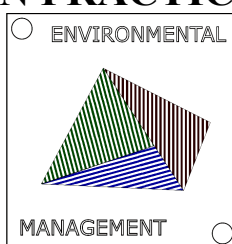


VYUŽITIE TERMOVÍZNEJ TECHNIKY V PRAXI


 Valéria EIBEN¹ -  Ružena KRÁLIKOVÁ²

USE OF THE THERMAL IMAGING TECHNIQUE IN PRACTICE



¹ Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra riadenia podniku a inžinierstva prostredia, Park Komenského 5, 042 00 Košice, Slovenská republika

✉ Email: lilly.eiben@gmail.com

 ORCID iD: [0009-0006-5187-8034](https://orcid.org/0009-0006-5187-8034)

<https://orcid.org/0009-0006-5187-8034>


² Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra riadenia podniku a inžinierstva prostredia, Park Komenského 5, 042 00 Košice, Slovenská republika

✉ Email: ruzena.kralikova@tuke.sk

 ORCID iD: [0000-0002-9231-7886](https://orcid.org/0000-0002-9231-7886)

<https://orcid.org/0000-0002-9231-7886>


 **Competing interests** : The author declare no competing interests.


 **Publisher's Note**: Slovak Society for Environment stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. Copyright: © 2023 by the authors.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

This license allows reusers to distribute, remix, adapt, and build upon the material in any medium or format, so long as attribution is given to the creator. The license allows for commercial use.

 **Review text in the conference proceeding**: Contributions published in proceedings were reviewed by members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.

 **Slovak Society for the Environment** (Slovenská spoločnosť pre životné prostredie) Bratislava, Slovak Republic

ABSTRAKT

Príspevok sa zaoberá problematikou bezdotykového merania a monitorovania termovíznou technikou. Posúdenie jej kvality, nevynímajúc chyby a samotné vplyvy na výsledok merania. Súčasné rozšírené možnosti aplikácie termovíznych systémov, vizualizácia a diagnostikovanie sledovaných parametrov.

Kľúčové slová: termovízia, termografia, infračervené žiarenie, bezpilotné lietadlo, dron (UAV), diagnostika.

ABSTRACT

The paper deals with the issue of non-contact measurement and monitoring with thermal imaging technology. Assessment of its quality, not excluding errors and the very effects on the measurement result. Current extended possibilities of application of thermal imaging systems, visualization and diagnosis of monitored parameters.

Key words: *thermal imaging, thermal imaging camera, infrared radiation, unmanned aerial vehicle (UAV), diagnostics.*

ÚVOD

Termovízia patrí k revolučným technológiám snímania a zobrazovania teploty. Nachádza svoje uplatnenie v rôznych oblastiach ľudskej činnosti a v oblasti inžinierstva prostredia, v priemysle, stavebníctve, medicíne. Taktiež pri záchrane ľudských životov, ako napríklad hasičské a bezpečnostné termokamery, nočné videnie, termokamery integrované do vozidiel, mobilných telefónov a dronov, či v neposlednom rade vo vede a výskume. Termografické meranie je bezkontaktné meranie, vyhodnocujúce teplotné pole na diagnostikovanom objekte. Pomocou tohto teplotného poľa môžeme s ľahkosťou zistiť teplejšie a chladnejšie miesta diagnostikovaného objektu, prostredníctvom infračervenej energie vyžarovanej z jeho povrchu. Meranie prebieha bezdotykovo, nedeštruktívne, veľmi bezpečne a rýchlo.

1 POČIATKY TERMOGRAFIE

Existencia infračerveného vyžarovania bola potvrdená a objavená už v roku 1800. Objaviteľom infračerveného (IR) žiarenia sa stal William Herschel a to v prvých rokoch devätnásteho storočia. Tento nemecký astronóm pri pokusoch s hranolom dokázal rozložiť slnečné svetlo na viac chromatografických častí. Jednotlivé chromatografické časti - teploty farieb meral teplomerom. Pri sledovaní nárastu teploty, v pásme od fialovej do červenej farby, si všimol neviditeľné pásmo ďalej za červenou farbou, kde bol bod maxima teploty. Tomuto pásmu hovoríme infračervené pásmo. [3]

Počas mnohých rokov sa na meranie infračerveného vyžarovania objektov vyvinulo niekoľko technológií merania. Dnes je to jeden z často používaných spôsobov merania, pri čom s touto technológiou merania súvisí niekoľko špecifických skutočností, ktoré treba zohľadniť pri rôznych aplikáciách.

2 CHARAKTERISTIKA TERMOVÍZIE

Termografia je experimentálna zobrazovacia metóda, ktorá umožňuje zobrazovať a graficky znázorniť teplotu na povrchu sledovaného objektu. Bezkontaktná termografia vychádza zo skutočnosti, že každé teleso s teplotou vyššou ako 0 K (absolútna nula) vyžaruje do okolia, v súvislosti s teplotou povrchu, elektromagnetické žiarenie. Vo všeobecnosti platí, že čím vyššia je teplota objektu, tým viac IR žiarenia prostredníctvom žiarenia čierneho telesa je týmto objektom generované a emitované. Toto žiarenie je neviditeľné pre ľudské oko. Špeciálna kamera – termokamera, skonštruovaná na tento špecifický účel, dokáže túto radiáciu detekovať a zaznamenať na podobnom princípe ako bežná kamera detekuje viditeľné svetlo.

Termokamera (nazývaná taktiež aj IR kamera alebo kamera na princípe termo zobrazenia) funguje na princípe termovízie. Princíp fungovania je identický s bežnou kamerou, ktorá obraz formuje pomocou viditeľného spektra svetla. Namiesto bežného viditeľného svetla vlnovej dĺžky 400-700 nm, využívajú IR-kamery vlnové dĺžky 14 000 nm. [5] Termovízna kamera dokáže zachytiť a zobrazíť tieto elektromagnetické vlny vo forme teplotného obrazu a umožňuje aj nočné videnie snímaných objektov.

Optický systém termokamery (termografického zariadenia), ktorý sníma IR žiarenie z objektov a prevedie ho na obrazovku v podobe farebného obrazu reprezentuje rozdiely v teplote. Tento obraz môže byť zobrazený v rôznych farebných škálach, ktoré sa využívajú na zvýraznenie rozdielov v teplote. Najčastejšie sa používa škála s farebnými odtieňmi od modrej, pre nízke teploty, až po červenú pre vysoké teploty. Súčasťou kamery je šošovka, ktorá umožňuje prechod IR frekvencií a zaostruje ich na špeciálne pole sensorov, ktoré ich dokáže rozpoznať a prečítať. Sensorové pole je konštruované ako mriežka pixelov, z ktorých každý reaguje na infračervené vlnové dĺžky, ktoré naň dopadajú a to ich premenou na elektrický signál. Signály sú následne odoslané do procesora v hlavnom tele kamery, ktorý ich pomocou algoritmov prevedie do výstupného formátu. Ten môže byť číselný údaj o konkrétnej hodnote teploty alebo termogram – snímka rozloženia teploty na povrchu sledovaného objektu (Obr. 1).



Obr. 1 Schéma termovízie [7]

2.1 Vplyvy na meranie a neistota merania

K bezdotykovému meraniu teploty je potrebné poznať emisivitu objektu, t.j. schopnosť odrážať tepelný lúč. Emisivita je rovná pomeru intenzít žiarenia reálneho povrchu a absolútneho čierneho telesa. Intenzitu vyžarovania z reálnych povrchov zistíme, ak súčin uvedený v Stefanovom-Boltzmannovom zákone vynásobíme emisivitou daného povrchu. Stefanov-Boltzmannov zákon hovorí, že intenzita vyžarovania z povrchu čierneho telesa (emitovaný tok žiarenia delený obsahom vyžarujúcej plochy) sa rovná násobku Stefanovej-Boltzmannovej konštanty ($\sigma = 5,67E^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$) a štvrtej mocniny (absolútnej) teploty telesa. [1]

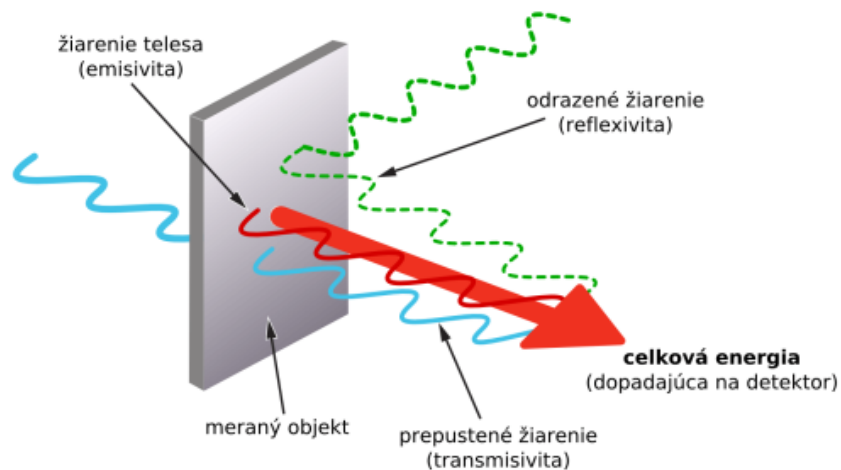
$$W_b = \sigma.T^4 [\text{W.m}^{-2}]$$

(1)

Meranie IR časti elektromagnetického spektra (infračerveného žiarenia) ovplyvňuje atmosféra, pričom dochádza k oslabeniu toku žiarenia.

Pri termovíznom meraní sníma termovízna kamera tepelné žiarenie objektu i odrazené žiarenie z okolia na jeho povrch (Obr. 2).

Termovízne meranie preto vyžaduje určité parametre, bez ktorých nie je možné teplotu vyhodnotiť a je nutné namerané parametre korigovať. [2]



Obr. 2 Princíp IR merania teploty a vplyv emisivity na presnosť merania

Každá termokamera zobrazuje informáciu o nastavenej emisivite na displeji, aby bolo možné posúdiť správnosť merania. Na proces merania IR žiarenia pôsobia okrem emisivity aj vonkajšie vplyvy:

- odrazy slnečných lúčov,
- teplota okolia,
- koncentrácia vody v ovzduší (dážď, hmla),
- rýchlosť vetra.

3 APLIKAČNÉ MOŽNOSTI IR TERMOGRAFIE

Podstatou termovízneho snímkovania, alebo presnejšie termografie je znázornenie rozloženia povrchovej teploty pomocou merania intenzity infračerveného žiarenia z povrchu. Výsledkom merania je termovízna snímka (termograf), na ktorej sa dajú presne lokalizovať problémové miesta s narušeným teplotným poľom. Termografia je jeden z najefektívnejších spôsobov ako určiť tepelné úniky a tepelné rozdiely na sledovanom povrchu metódou snímania vyžarovaného IR žiarenia z povrchu snímaného objektu.

3.1 Termovízna diagnostika

Termovízna diagnostika sa v súčasnosti využíva v rôznych odvetviach a pri rôznych aplikáciách ako sú údržba a diagnostika zariadení a strojov, riadenie technologických procesov, ekológia, stavebníctvo, priemysel, medicína, armáda, výskum a vývoj a pod.. V priemyselnej oblasti je termografiu možné využiť pri hľadaní úniku tepla z budov, detekcii prehrievania prístrojov, určovaní porúch, sledovaní elektrických vedení a ich poškodenia, kontrole potrubia, zaťažení motorov atď. Včasné informácie o teplote a následné varovanie môže výrazne ovplyvniť rozhodnutie operátora. Správne riadený zásah môže zabrániť rozsiahlemu poškodeniu alebo zabrániť úplnému zničeniu pozorovaného objektu.

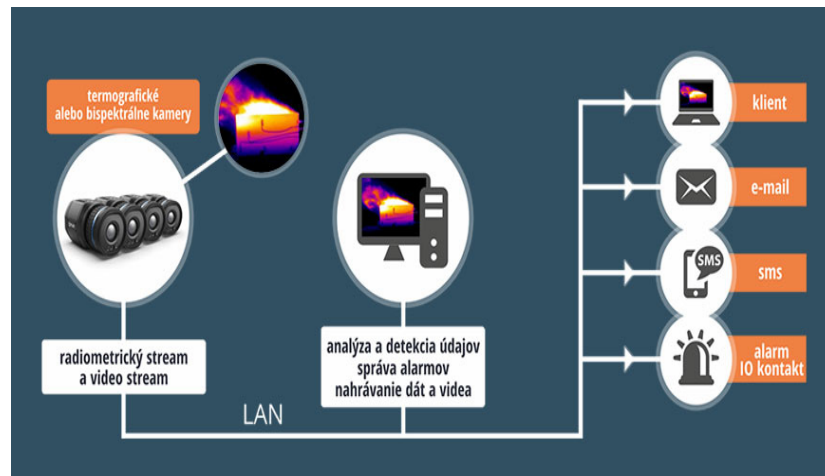
3.2 Softvérová podpora

Pomocou inteligentného softvéru sa v reálnom čase vyhodnocujú údaje o pozorovanom objekte/priestore, ktorý je nepretržite monitorovaný termografickými kamerami tak, že videostream (infračervené a viditeľné spektrum) vrátane nasnímaných teplotných dát sa priebežne prenáša z kamier do centrálného riadiaceho systému. Monitorovací systém sa skladá z troch základných subsystémov (Obr. 3) :

- termografické/bi-spektrálne kamery, ktoré sú nainštalované na mieste a nepretržite monitorujú teplotu pozorovaného objektu,

- infraštruktúra na prenos údajov o signáli a teplote,
- systém správy alarmov, ktorý zaznamenáva a vyhodnocuje teplotné údaje z termografických kamier v reálnom čase.

Moderné systémy umožňujú riešenia typu riešenie klient/server, t.j. navrhovať rozsiahle systémy s väčším počtom pracovných staníc s pripojením až 24 kamier. Sú určené aj pre nepretržitú prevádzku a automatickú detekciu prekročenia prednastaveného teplotného prahu alebo preddefinovaného teplotného gradientu.



Obr. 3 Monitorovací systém na diagnostiku teploty [6]

Softvér týchto termovízných kamier je špeciálne navrhnutý aj na vedecko-výskumné využitie a ponúka všetky funkcie ako napr. [6]:

- kompletná analýza termografických snímok (meracie oblasti, teplotný profil, izotermy, histogram),
- možnosti analýzy rádiometrických dát tiež v reálnom čase,
- analýza časových radov pri urobených sekvenciách,
- pokročilá práca s rádiometrickým RAW videom, vrátane strihu, zlučovania sekvencií a pod.
- analýza zaznamenaných údajov o teplote:
 - vizuálne prehrávanie termografického toku ako videa (IR spektrum),
 - grafický - časový priebeh teploty pre vybrané teplotné body/oblasti.

Obrazy vytvorené termokamerou - termovízne snímky, resp. termogramy môžu mať rôzny počet farebných paliet (obvykle 5 až 10), aby si ich užívateľ mohol prispôsobiť svojim požiadavkám.

3.3 Termokamery tretej generácie

Vývoj termovíznej diagnostiky napreduje, skúmajú sa nové metódy monitorovania a diagnostiky v dnešnom svete neznámych hrozieb, ako sú napr. aplikácie na zabezpečenie dopravných uzlov, hraničných kontrolných priechodov, ochrana majetku infraštruktúry a pod., u ktorých sú rôzne prevedenia:

- Termokamery osadené v dronoch (UAV), ktoré na nedostupných miestach napomáhajú, napr. k detekcii porúch (zelených striech, solárnych panelov, bezpečnostných zložkách a pod.) a zoznam prípadov použitia bezposádkových lietadiel vybavených termovíznymi kamerami sa neustále rozširuje [4].
- Dostupné mobilné aplikácie – nočné videnie, aplikácia využíva fotoaparát smartfónu na vykreslenie realistických tepelných snímok.
- Termokamery, ako rozšírenie USB smartfónov.

- Hybridné systémy, tvorené kombináciou tepelných a viditeľných senzorov, ktoré sú v mnohých aplikáciách lepšie aplikovateľné alebo používané ako doplnkové ku konvenčným kamerám s viditeľným spektrom.
- Technológie diaľkového prieskumu Zeme vybavené na získavanie informácií o sledovaných objektoch aj na veľké vzdialenosti.

4. ZÁVER

Termovízia má mnoho výhod oproti tradičným metódam merania teploty. Je to neinvazívny spôsob merania a výsledky testov sú dostupné v reálnom čase. Jej priemyselné, medicínske, či environmentálne aplikácie ponúkajú zaujímavé možnosti využitia, ktoré sa budú nepochybne naďalej zvyšovať. Na hodnoverné ako aj presné výsledky je však už v štádiu analýzy termografov potrebná znalosť experimentálnych obmedzení a neistôt merania, aby bolo možné presne a správne stanoviť závery o skutočnej teplote meraného objektu. Aj napriek mnohým výhodám bezkontaktného merania teplôt, môžu však byť v niektorých prípadoch kontaktné metódy merania teploty nevyhnutnou súčasťou meraní, napr. na overenie správnosti údajov získaných IR technikou alebo pri nesprávnom nastavení vstupných veličín o objekte merania (permisivita, materiál a pod.).

Termálne zobrazovanie, kedysi odsunuté do sféry sci-fi a vojenských aplikácií, sa vyvinulo do všestrannej a široko používanej technológie s aplikáciami od priemyselných procesov a lekárskej diagnostiky až po pátracie a záchranné operácie. Drony, tzv. bezpilotné lietadlá (UAV) vybavené termovíznymi kamerami významne prispeli vo vedeckom výskume a stávajú sa stále častejšie využívanými prostriedkami ako vo výskume, tak aj v praxi. Prax dokazuje ich široké nasadenie v najrozmanitejších aplikáciách. Vysoká aplikovateľnosť týchto prostriedkov je spôsobená vývojom a zdokonaľovaním nových techník z oblasti tepelného zobrazovania a metód na riešenie zložitých úloh v rôznych odvetviach.

Pod'akovanie [zaradenie príspevku] - Acknowledgments

Tento príspevok vznikol v rámci projektu APVV-21-0120.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] ŠIMKO, M. – CHUPÁČ, M.: Termovízia a jej využitie v praxi. Žilina: Žilinská univerzita, 2007. s. 94. ISBN 978-80-8070-654-8.
- [2] ŽIVČÁK, J. – HUDÁK, R. – TKÁČOVÁ, M.: Termovízna diagnostika. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2010. s. 187. ISBN 978-80-553-05333-2.
- [3] KREIDL, M.: Měření teploty - senzory a měřicí obvody. Praha: BEN – technická literatura, 2005. s. 239. ISVB 80-7300-145-4.
- [4] SOSNOWSKI, T. - BIESZCZAD, G. - MADURA, H. - KASTEK, M. : Thermovision system for flying objects detection," 2018 Baltic URSI Symposium (URSI), Poznan, Poland, 2018, pp. 141-144, doi: 10.23919/URSI.2018.8406757.
- [5] Thermovision. [online]. 2021. [cit. 20-03-2023]. Dostupné na internete: <https://www.spc.sk/en/services/energy-efficiency/thermovision.html>
- [6] www.tglobal.eu/sk/systemy-a-produkty/t-thermal-monitoring . [cit. 20-03-2023].
- [7] IR thermovision principle - Bing [cit. 20-09-2023].