

DOI: <https://doi.org/10.54937/2024.9788056111024.38-44>

## ODHAĽOVANIE BUDÚCNOSTI: TERMOVÍZNE DRONY VO VEDECKÝCH APLIKÁCIÁCH

✉ Valéria EIBEN<sup>1</sup> - ✉ Ružena KRÁLIKOVÁ<sup>2</sup>

## UNVEILING THE FUTURE: THERMAL IMAGING DRONES IN SCIENTIFIC APPLICATIONS



<sup>1</sup> Kokopelli, s.r.o., Lomonosovova 36, 040 01 Košice | 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](mailto:lilly.eiben@gmail.com)

ORCID iD: 0009-0006-5187-8034

<sup>2</sup> 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](mailto:ruzena.kralikova@tuke.sk)

ORCID iD: 0000-0002-9231-7886

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

**i** Publisher's Note: Catholic University in Ružomberok stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. Copyright: © 2024 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.

### ABSTRAKT

Technológia termálneho zobrazovania, v spojení s všestrannosťou dronov, priniesla revolúciu do vedeckého výskumu, priemyselných aplikácií a rôznych oblastí, ktoré si vyžadujú pokročilý zber údajov. Článok skúma transformačný vplyv termovíznych dronov, pričom sa skúmajú ich technologické vlastnosti, aplikácie a nové poznatky, ktoré poskytujú v rôznych odboroch. Tento článok sa zaoberá konvergenciou technológie dronov a termovízneho zobrazovania, pričom skúma synergie, ktoré viedli k vzniku celého radu inovatívnych aplikácií.

**Kľúčové slová:** termálne zobrazovanie, drony, modelovanie, simulácia, infračervené žiarenie

## ABSTRACT

*Thermal imaging technology, coupled with the versatility of drones, has revolutionized scientific research, industrial applications, and various fields requiring advanced data acquisition. The article explores the transformative impact of thermal imaging drones, examining their technological features, applications, and the novel insights they provide across different disciplines. This article delves into the convergence of drone technology and thermal imaging, exploring the synergies that have given rise to an array of innovative applications.*

**Keywords:** *thermal imaging, drones, modelling, simulation, infrared radiation*

## ÚVOD

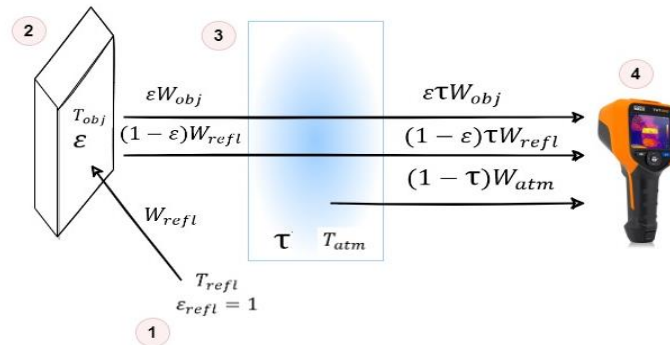
Termovízne zobrazovanie, kedysi odsúvané do oblasti sci-fi a vojenských aplikácií, sa vyvinulo do univerzálnej a široko používanej technológie s aplikáciami od priemyselných procesov a lekárskej diagnostiky až po pátracie a záchranné operácie. Drony alebo bezpilotné lietadlá (UAV) vybavené termovíznymi snímačmi zmenili pravidlá hry vo vedeckom výskume. Bepilotné lietadlá sa stali čoraz komickejšími a je dôležité pochopiť, ako fungujú, najmä odkedy sa dostali do civilnej sféry. Prax ukazuje, ako sa bezpilotné lietadlá čoraz viac využívajú v mnohých aplikáciách. [8]

## 1 TERMOVÍZNE ZOBRAZOVANIE

V súčasnosti sa v mnohých ďalších odvetviach využívajú systémy termovízie, nakoľko ponúkajú viaceré výhody: [4]

- kontrola kvality priemyselných procesov,
- zisťovanie chýb a porúch v kritických a strategických zariadeniach a objektoch,
- banský, petrochemický a stavebný priemysel,
- stavebníctvo, strojárstvo, elektrotechnika,
- monitorovanie životného prostredia,
- priemyselné automatizačné systémy,
- ochrana a záchranné operácie,
- automobilový priemysel – prevencia dopravných nehôd,
- medicína – na prevenciu šírenia chorôb, na diagnostiku ľudského zdravia atď.

Teplota, ako veľmi často meraný fyzikálny parameter, poskytuje informácie o vnútornej energii objektov a jej regulácia alebo riadenie je dôležité v mnohých priemyselných procesoch a v rôznych oblastiach života.[7] Meranie teploty môžu zabezpečovať štandardné kontaktné alebo bezkontaktné snímače teploty. Infračervené snímače teploty, ktoré sú v súčasnosti na veľmi vysokej technickej úrovni, poskytujú širokú škálu aplikácií na bezkontaktné meranie teploty. Tieto snímače využívajú jedinečný princíp merania, ktorý spočíva v meraní energie odrazenej od každého telesa v priestore s teplotou vyššou ako absolútna nula. Vďaka technologickému pokroku v oblasti termovízných systémov je táto technológia čoraz viac dostupná širokej verejnosti pri jej každodennom používaní. Technológia funguje tak, že zachytáva emisie elektromagnetického spektra - infračervené žiarenie vyžarované ako teplo telesom alebo objektom (živým alebo inertným), čo umožňuje tieto prvky pozorovať a/alebo z nich vytvárať obrazy. Princíp infračerveného zobrazovania pomocou termokamery prijímajúcej žiarenie (Obr. 1).



Obr. 1 – Princíp skenovania objektu

Legenda k obrázku 1:

- 1 – prostredie (zdroj tepla, napr. slnko, lampa atď.)
- 2 – objekt
- 3 – atmosféra
- 4 – kamera.

Pri rôznych typoch meraní je dôležité dodržiavať podmienky v závislosti od miesta merania. Ak sa meranie uskutočňuje vonku, dôležité sú aj atmosférické podmienky. Teplota objektu  $T_{obj}$  sa vypočíta podľa rovnice (1). Ostatné parametre sa musia nastaviť v kamere. [3]

$$T_{obj} \quad (1)$$

Kde:

$s$  – Stefan Boltz. Konštanta,  $s = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-4}$

$\epsilon$  – emisivita objektu

$t$  – transmisia atmosféry

$w$  – Relatívna vlhkosť vzduchu

$T_{atm}$  – teplota atmosféry

$D_{obj}$  – vzdialenosť kamery od meraného objektu

$T_{refl}$  – Efektívna teplota okolia alebo odrazená teplota.

## 2 TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI

### 2.1 TEPELNÉ SENZORY S VYSOKÝM ROZLIŠENÍM

Termovízne drony sú vybavené snímačmi s vysokým rozlíšením, ktoré dokážu zachytiť podrobné tepelné údaje, čo umožňuje presné meranie teploty a tepelné mapovanie.

### 2.2 PRENOS ÚDAJOV V REÁLNO M ČASE

Pokročilé termovízne drony sú navrhnuté s možnosťou prenosu údajov v reálnom čase, čo umožňuje výskumníkom monitorovať a analyzovať tepelné zmeny priamo na mieste. [2]

### 2.3 INTEGROVANÉ SYSTÉMY GPS A NAVIGÁCIE

Integrované systémy GPS a navigácie zvyšujú presnosť termovíznych dronov a umožňujú presné priestorové mapovanie a vytváranie termálnych modelov.

### 2.4 SCHOPNOSŤ AUTONÓMNEHO LETU

Mnohé termovízne drony sú vybavené schopnosťami autonómneho letu, čo umožňuje vopred naprogramované letové trasy a uľahčuje efektívny zber údajov na veľkých plochách. [2]

### 3 APLIKÁCIE

#### 3.1 MONITOROVANIE ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA

Termovízne drony prispievajú k environmentálnym štúdiám tým, že poskytujú tepelné údaje v reálnom čase na hodnotenie ekologického zdravia, monitorovanie biodiverzity a identifikáciu zmien v štruktúre vegetácie.

#### 3.2 NASADENIE V POĽNOHOSPODÁRSTVE

V poľnohospodárstve tieto drony pomáhajú pri riadení plodín, pretože umožňujú poľnohospodárom posúdiť zdravotný stav plodín, určiť potreby zavlažovania a odhaliť napadnutie škodcami na základe teplotných rozdielov.

#### 3.3 PÁTRACIE A ZÁCHRANNÉ OPERÁCIE

Termovízne drony sú neoceniteľné pri pátracích a záchranných misiách, pomáhajú lokalizovať nezvestné osoby, identifikovať preživších v oblastiach postihnutých katastrofou a vykonávať nočné operácie. [1]

#### 3.4 PRIEMYSELNÉ INŠPEKCIE

Pri priemyselných aplikáciách termovízne drony uľahčujú inšpekcie konštrukcií, elektrických systémov a potrubí, pričom identifikujú potenciálne poruchy, úniky alebo štrukturálne problémy.

#### 3.5 OCHRANA VOĽNE ŽIJÚCICH ŽIVOČÍCHOV

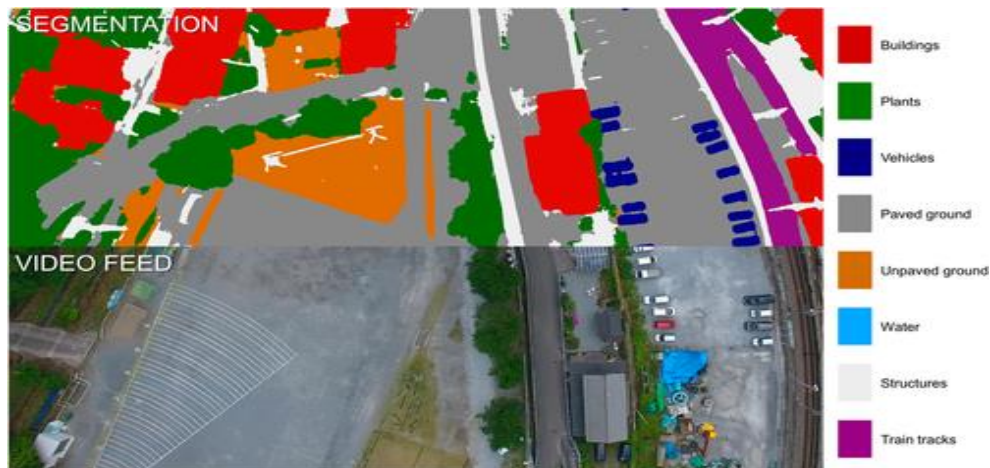
Pri ochrane voľne žijúcich živočíchov pomáhajú termovízne drony pri monitorovaní populácií zvierat, sledovaní migračných modelov a boji proti pytliactvu. [1]

### 4 POKROK V TECHNOLOGII

Výrobcovia neustále zlepšujú rozlíšenie, citlivosť a celkový výkon termokamier aj dronov. Väčšina aplikácií využíva nasledujúce trendy: [5]

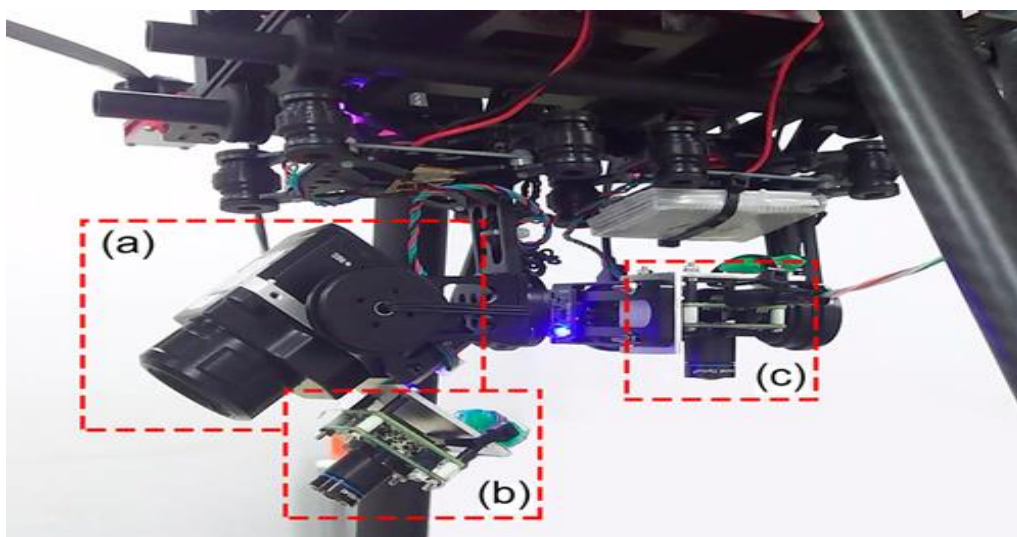
#### 4.1 INTEGRÁCIA S UMELOU INTELIGENCIOU A STROJOVÝM UČENÍM

Dochádza k vývoju v oblasti integrácie algoritmov umelej inteligencie (AI) a strojového učenia (ML) s termovíziou. To by mohlo zlepšiť analýzu a interpretáciu termálnych údajov pre rôzne aplikácie. Ide o vývoj systémov, ktoré dokážu analyzovať termálne údaje za chodu, čo umožní bezpilotným lietadlám prijímať informované rozhodnutia počas misií. Drony vybavené termovíznymi kamerami sa ukázali ako neoceniteľné pri pátracích a záchranných misiách, najmä pri lokalizácii nezvestných osôb v náročnom teréne alebo v noci. Komponent umelej inteligencie (AI) dronu na monitorovanie a hliadkovanie úloh spojených s misiami na pomoc pri katastrofách. Komponent AI využíva modely hlbokého učenia na rozpoznávanie prostredia a detekciu objektov. Na rozpoznávanie prostredia na základe obrázkov RGB (Obr. 2) sa používa sémantická segmentácia alebo označovanie na základe pixelov. Detekcia objektov je kľúčová pre detekciu a lokalizáciu ľudí v núdzi. Keďže ľudia sú z pohľadu dronu relatívne malé objekty, používame RGB aj termálne snímky. [5]



Obr. 2 – Ukážka rámca zo sémantického segmentačného modelu

Drony skenujú oblasť katastrofy s cieľom zistiť a lokalizovať ľudí. Ešte dôležitejšou úlohou je určiť a vypočítať pozemnú trasu vedúcu k zisteným osobám. Je potrebné identifikovať cesty zablokované zosuvmi pôdy alebo spadnutými stromami, pretože tie by mohli zabrániť záchranným vozidlám dostať sa k ľuďom v núdzi. Systém používa tri kamery: dve kamery RGB a jednu termokameru. Zatiaľ čo jedna kamera RGB namierená smerom nadol sa používa ako vstup pre zložku sémantickej segmentácie, zložka na detekciu osôb využíva obe kamery RGB a termokameru, ktoré sú namierené pod uhlom 45°. Kamery sú namontované na kardanovom hriadelí (Obr. 3), ktorý ich udržiava stabilné, nezávislé od pohybu dronu. [5]



Obr. 3 – Termokamera FLIR Vue Pro 640 (a) namontovaná na kardanovom systéme pod dronom. Dve nainštalované kamery e-con Systems See3CAM: jedna (b) pripevnená ku kamere FLIR, s uhlom sklonu 45° dopredu a druhá (c) smerujúca 90° nadol, pre úlohu segmentácie. Kamery (a) a (b) boli použité na detekciu ľudí.

#### 4.2 VÝSKUMNÉ a VÝVOJOVÉ INICIATÍVY

Správy o výskumných iniciatívach, spolupráci alebo partnerstvách medzi výrobcami dronov, výrobcami termokamier a výskumnými inštitúciami by mohli naznačovať nadchádzajúce prelomové objavy v oblasti termovíznej technológie. Partnerstvá medzi výrobcami dronov, výrobcami termokamier a výskumnými inštitúciami môžu zahŕňať vývoj sofistikovaných algoritmov na spracovanie obrazu a analytického softvéru. Tým sa zvýši schopnosť dronov interpretovať termálne údaje, čo poskytne zmysluplnejšie poznatky v reálnom čase. Spolupráca sa často zameriava na

integráciu pokročilých senzorov do menších a ľahších dronov. Miniaturizácia termovíznej technológie je kľúčom k rozšíreniu rozsahu aplikácií a zlepšeniu výkonu dronov. Výskumné inštitúcie môžu spolupracovať s výrobcami dronov a termokamier na vývoji špecializovaných systémov na monitorovanie životného prostredia a klimatické štúdie. Ide o zber termálnych údajov s vysokým rozlíšením na analýzu teplotných zmien v ekosystémoch. [5] Prebiehajúci pokrok v technológii termovíznych dronov zahŕňa zlepšenie rozlíšenia snímačov, zvýšenie času letu a integráciu umelej inteligencie na zlepšenie analýzy údajov. Budúce vyhliadky zahŕňajú pokračujúcu integráciu týchto technológií v rôznych vedeckých a priemyselných aplikáciách. [8]

## DISKUSIA

Prínosy termovízneho zobrazovania boli mnohokrát overené. v mnohých prípadoch je termodiagnostika nenahraditeľná alebo ťažko nahraditeľná inými diagnostickými metódami. Vizualizácia prenosu tepla a teploty sa dá využiť v rôznych inžinierskych aplikáciách prostredníctvom prístupu modelovania a simulácie. Poskytnutím počiatkových údajov otvára cestu k hĺbkovej analýze a preniknutiu do technických intímností riešenia problémov. Jej používanie sa stalo dôležitejším a populárnejším najmä po zavedení počítačových simulačných techník. [6] Využitie termovízie je jedným z možných zdrojov vstupných údajov, ktoré možno využiť prostredníctvom simulácie a modelovania prenosu tepla, prípadne na ďalšie spracovanie. Na modelovanie a simuláciu parametrov procesného inžinierstva rôznych operácií a na iné aplikácie, kde sa vyžaduje tepelné zobrazovanie, sa často používa niekoľko softvérových nástrojov, ako napríklad FLUENT, Modelica, FEMLAB, APROS (Performance Dynamic Simulation), BALAS (Conceptual Process Design), Chem Sheet (Process Chemistry), Kiln Simu (Rotary Furnace Simulator) atď.

## ZÁVER

Spojenie možností termovízie s technológiou dronov predstavuje skok vpred vo vedeckom výskume a aplikáciách. Termovízne drony poskytujú výskumníkom bezprecedentný prístup k tepelným údajom v reálnom čase, čím odomykajú nové možnosti pochopenia a riešenia komplexných výziev v rôznych odboroch. Keďže sa technológia naďalej vyvíja, plný potenciál termovíznych dronov, vo vedeckom úsilí, sa ešte len naplno využije, čo sľubuje pokračovanie inovácií a transformačných poznatkov.

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] NIRANJAN, S.K. (2020). Proceedings of the International Conference on Smart Technologies in Computing Electrical and Electronics. - (ICSTCEE 2020)
- [2] ALSAMHI, S.H. - ALMALKI, F.A. - AFGHAH, F. - HAWBANI, A. - SHVETSOV, A.V. - LEE, B. (2022). "Drones' edge intelligence over smart environments in B5G: Blockchain and federated learning synergy". –Publisher: IEEE Trans: Green Commun. Netw., 295-312 p. <https://doi.org/10.1109/TGCN.2021.3132561>
- [3] BRZEZINSKI, R.Y.- RABIN, N. - LEWIS, N. (2021). Automated processing of thermal imaging to detect COVID-19. –Publisher: Scientific Reports, Volume 11, 1-10 p. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96900-9>
- [4] MANULLANG, M.C.T. -LIN, Y.H. -LAI, S.J. - Chou, N.K. (2021). Implementation of Thermal Camera for Non-Contact Physiological Measurement: a Systematic Review. –Publisher: Sensors, 21 p. <https://doi.org/10.3390/s21237777>
- [5] LIU, L. - OUYANG, W. - WANG, X. - FIEGUTH, P. -CHEN, J.(2020). Deep learning for generic object detection: a survey. –International Journal of Computer Vision, 261–318 p. <https://doi.org/10.1007/s11263-019-01247-4>
- [6] VOLLMER, M.– MOLLMANN, K.P. (2011). Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications. - Publisher:Wiley; Weinheim, Germany, 612 p. <https://doi.org/10.1002/9783527630868>

- 
- [7] PETROCELLI, S. - SENTENAC, T. (2014). Yannick Le Maout: 3D Thermal Imaging: An approach towards truefield temperature measurement, QIRT 2014 - 12th International conference on Quantitative Infrared Thermography, Bordeaux France, 10 p.  
<https://doi.org/10.21611/qirt.2014.094>
- [8] NGUYEN, T. X. B. K. - Chahl, J. (2021) a review of modern thermal imaging sensor technology and applications for autonomous aerial navigation. –Publisher: J. Imag., Volume 7, 217 p.  
<https://doi.org/10.3390/jimaging7100217>