (această informație trebuie să se bazeze pe schițe sau altă documentație disponibilă);

c) tip(uri) de material(e) de finisaj utilizate în structură și valoarea (valorile) estimată(e) ale emisivității acestui (acestor) material(e);

- d)** orientarea clădirii în raport cu punctele cardinale indicate într-un plan și descrierea împrejurimilor (clădiri, vegetație, peisaj etc.);
- e)** specificarea echipamentului utilizat, incluzând fabricantul, modelul și numărul seriei;
- f)** data și ora încercării;
- g)** temperatura aerului exterior; se dau cel puțin valorile minime și maxime observate:
- i)** cu 24 h înaintea începerii examinării și
- ii)** în timpul examinării;
- h)** informații generale despre condițiile radiației solare, observate pe parcursul a 24 h înainte de începerea examinării;
- i)** precipitații, direcția și viteza vântului în timpul examinării;
- j)** diferența între presiunea aerului pe partea expusă la vânt și opusă vântului, oriunde este necesar pentru fiecare etaj;
- k)** alți factori importanți ce influențează rezultatele, de exemplu variații rapide ale condițiilor meteorologice;
- l)** declarație asupra oricăror abateri de la condițiile relevante de încercare;
- m)** schițe și/sau fotografii ale clădirii indicând pozițiile termograme lor;
- n)** rezultate ale analizei legate de tipul și extinderea fiecărui defect de construcție care a fost observat, extindere relativă a defectului printr-o comparație între partea cu defecte a anvelopei și părți similare de-a lungul clădirii;
- o)** identificarea părților clădirii examinate;
- p)** rezultate ale măsurătorilor și investigațiilor suplimentare;
- q)** recomandări pentru beneficiari;
- r)** dată și semnătură.

A. 1. STRUCTURA LANȚULUI DE MĂSURĂ TERMOGRAFIC

Pornind de la definiția sistemelor de măsură și a lanțului de măsură din teoria măsurătorilor (Hutte):

"Tehnica măsurării are sarcina să preia mărimile unidimensionale de măsurat ... care apar în procesele tehnice, să traducă semnalele de măsurare obținute și să le convertească (sesizarea valorii de măsurat), precum să și corecteze valorile de măsurare obținute (prelucrarea valorii de măsurare) astfel încât să se obțină rezultatul măsurării cerute (măsurandul).

... După o prelucrare a valorii de măsurare se ajunge la informațiile căutate. Acestea pot fi sub formă analogică sau numerică."

Analizând această definiție, în situația noastră avem două cazuri:

- Dintr-un punct de vedere strict al tehnicii de măsurare, lanțul de măsură se referă la dispozitivul numit termograf, care transformă măsurandul (temperatura) sub formă analogică (imaginea termică) și sub formă numerică (un șir de valori numerice - reprezentând temperaturi ale punctelor imaginii) care face posibilă prelucrarea ulterioară a imaginii termice de către un program de calcul.

- Dintr-un punct de vedere sistemic, lanțul de măsură acoperă obiectul de măsură, mediul de măsură, sistemul de măsură (termograful), informațiile rezultate (arii al unei anumite regiuni, contururi, frontiere de regiuni ale câmpului de temperaturi) din prelucrarea mărimii primare (temperatura).

Deoarece al doilea mod de interpretare include și elementele primului mod, vom prezenta lanțul de măsură din punctul de vedere al acestei abordări. Elementele discutate ale lanțului de măsură sunt deci:

- a)** clădirea (obiectul de măsurat),
- b)** termograful (dispozitivul de măsură),
- c)** rezultatul primar (temperatura),
- d)** prelucrarea rezultatelor primare.

A. 1.1. Clădirea

În acest punct al lanțului de măsură, atenția trebuie îndreptată asupra valorilor de temperatură măsurate pe clădire și asupra modului de utilizare a acestora.

Din punct de vedere al sursei de radiații, clădirea reprezintă un amalgam de informații: materiale diferite: suprafețe cu emisivități diferite corespunzătoare materialelor vizate, suprafețe ce reprezintă planuri având orientarea variabilă față de direcția de vizare, surse de radiații corespunzând temperaturii proprii a materialului, radiații reflectate (solare sau a unor alte surse de radiații învecinate).

În momentul înregistrării, operatorul trebuie să cunoască exact aceste informații. În caz contrar informațiile oferite pot conține erori atât de considerabile încât devin inutilizabile.

Eroarea datorită unor reflexii solare poate modifica câmpul de temperaturi, falsificând valorile cu mai mult de 100% din valoarea reală.

Eroarea datorită unor emisivități diferite (materiale diferite pe același perete - perete de cărămidă stropit cu ciment) sau unor culori diferite ale aceluiași material (tencuială de diferite nuanțe) poate atinge valori de 15 - 25% din valoarea reală.

Eroarea datorită unghiului de vizare poate reprezenta 10 - 15% din valoarea reală.

Al doilea punct important asupra căruia trebuie să ne îndreptăm atenția este ce reprezintă valorile măsurate?

Trebuie precizat de la bun început că temperatura înregistrată reprezintă o valoare instantanee a temperaturii suprafeței anvelopei observate. Se cunoaște existența defazajului între temperatura fețelor interioare ale elementelor exterioare ale anvelopei și temperatura exterioară. Datorită masivității diferite a componentei anvelopei vizate, informația poate reprezenta temperatura unei stări din trecut (durata defazajului depinzând de proprietățile materialului din care este alcătuită anvelopa).

În calculele de termotehnica clădirilor apar temperaturi medii (zilnice sau lunare), aceste temperaturi nu pot fi legate de temperaturile momentane oferite de termograf.

Aceste observații duc la concluzia că valorile temperaturilor obținute prin termografie sunt improprii pentru calcule de termotehnică, termografia reprezentând o activitate prin care se furnizează informații cu caracter prioritar calitativ vizând obiectul expertizei.

A. 1.2. Termograful (dispozitivul de măsură)

Aparatura termografică lucrează (din motivele ferestrelor atmosferice) într-unul din domeniile: 3 ... 5 μ sau 8 ... 12 μ . Trebuie analizat dacă dispozitivele care lucrează în cele două domenii corespund condițiilor măsurătorilor termografice din construcții.

Sensibilitatea aparatului și contrastul termic depind de alegerea benzii spectrale, potrivite pentru o anumită aplicație. În momentul caracterizării unei anumite benzi trebuie examinați o serie de parametri:

- emisivitatea spectrală a materialelor,

- puterea termică disipată de obiect (radiația termică proprie),
- contrastul termic,
- transmisia atmosferică,
- detectorul de radiații,
- radiațiile parazite ale sistemului de măsură.

A. 1.2.1. Emisivitatea spectrală a obiectelor

Se cunoaște că energia IR emisă de un obiect adus la o temperatură dată crește cu creșterea emisivității sale. Anumite materiale au emisivitatea variabilă funcție de lungimea de undă. Este deci important să se cunoască variațiile emisivității spectrale la materialele curent întâlnite în construcții, pentru a ști care domenii spectrale de lucru sunt mai potrivite.

Iată datele din literatură pentru materialele cel mai des întâlnite în industria construcțiilor (acestor lungimi de undă le corespund valorile emisivităților din tabele):

beton	3 ... 5.5 μ
țiglă roșie	2.5 ... 3.5 μ
sticlă	3.8 ... 5.5 μ

A. 1.2.2. Puterea termică disipată de obiect (radiația termică proprie)

Puterea radiației emise pe unitatea de suprafață a unui obiect cu emisivitatea egală cu aceea a unui obiect negru este dată de legea lui Planck:

$$R_{\Delta\lambda} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{dR(\lambda, T_0)}{d\lambda} \cdot d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{2\pi \cdot h \cdot c^2 \cdot \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T}\right) - 1} \cdot d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1 \cdot \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1} \cdot d\lambda$$

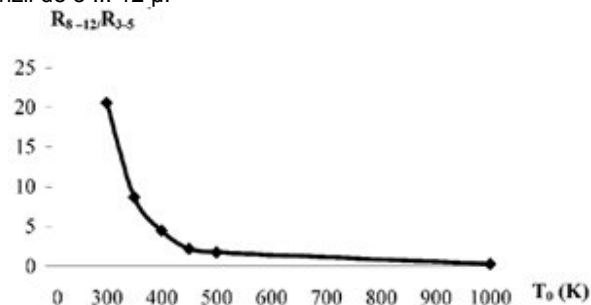
unde: $C_1 = 3.74 \cdot 10^{-16} \text{ W}\cdot\text{m}^2$ (radiații nepolarizate)
 $C_1 = 0.5925 \cdot 10^{-16} \text{ W}\cdot\text{m}^2$ (radiații polarizate)
 $C_2 = 1.4388 \cdot 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{K}$

Calculul pentru R_{3_5} , R_{8_12} și R_{8_12}/R_{3_5} este sintetizat în următorul tabel - pentru diferite valori ale lui T (valorile lui R sunt date în $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)

T [K]	300	350	400	450	500	1000
t [°C]	27	77	127	177	227	727
R_{3_5}	$5,97 \cdot 10^{-4}$	$2,86 \cdot 10^{-3}$	$9,51 \cdot 10^{-3}$	$2,46 \cdot 10^{-2}$	$5,32 \cdot 10^{-2}$	2,05
R_{8_12}	$1,22 \cdot 10^{-2}$	$2,47 \cdot 10^{-2}$	$4,22 \cdot 10^{-2}$	$6,46 \cdot 10^{-2}$	$9,14 \cdot 10^{-2}$	0,5
R_{8_12}/R_{3_5}	20,6	8,7	4,5	22	1,7	0,25

Curba de variație a raportului R_{8_12}/R_{3_5} este monoton descrescătoare, trecând de la valoarea de 20 la temperatura ambiantă, prin valoarea de 10 la 70°C la valoarea de 5 la 120°C.

Acest criteriu bazat exclusiv pe aspectul energetic al emisiei corpului negru face să apară mai avantajoasă utilizarea benzii de 8 ... 12 μ.



A. 1.2.3. Contrastul termic

Noțiunea de contrast termic definește posibilitatea de deosebire a două temperaturi diferite ale unui obiect adus la temperaturi diferite sau având emisivități diferite. Criteriul este utilizat pentru definirea sensibilității diferențiale ale măsurătorii termice.

Contrastul termic pe un domeniu spectral Delta lambda între două obiecte având temperaturile T₁ și T₂, având emisivități egale cu 1 este dată de funcția:

$$C = \frac{R(\Delta \lambda)(T_2) - R(\Delta \lambda)(T_1)}{R(\Delta \lambda)(T_2) + R(\Delta \lambda)(T_1)}$$

Funcția calculată pentru benzile spectrale Delta lambda = 3 ... 5 μ și Delta lambda = 8 ... 12 μ:

$$C = \frac{R_3^5(T_2) - R_3^5(T_1)}{R_3^5(T_2) + R_3^5(T_1)}$$

respectiv

$$C = \frac{R_8^{12}(T_2) - R_8^{12}(T_1)}{R_8^{12}(T_2) + R_8^{12}(T_1)}$$

Valoarea absolută a temperaturii este calculată din expresia radiației emise de obiect conform expresiei lui Planck, căreia îi corespunde o sensibilitate diferențială obținută prin derivare

$$\frac{\partial}{\partial T} \left[\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} \right] = \frac{h \cdot c \cdot \exp \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T}}{\lambda \cdot k \cdot T^2 \left[\exp \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T} - 1 \right]} \cdot \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda}$$

unde: R = pi·L

Pentru o temperatură dată, sensibilitatea maximă a discriminării termice se situează la o lungime de undă inferioară celei de maxim de emisie.

Se poate defini o funcție contrast relativ

$$C = \frac{\left[\frac{dR}{dT} \right]_{\lambda_1}^{\lambda_2}}{R_{\Delta \lambda}} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{d}{dT} \left[\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} \right] d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} \cdot d\lambda}$$

Tabelul următor indică valorile lui C pentru benzile spectrale $\Delta\lambda_1 = 3 \dots 5 \mu$ și $\Delta\lambda_2 = 8 \dots 12 \mu$.

T [K]	260	300	373	500	573	1000
$\frac{\Gamma}{L} \frac{\tau^5}{J^3}$	$5,40 \cdot 10^{-6}$	$2,16 \cdot 10^{-5}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$7,45 \cdot 10^{-4}$	$1,42 \cdot 10^3$	$7,92 \cdot 10^{-3}$
R_3^5	$1,14 \cdot 10^{-4}$	$5,95 \cdot 10^{-4}$	$5,19 \cdot 10^{-3}$	$5,32 \cdot 10^{-2}$	$1,31 \cdot 10^{-1}$	2,05
C_3^5	$4,74 \cdot 10^{-2}$	$3,60 \cdot 10^{-2}$	$2,40 \cdot 10^{-2}$	$1,40 \cdot 10^{-2}$	$1,09 \cdot 10^{-2}$	$0,39 \cdot 10^{-2}$
$\frac{\Gamma}{L} \frac{\tau^{12}}{J^8}$	$1,24 \cdot 10^{-4}$	$1,98 \cdot 10^{-4}$	$3,48 \cdot 10^{-4}$	$5,75 \cdot 10^{-4}$	$6,79 \cdot 10^{-4}$	$9,8 \cdot 10^{-4}$
R_8^{12}	$5,76 \cdot 10^{-3}$	$1,22 \cdot 10^{-2}$	$3,21 \cdot 10^{-2}$	$9,14 \cdot 10^{-2}$	$1,37 \cdot 10^{-1}$	0,50
C_8^{12}	$2,14 \cdot 10^{-2}$	$1,62 \cdot 10^{-2}$	$1,08 \cdot 10^{-2}$	$0,63 \cdot 10^{-2}$	$0,50 \cdot 10^{-2}$	$0,20 \cdot 10^{-2}$
$\frac{C_3^5}{C_8^{12}}$	2,21	2,22	2,22	2,22	2,19	1,97

Aceste rezultate arată că pentru diferențe mici de temperatură sau pentru emisivități mai coborâte, banda spectrală $3 \dots 5 \mu$ are o sensibilitate diferențială de aproape de 2,2 ori mai mare decât banda de $8 \dots 12 \mu$ și aceasta pe o plajă mare de temperaturi.

A. 1.2.4. Transmisia atmosferică

Transmisia atmosferică depinde de distanța de propagare și de condițiile meteorologice.

Măsurătorile și calculul coeficientului spectral de atenuare atmosferică, permite aprecierea benzii spectrale favorabile măsurătorilor.

Acest parametru este puțin important pe distanțe scurte, crește ca importanță la distanțe de ordinul sutelor de metri, atmosfera absorbind o parte din radiația emisă și suprapunându-i propria emisie de-a lungul traiectoriei.

Este de semnalat că atmosfera umedă afectează mai mult banda de $8 \dots 12 \mu$, în timp ce aerosolii și ceața afectează banda de $3 \dots 5 \mu$.

A. 1.2.5. Detectorii de radiație

Teoria arată că în cazul unor detectori, limitarea se datorează nu performanțelor ansamblului detector - preamplificator, ci zgomotului radiației incidente, adică fluctuației debitului de fotoni. Detectivitatea, care este funcție de acest zgomot, descrește cu creșterea lungimii de undă. Această considerație favorizează banda spectrală $3 \dots 5 \mu$.

În cazul detectorilor cuantici actuali, condiția de apropiere de detectivitatea ideală necesită o răcire cu atât mai mare cu cât lungimea de undă este mai mare.

La răcire egală detectorul de $3 \dots 5 \mu$ este mai apropiat de limita teoretică.

Efectul cumulativ al acestor două proprietăți face ca detectorul de InSb ($3 \dots 5 \mu$), răcit la temperatura azotului lichid (77K) să aibă o detectivitate de 7 ori mai mare ca detectorul de HgTeCd ($8 \dots 12 \mu$) răcit la aceeași temperatură.

A. 1.2.6. Radiația parazită datorită sistemului de măsură

Sistemul însuși emite un flux de radiații prin piesele sale componente (lentile, prisme, diafragme, oglinzi). Fluxul este direct proporțional cu temperatura internă a sistemului și se însumează cu semnalul util, limitând performanțele aparatului.

Potrivit relației lui Planck, care arată că energia radiată la temperatura ambiantă este superioară în banda de $8 \dots 12 \mu$, radiația parazită datorită sistemului însuși este mult mai supărătoare în această bandă.

Ce se poate deduce din această trecere în revistă a parametrilor care influențează măsurătorile în diferite benzi? Parametrul care influențează cel mai tare alegerea benzii spectrale este emisivitatea spectrală a obiectului de măsurat.

În cazul corpurilor gri (reale), la care distributivitatea emisivității spectrale este constantă, alegerea benzii de lucru este funcție de parametrii amintiți anterior: putere emisă de obiect, contrast termic, detectivitate și transmisia atmosferei.

În aplicațiile în care distanța de măsură este mică (transmisia atmosferică este bună pentru ambele benzi), importanța relativă a celorlalți factori este greu de definit.

Puterea (de fapt energia) emisă de un obiect trebuie să traverseze atmosfera și sistemul optic al aparatului, trebuie să ajungă pe detector la un nivel care să depășească pragul de sensibilitate al aparatului.

Pentru o temperatură coborâtă (sau emisivitate coborâtă), R_{3-5} , este inferior lui R_{8-12} și pentru un prag dat de detecție semnalul din banda de 3 ... 5 μ este mai apropiat de zgomot, raportul semnal zgomot fiind mai slab.

Această considerație este parțial compensată de detectivitatea mai bună din acest domeniu față de acela din 8 ... 12 μ . Detectorii 3 ... 5 μ sunt sensibili la semnale mai slabe decât cei din domeniul 8 ... 12 μ .

Astfel se definește un criteriu de calitate prin produsul celor două funcții: $R(\Delta\lambda) \times D'(\Delta\lambda)$ (lambda)

La o diferență de temperatură egală, banda de 3 ... 5 μ dă un contrast de 2,2 ori mai mare decât cel din banda 8 ... 12 μ . Asta înseamnă că este nevoie de o amplificare mai mică și la o bandă de trecere identică, zgomotul este mai redus.

Prin introducerea parametrului de contrast ca factor în produsul anterior, se definește factorul de calitate $Q(\Delta\lambda)$:

$$Q(\Delta\lambda) = R(\Delta\lambda) \times C(\Delta\lambda) \times D'(\Delta\lambda)$$

Tabelul următor prezintă valorile și variația raportului Q_{8-12}/Q_{3-5} pentru diverse temperaturi ale obiectului.

T [K] t [°C]	260 -13	300 27	373 100	500 227	573 300	1000 727
$\frac{R_{8-12}}{R_{3-5}}$	50,5	20,5	6,2	1,7	1,05	0,24
$\frac{C_{8-12}}{C_{3-5}}$	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,51
$\frac{D'_{8-12}}{D'_{3-5}}$	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
$\frac{Q_{8-12}}{Q_{3-5}}$	3,2	1,3	0,4	0,1	0,07	0,02

Raportul Q_{8-12}/Q_{3-5} atinge valoarea de 1 la $T = 313 \text{ K} = 40^\circ\text{C}$.

Aceasta înseamnă că în jurul acestei temperaturi (deci la temperatura ambiantă) măsurătorile termografice pot fi efectuate practic cu aceleași performanțe și în domeniul de 3 ... 5 μ cât și în domeniul de 8 ... 12 μ .

A. 1.3. Rezultatul primar (temperatura)

Detectorul furnizează semnalul electric (analogic) care este transformat în harta termică de pe ecranul termografului. Același semnal trece printr-un convertor analog-digital rezultând valorile numerice care corespund pixelilor de pe imagine.

Programele oferite de firmele producătoare de aparatură permit o prelucrare primară a imaginii: modificarea paletii de culori, reprezentarea izotermelor, citirea unor temperaturi punctuale, grafice de temperatură pe diferite drepte de pe imagine.

Informația esențială a acestor programe este mărimea temperatură. În cele ce urmează sunt prezentate motivele pentru care este necesară prelucrarea datelor primare.

A. 1.4. Prelucrarea rezultatelor primare

Elementele de construcție au o structură bine definită la proiectare. Se cunoaște teoretic structura elementului de construcție (panou, planșeu), se cunosc parametrii termotehnici ai materialelor de construcție utilizate.

Elementele geometrice sunt afectate în timpul execuției, straturile de izolație termică fiind presate și/sau deformate.

La montaj, panourile sunt amestecate, pe același șantier sosesc elemente din surse diferite. În cursul montajului elementele suferă afecțiuni diverse.

Pe durata vieții construcției, datorită factorilor climatici și factorului timp, elementele de construcție suferă alte schimbări: deformări datorită seismicității, variații ale proprietăților termotehnice, schimbări datorate factorilor antropogenici (locatarilor).

Aceasta înseamnă că situația unei construcții după un număr de ani este departe de starea din proiectul inițial. Scopul activității de termografiere este să furnizeze informații care facilitează activitatea de identificare a caracteristicilor reale ale structurilor construcțiilor existente.

Cu ajutorul unor programe dedicate se poate deduce prin filtrarea numerică a imaginilor:

- structura panourilor,
- limita punților termice,
- aria punților termice.

Temperatura pe suprafață este de asemenea influențată de fluxul de aer din interiorul și/sau prin anvelopa clădirii. Distribuția temperaturii pe suprafață poate fi deci utilizată la detecția neregularităților termice datorate de exemplu defectelor de izolare, conținutului de umiditate și/sau infiltrațiilor de aer, din elementele de închidere ale anvelopei clădirii.

A. 2. ANALIZA CALITATIVĂ A TERMOGRAMELOR **(exemplu informativ)**

A. 2.1. Analiza calitativă utilizând metoda termografiei în infraroșu - blocul cu panouri mari, str. Marinariilor nr. 13-15, Băneasa, București.

În cadrul expertizării, la examinarea vizuală a construcției, s-a adăugat și utilizarea metodei termografiei în infraroșu. Imaginile termografice au fost preluate numai din exteriorul clădirii, în regim de iarnă.

Termogramele au cuprins imagini IR și o serie de fotografii ale fațadelor investigate.

Concluziile desprinse din analiza preponderent calitativă a termogramelor realizate din exterior pe fațadele de sud și de nord, la nivelul lunii ianuarie 2002, sunt următoarele:

- Determinările în infraroșu dau în primul rând o imagine calitativă a gradului de protecție termică atins pe diverse zone ale clădirii investigate, evidențiind în special punțile termice sau alte zone mai slabe, precum și eventualele defecțiuni - vizibile cu ochiul liber sau ascunse privirii;

- Pe baza termogramelor s-a făcut identificarea soluției de alcătuire a pereților exteriori care în proiectul tip erau prevăzuți în mai multe variante posibile, fiind evidențiat procentul ridicat al punților termice (peste 15%).

- Temperaturile măsurate pe suprafețele exterioare ale pereților în câmp curent, sunt în general mai mici sau chiar egale celor corespunzătoare temperaturii aerului exterior, măsurată concomitent. Acest fapt s-ar putea explica prin inerția termică mare a pereților clădirii, ceea ce face ca în mod normal temperaturile detectate pe suprafețe să corespundă unei temperaturi exterioare atinse anterior momentului efectuării termografiei. Ținând cont de evoluția temperaturilor superficiale înregistrate, considerând ansamblul termogramelor, se poate aprecia că această diferență de temperatură ar fi putut fi de ordinul +0,9 ... +1,0°C. Metoda termografică permite într-o oarecare măsură și evaluări cantitative prin interpretarea temperaturilor pe suprafețe, dar pentru interpretarea cantitativă devine esențial ca temperaturile la interiorul/exteriorul anvelopei să poată fi măsurate cu o cât mai mare exactitate, începând cu câteva ore înainte de prelevarea imaginilor.

- Nu au fost semnalate defecțiuni majore care să conducă la o eventuală diminuare masivă a protecției termice, în raport cu cea conferită prin proiectare, elementelor de construcție investigate;

- În cadrul analizei termografice nu s-au sesizat defecte de execuție precum:

- lățimi mai mari decât cele proiectate, ale nervurilor din beton armat din panourile mari prefabricate;
- omiterea montării termoizolației la îmbinarea dintre panourile mari și elementele interioare de compartimentare.

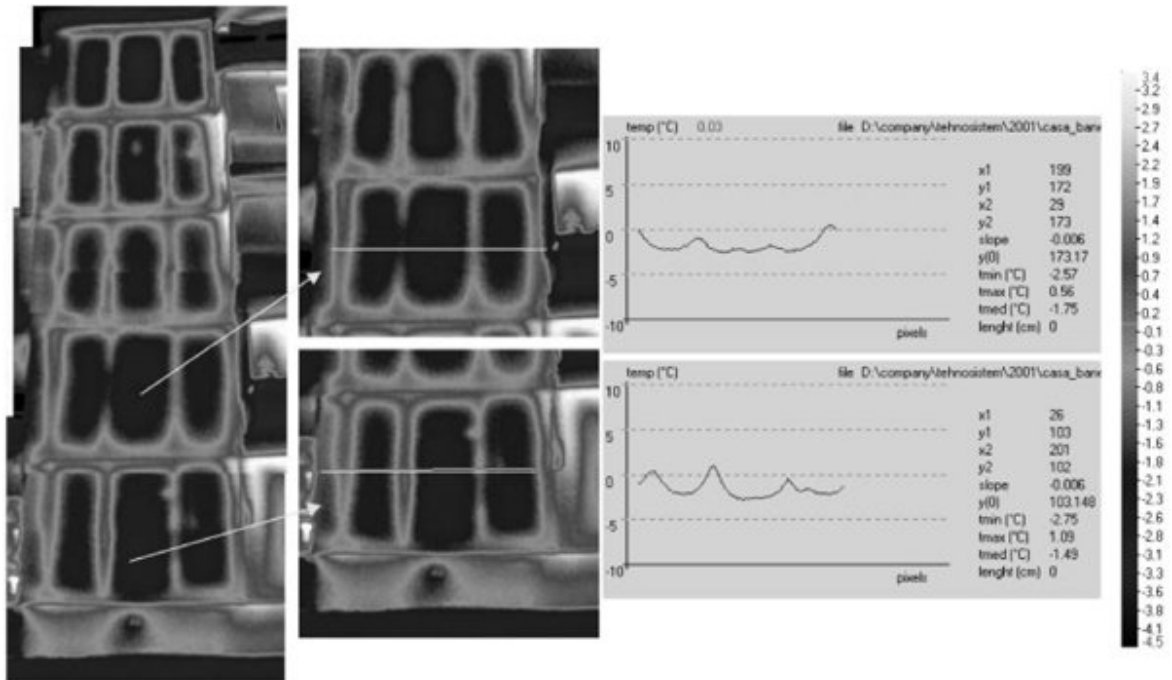
- În zonele pereților exteriori de la timpane, s-a constatat, în general, o comportare uniformă, cu unele scăderi ale protecției termice în dreptul camerelor de baie, unde se presupune că datorită umidității încăperilor capacitatea termoizolatoare s-a putut deteriora în timp;

- În dreptul încăperilor unor apartamente, pe fațada dinspre sud, câmpul de temperaturi omogen observat, cu diminuarea efectului punților termice în dreptul nervurilor din beton armat, a permis identificarea unor intervenții realizate de proprietari pe fața interioară a pereților exteriori.

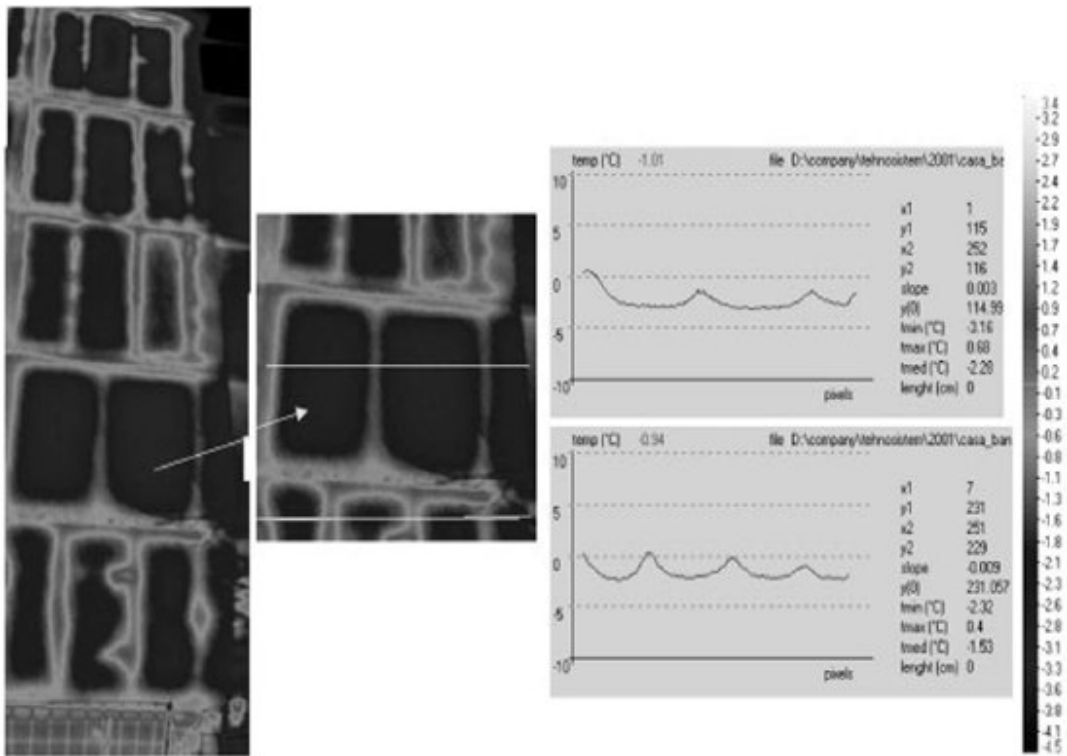
- Temperaturile superficiale înregistrate la etajele superioare au rezultat în general mai mici decât cele măsurate la etajele inferioare (efectul răcirii mai accentuate prin curenți de aer);

- La nivelul planșeelor, pe tot perimetrul acestora, apar punți termice străpunse puternice cărora le corespund temperaturi mult mai mari.

Tâmplăria exterioară prezintă punți termice pe contur, semnalându-se exfiltrații și temperaturi ridicate pe suprafețele vitrate.



Bloc panouri mari, str. Marinarilor 13-15, bl. VI/5 Băneasa, București
 Termogramă fațadă sud, travee 1-2 [$T(\text{est}) = -3,5^{\circ}\text{C}$, $\Phi = 82\%$]



IMAGINE

Bloc panouri mari, str. Marinarilor 13-15, bl. VI/5 Băneasa, București
 Termogramă fațadă sud, travee 14-15 [T(est) = -3,5°C, Φ = 82%]