

*bryg. prof. dr hab. Janusz RYBIŃSKI*  
*Zakład Fizyki i Chemii, SGSP*

## ZASTOSOWANIA TERMOWIZJI W INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA

W artykule opisano sposoby wykorzystania kamer termowizyjnych w działaniach ratowniczo-gaśniczych jednostek Państwowej Straży Pożarnej. Przedstawiono wybrane zastosowania termowizji w inżynierii bezpieczeństwa.

In the article ways to use infrared cameras in the activities of rescue and fire fighting units of the State Fire Service were described. It presents selected applications in infrared safety engineering.

**Słowa kluczowe:** kamera termalna, pożar, gaszenie pożaru

**Key words:** thermal camera, fire, fire fighting

### 1. Wstęp

W wyposażeniu Państwowej Straży Pożarnej w Polsce znajduje się ponad sto kamer termalnych. Większość z nich służy do prowadzenia akcji ratowniczo-gaśniczych. Są na wyposażeniu jednostek PSP w dużych miastach oraz w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. W większości są to kamery obserwacyjne specjalnie skonstruowane do prowadzenia akcji ratowniczo-gaśniczych (Talisman, Hornet). Spełniają one ostre wymagania odpornościowe na zabrudzenia, wstrząsy, wilgoć i wysoką temperaturę. Są bardzo proste w obsłudze. Operuje się nimi za pomocą dwóch lub trzech przycisków, które można włączać w rękawicach.

Kopalnie, zakłady petrochemiczne, wytwórnie nawozów sztucznych i inne duże zakłady przemysłowe mają również kamery termowizyjne, które mogą wspomóc działania ratownicze.

W wyposażeniu jednostek PSP znajdują się również kamery termalne przeznaczone do profilaktyki pożarowej. Są to zwyczajne kamery pomiarowe lub obserwacyjne, stosowane w przemyśle i w placówkach naukowo-badawczych, które nie muszą spełniać wymagań odpornościowych. W stosunku do państw z naszego sąsiedztwa, takich jak Czechy, Serbia, Słowacja, Węgry, Ukraina, Białoruś i Litwa, liczba kamer termowizyjnych będących w dyspozycji straży pożarnej jest imponująco duża.

W 1997 r. Komenda Główna PSP zakupiła 13 kamer termowizyjnych typu Talisman i przekazała je jednostkom terenowym. W następnych latach kupowano kamery różnych typów, w zależności od potrzeb i od posiadanych środków. Talisman ISG jest prostą kamerą obserwacyjną, skonstruowaną specjalnie dla działań operacyjnych straży pożarnej. Działa w zakresie spektralnym 8–14  $\mu\text{m}$ . Jest odporna na zabrudzenia i wstrząsy, waży 2,7 kg z bateriami. Kamera jest wyposażona w system chroniący detektor przed przeciążeniem. Obsługa kamery nie przysparza strażakom żadnych kłopotów. Obecnie kamera ta jest już przestarzała, głównie ze względu na duże rozmiary oraz ciężar i jest zastępowana przez kamery mniejsze, lżejsze, poręczniejsze i nowocześniejsze, takie jak np. Hornet.

Kamera termowizyjna stała się sprzętem, który na stałe wszedł w wyposażenie straży pożarnej. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 22 września 2000 r., w sprawie szczegółowych zasad wyposażenia jednostek organizacyjnych Państwowej Straży Pożarnej, określa minimalne wyposażenie na obszarze działania komendy PSP. Każda komenda wojewódzka i powiatowa (w powiatach o liczbie ludności przekraczającej 200 000 mieszkańców) powinna posiadać przenośną kamerę termowizyjną.

Kamery termowizyjne stanowią podstawowe wyposażenie specjalistycznych grup poszukiwawczych, działających w światowym systemie ratownictwa pod nazwą USAR (Urban Search and Rescue). Uczestniczyły one w akcjach przeszukiwania gruzowisk po katastrofach budowlanych i trzęsieniach ziemi (Turcja, Haiti). W tych przypadkach kamery okazały się mało przydatne. Sprawdziły się natomiast psy poszukiwawcze i geofony. Z relacji ratowników wynika, że podczas rozbiórki gruzowisk, po trzęsieniu ziemi, rozgrzane na powierzchni przez słońce fragmenty gruzu wpadały do szczelin i w kamerze termowizyjnej był obraz mnóstwa świecących punktów, które uniemożliwiały obserwację.

## 2. Wykorzystanie kamer termowizyjnych w akcjach ratowniczo-gaśniczych

W programie meldunkowym SWD ST nie odnotowuje się faktu użycia kamery termowizyjnej. Dlatego bardzo trudno jest sporządzić statystykę wykorzystania kamer termowizyjnych w akcjach ratowniczo-gaśniczych. Przy zbieraniu informacji korzystano z pomocy aspirantów, studentów SGSP w systemie niestacjonarnym. Z analizy dokumentacji tworzonej przez Państwową Straż Pożarną, a także z relacji strażaków wynika, że kamery termiczne są wykorzystywane na wiele sposobów w zależności od sytuacji. Wykorzystywane są głównie do:

- przeszukiwania zadymionych pomieszczeń,
- lokalizacji źródeł ognia w zsykach,
- lokalizacji źródeł ognia w wolnych przestrzeniach między stropami lub ścianami,
- kontroli temperatury schładzanych elementów budynku,
- poszukiwania osób zaginionych w terenie.

Przeszukiwanie zadymionych pomieszczeń należy do ważnych i wyjątkowo niebezpiecznych zadań. Od efektywności tego działania zależy, czy uda się uratować poszkodowanych przez pożar. Do tego celu pomocne są kamery termalne. Kamery stosuje się do poszukiwania źródeł ognia, jak również do poszukiwania ofiar pożaru. Ofiar poszukuje się w pomieszczeniu objętym pożarem i w pomieszczeniach sąsiednich. Toksyczne produkty spalania, szczególnie tlenek węgla, mogą spowodować zatrucie osób znajdujących się w strefie zadymienia. Zdarza się, że osoby te znalazły się w obszarze pożaru podczas snu. W takich przypadkach kamera ratuje życie, bo umożliwia dokładniejsze i szybsze przeszukiwanie pomieszczenia. W zadymionych pomieszczeniach widoczność jest bardzo ograniczona. Strażacy poruszają się po omacku. Po polaniu ognia wodą powstają kłęby pary wodnej i widzialność spada do zera. Kamera w tych warunkach zapewnia widoczność. Umożliwia zlokalizowanie źródeł ognia i odszukanie zaczadzonych osób. Bez kamery przeszukiwanie pomieszczeń i odnalezienie ofiar pożaru jest bardzo trudne i niebezpieczne. Widoczność zostaje przywrócona dopiero po oddymieniu pomieszczeń. A to trwa zwykle od kilku do kilkanastu minut. Czas ten może przesądzić o śmierci poszkodowanych. Zatrucie gazami pożarowymi jest najczęstszą przyczyną zgonów w pożarach.

Bardzo niebezpieczne dla strażaków jest przeszukiwanie piwnic. Lokatorzy trzymają w nich najróżniejsze przedmioty i materiały. Przechowują w piwnicy turystyczne butle z gazem płynnym, rozpuszczalniki, karbid i inne łatwopalne substancje. Piwnice bywają zagrażone i zakratowane. Lokatorzy wstawiają dodatkowe drzwi z przemysłowymi zamkami, zamurują okienka. Przez piwnice przechodzą rury ciepłownicze i gazowe. Piwnice są niskie, co powoduje, że strefa zadymienia sięga podłogi. Poruszanie się w tych warunkach i szukanie leżących

gdzieś w zakamarkach nieprzytomnych osób wymaga wielkiej wprawy i odwagi. Strażak, wchodząc do piwnicy, ma świadomość, że może z niej nie wyjść. W niektórych piwnicach brak jest okienek, co bardzo utrudnia oddymianie i jego czas wydłuża się. Szanse na przeżycie ludzi znajdujących się w obrębie pożaru są mniejsze. W takich przypadkach kamera jest bardzo pomocna, ponieważ poszukiwanie ofiar może być efektywnie przeprowadzone przed oddymieniem pomieszczeń. To daje cenne minuty lekarzom ratującym życie.

W wielkich miastach strażacy wyjątkowo często wyjeżdżają do pożarów śmietników i zsyków. Wykorzystanie kamery termowizyjnej do określania ciepłych miejsc na kanale zsykowym jest bardzo użyteczne. Poszukuje się ciepłych miejsc na ścianie przyległej do zsypu. Wykonuje się obrys ciepłego obszaru. Następnie wierci się otwory nad górną powierzchnią obrysu i wybija otwór w ścianie. Przez otwór wpompowuje się rozproszony strumień wody do kanału. Po odczekaniu kilkunastu minut strażacy sprawdzają, czy ściana uległa schłodzeniu. Jeśli pozostaje ciepła, trzeba dalej szukać ognia, wykonywać otwory i wpompowywać wodę do kanału. Im precyzyjniej zlokalizujemy źródło ognia, tym mniej zużyjemy wody i straty spowodowane zalaniem będą mniejsze. Do tego celu najbardziej przydatna jest kamera.

Czasami bardzo trudno jest ugasić pożar usytuowany w niedostępnych miejscach. Znajdujące się między stropami lub ścianami materiały palne, takie jak płyty pilśniowe, styropian, nagromadzone śmieci, po zapaleniu tlą się powoli z powodu utrudnionego dostępu powietrza. W ostatnich latach w Warszawie było kilka zdarzeń, w których ten sam pożar gasiły trzy zmiany. Trzeba było aż trzech dni, aby uporać się z niewielkim pożarem, ukrytym w przestrzeniach między ścianami budynków. Udało się to dopiero po zastosowaniu kamer termowizyjnych. Nie wszystkie jednostki ratowniczo-gaśnicze były wyposażone w kamery, więc wypożyczano je sobie.

Kamery termowizyjne stosowane są w fazie końcowej akcji gaśniczej: w dogaszaniu i kontroli pogorzelska. Bada się temperaturę schładzanych elementów budynków. Sprawdza się, czy gdzieś nie pozostały zarzewia pożaru. W tej fazie nie ma już tak wielkiego napięcia i pośpiechu, więc jest czas na eksperymenty ze sprzętem uzupełniającym, jakim są kamery termowizyjne. Dlatego strażacy bardzo często wykorzystują kamerę w tej fazie pożaru. Jest ona przydatna w tych działaniach.

W mniejszym stopniu kamery termalne wykorzystywano do poszukiwania zaginionych w terenie osób, szczególnie dzieci. PSP nie posiada śmigłowców, toteż tego rodzaju działania są mało skuteczne. Śmigłowce lub inne środki powietrzne (również bezzałogowe) umożliwiłyby efektywne wykorzystanie kamer podczas pożarów lasów i torfowisk.

### 3. Zastosowanie kamer termalnych i pirometrów podczerwieni w profilaktyce pożarowej

Kamery termalne, będące w wyposażeniu PSP, wykorzystywano również do innych celów niż działania ratownicze. Wykorzystywano je do badania izolacji cieplnej budynków, do kontroli instalacji elektrycznych, do kontroli wałów przeciwpowodziowych, do lokalizacji niekontrolowanych wycieków gazów, do określania poziomu cieczy w zbiornikach, do pomiaru temperatury karoserii podczas testów pożaru samochodu osobowego w pełnej skali i innych.

Niektóre jednostki PSP mają w wyposażeniu pirometry podczerwieni. Można z nich korzystać podczas poszukiwania ukrytych źródeł ognia w dylatacjach, kanałach zszypowych, w pomieszczeniach zadymionych. Strażacy dosyć sceptycznie odnoszą się do tych przyrządów, w przeciwieństwie do kamer termalnych, które są bardzo cenione. Kamery dają obraz przedmiotu i ewentualnie mierzą temperaturę w wybranym punkcie (taką opcję mają kamery zakupione w ostatnich latach, np. kamera Hornet). Pirometr wyświetla jedynie średnią wartość temperatury z niezbyt dokładnie określonego obszaru powierzchni. Podczas akcji strażak pracuje w ekstremalnych warunkach: w zagrożeniu, stresie, pośpiechu, obciążeniu wielokilogramowym sprzętem. Są to warunki dalekie od laboratoryjnych, gdzie można pirometr dokładnie ustawić i precyzyjnie wycelować na badany obiekt. Strażacy niechętnie korzystają z pirometrów w tych działaniach. Natomiast pirometry wykorzystywane są w profilaktyce pożarowej i badaniach laboratoryjnych. Pirometry podczerwieni wykorzystano do pomiaru temperatury karoserii podczas testowego pożaru samochodu osobowego [1]. Badania przeprowadzono w ramach prac magisterskich na studiach niestacjonarnych w SGSP. W eksperymencie spalono 5 samochodów wraz z kompletnym wyposażeniem. Temperaturę mierzono za pomocą termopar, kamery termalnej i pirometru podczerwieni.

Ze względu na duże nagromadzenie materiału palnego w małej przestrzeni rozwój pożaru samochodu osobowego uwarunkowany jest wentylacją. W szczelnie zamkniętym samochodzie dosyć trudno rozniecić pożar. Po zainicjowaniu pożaru za pomocą niewielkiej ilości materiału palnego ogień zostaje zduszony lub przytłumiony nawet na kilkadziesiąt minut. Dopiero po otwarciu drzwi lub rozszczelnieniu szyb pożar rozwija się z wielką dynamiką i w ciągu kilku minut temperatura wewnątrz kabiny wzrasta do około 1000°C.

Podczas testowego pożaru samochodu marki Polonez FSO zaobserwowano eksplozję siłowników klapy bagażnika. Po przejściu ognia do komory bagażnika i samorzutnym otwarciu klapy, z hukiem rozerwały się siłowniki. Jest to ostrzeżenie dla osób przebywających w pobliżu palącego się samochodu.

Badania rozwoju pożaru samochodu osobowego z użyciem kamery termalnej przeprowadzono również w Żylinie (Słowacja) [2, 3]. Były one sponsorowane przez fabrykę samochodów osobowych KIA, która dostarczyła do testów samochody (również fabrycznie nowe). Ich celem było sprawdzenie, jak zachowują się w pożarze niektóre materiały stosowane w produkcji samochodów.

Wyniki pomiaru temperatury za pomocą pirometru są zaniżone. W literaturze brak jest dokładnych danych dotyczących wartości współczynnika emisyjności powierzchni polakierowanej blachy samochodowej znajdującej się w wysokiej temperaturze, o wartości kilkuset stopni Celsjusza [4]. Pirometry wyposażone są w laserowe celowniki wskazujące środek koła pomiarowego. Pirometr ustawiony w odległości 20 m mierzył średnią temperaturę powierzchni koła o średnicy około 20 cm. Podczas pożaru wydzielala się duża ilość dymu. Dym pochłania i rozprasza promieniowanie podczerwone. Jego obecność powoduje zaniżanie wskazań pirometru. To samo odnosi się do pomiaru temperatury za pomocą kamery termalnej. Trudno jest określić wartość współczynnika emisyjności niejednorodnej i zmieniającej się w trakcie pożaru powierzchni karoserii. Samochód pokrywa się sadzą w trakcie trwania pożaru. Bardzo trudno jest przeprowadzić serię eksperymentów, w których zadymienie wokół samochodu i okopcenie blach i szyb jest powtarzalne. Dlatego pomiary temperatury za pomocą kamery termalnej należy traktować tylko jako pomocnicze. Kamera jest bardzo dobra do określania różnic temperatury, ale jest chyba mało wiarygodnym narzędziem do określania wartości temperatury w pożarze. Wiarygodne są wyniki pomiarów temperatury wewnątrz pojazdu, otrzymane za pomocą termopar.

#### 4. Badania w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie

W Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie prowadzone są badania nad zastosowaniami termowizji w inżynierii bezpieczeństwa. Dotyczą one wykrywania w tłumie osób mających podwyższoną temperaturę (przeciwdziałanie rozprzestrzenianiu się pandemii chorób zakaźnych) [5], wykrywania podpowierzchniowych defektów metodą termografii aktywnej [6], obserwacji w dymie [7], badania emisji ciepła przez niebieskie lasery na bazie GaN [8, 9]. Przeprowadzono również próby zastosowania kamery termowizyjnej do wykrywania kłamstw, w zastępstwie wariografu.

Próby wykorzystania kamer termowizyjnych do wykrywania osób zarażonych chorobami wywołującymi gorączkę przeprowadzono w 2003 r. podczas pandemii SARS w Azji Południowo-Wschodniej i w Kanadzie. Ponowiono je

w Japonii i Chinach w 2009 r. podczas pandemii świńskiej grypy (wirusa A/H1N1). Próby te nie dały jednoznacznych wyników. Podstawowym problemem, który stał na przeszkodzie, był brak standaryzacji badań. Brakowało opracowanych metod przeprowadzania pomiarów i analizy wyników. Obecnie prace nad opracowaniem standaryzacji badań prowadzi wiele ośrodków naukowych na świecie.

W Szkole Głównej Służby Pożarniczej zbadano wpływ różnego rodzaju czynników na wyniki pomiaru temperatury skóry człowieka za pomocą kamery termowizyjnej i określono warunki wiarygodnego pomiaru [5]. Badania obejmowały: aklimatyzację badanej osoby przed rozpoczęciem pomiarów, wpływ odległości kamery od osoby badanej, wpływ wysiłku fizycznego, porównanie wyników uzyskiwanych z kamer różnej klasy (z górnej i dolnej półki), wpływ stanu powierzchni skóry (makijaż) na mierzalną temperaturę. Stanowisko pomiarowe znajdowało się w pomieszczeniu wyposażonym w stały system klimatyzacyjny, zapewniający w trakcie badań stabilność temperatury w granicach od 18°C do 25°C, przy wahaniach nieprzekraczających 1°C/h.

Stwierdzono, że pełna aklimatyzacja człowieka następuje dopiero po 40 minutach od rozpoczęcia badań. Temperatura w kąciakach oczu praktycznie nie zmienia się w czasie trwania całej próby. Kąciki oczu są obszarem szczególnie ważnym do badań. Ze względu na ich niewielką powierzchnię trzeba zapewnić odpowiednio wysoką rozdzielczość przestrzenną aparatury. Wykazano, że jeśli chcemy badać ten obszar, to przy stosowaniu kamery o rozdzielczości 640 na 480 pikseli z neutralnym obiektywem, badana osoba powinna znajdować w odległości nie większej niż jeden metr. Nie stwierdzono, aby wysiłek fizyczny powodował podnoszenie mierzonej kamerą temperatury powierzchni skóry. Również makijaż kremem po czasie kilku minut nie zmienia znacząco tej temperatury. Zauważono, że pewnego rodzaju schorzenia (anormalna budowa przegrody nosowej, zmiany chorobowe w obrębie zatok) wpływają na obserwowany rozkład temperatury twarzy, nie są jednak związane z podwyższeniem ogólnej temperatury ciała.

Oprócz termografii pasywnej, która polega na rejestracji i analizie promieniowania podczerwonego samorzutnie emitowanego przez obiekt, rozwijana jest termografia aktywna. Termografia aktywna polega na pobudzeniu cieplnym lub akustycznym badanego obiektu i następnie bezkontaktowym pomiarze temperatury jego powierzchni [10]. Rozkład temperatury powierzchni wynika z dostarczonej energii oraz parametrów struktury, w tym głównie lokalnych wartości przewodności cieplnej, gęstości i ciepła właściwego. Informacja o właściwościach obiektu zawarta jest zarówno w amplitudzie sygnału, jak i jego fazie.

Termografia aktywna stosowana jest do badania jakości połączeń mechanicznych: spawów, zgrzewów, połączeń nitowych prasowanych i skręcanych. Moment obrotowy skręcania ma wpływ na fazę przebiegu czasowego temperatury. Termograficzne metody badawcze stosuje się również do badań materiałów

włókienniczych. Metody termograficzne są stosowane do badań jednorodności tych powłok oraz ich stanu i jakości. Zaletą metod termograficznych jest możliwość szybkiego pomiaru na dużej powierzchni w sposób bezkontaktowy. Tymi metodami można np. wykrywać korozję na płatach samolotu.

## 5. Podsumowanie

Kamera termalna jest przyrządem bardzo cenionym przez strażaków. Systematycznie wzrasta liczba kamer w jednostkach PSP. Preferowane są kamery obserwacyjne, wymagające prostej obsługi i mogące działać w trudnych warunkach akcji ratowniczo-gaśniczej. Kamery ułatwiają prowadzenie akcji gaśniczej, pozwalają szybciej i precyzyjniej zlokalizować źródło ognia oraz szybciej i bezpieczniej przeszukać obszar dotknięty pożarem. Czasem decydują o uratowaniu życia ofiarom pożaru. Precyzyjniejsze, dzięki użyciu kamery, określenie miejsca źródła ognia pozwala na ograniczenie zużycia środków gaśniczych, a zatem na zminimalizowanie strat spowodowanych zalaniem.

Niektóre próby zastosowania termowizji okazały się nietrafione. Można do nich zaliczyć stosowanie kamer na gruzowiskach, przy poszukiwaniu osób zaginionych w terenie (bez użycia środków powietrznych), do kontroli wałów przeciwpowodziowych. Oddanie do dyspozycji PSP śmigłowców otworzyłoby nowe możliwości zastosowań termowizji pożarnictwie.

Z przeprowadzonych badań wynika, że korzystanie z kamery do pomiaru temperatury w warunkach pożaru jest trudne. Wynika to z nieznaności współczynnika emisyjności, który zmienia się w trakcie pożaru oraz niestabilnego zadymienia.

W przeciwieństwie do kamery strażacy nie są przekonani do pirometrów podczerwieni. Nie korzystają z nich w akcjach ratowniczo-gaśniczych, chociaż są dostępne, bo ich cena jest niewielka.



## PIŚMIENICTWO

- [1] Jakubowski I.: Analiza rozkładu temperatury podczas pożaru samochodu osobowego, praca magisterska SGSP pod kierunkiem bryg. prof. J. Rybińskiego, Warszawa 2010.
- [2] Poledňák P.: Experimentálne overenie požiarov osobných motorových vozidiel, 4. medzinárodná vedecká konferencia: Ochrana pred požiarom a záchranné služby, 2–3.06.2010, Žilina.
- [3] Šlimonová M., Poledňák P.: Findigs from experimental verification of passenger motor car fires in closed space, International Conference Požární ochrana 2010, Ostrava 8–9. září 2010.
- [4] Madura H. (red.): Pomiary termowizyjne w praktyce, Agenda Wydawnicza PAK-u, Warszawa 2004.
- [5] Rybiński J., Bednarek M.: Wykrywanie anomalii temperaturowych na podstawie odwzorowania termicznego skóry, *Zeszyty Naukowe SGSP* nr 42, Warszawa 2011, w druku.
- [6] Rybiński J., Bednarek M., Jokiel A.: Stanowisko badawcze do wykrywania i identyfikacji defektów podpowierzchniowych metodą fali cieplnej, *Zeszyty Naukowe SGSP* nr 32, Warszawa 2005.
- [7] Rybiński J., Bednarek M.: Wpływ zadymienia na obserwację za pomocą kamery termowizyjnej, *Zeszyty Naukowe SGSP*, nr 28, s. 65–72, Warszawa 2002.
- [8] Perlin P., Świetlik T., Marona L., Czernecki R., Suski T., Leszczyński M., Grzegory I., Krukowski S., Nowak G., Kramer G., Czerwiński A., Plusa M., Bednarek M., Rybiński J., Porowski S.: Fabrication and properties of GaN-based lasers, *Journal of Crystal Growth* nr 310 (2008) 3979–3982.
- [9] Rybiński J., Bednarek M., Wiśniewski P., Świetlik T.: Application of microscope thermography in testing temperature distribution in a semiconductor laser, *Optica Applicata*, nr 40 (3) 2010, s. 609–614.
- [10] Maldague X., Galmiche F., Ibarra-Castaneda C., Ziadi A.: Review of pulse phase thermography. IV Konferencja Krajowa Termografia i Termografia w Podczerwieni, Ustroń, 14–16 listopada 2002.

## S U M M A R Y

*bryg. prof. dr hab. Janusz RYBIŃSKI*

### USING OF THERMOVISION IN SAFETY ENGINEERING

The document presents the types of thermal imagers in which units in the State Fire Service are equipped. It was discussed how to use them in rescue and firefighting operations. The possibilities of using infrared cameras to emergency measures, infectious disease epidemic were also discussed. It presents the results of research into the prevention of fire using infrared cameras and also the results of investigations of a fire car, which was used to measure the emergency of the infrared pyrometer and infrared camera.