

prof. dr hab. Janusz RYBIŃSKI
mgr Michał BEDNAREK
Zakład Fizyki i Chemii, SGSP

WYKRYWANIE ANOMALII TEMPERATUROWYCH NA PODSTAWIE ODWZOROWANIA TERMICZNEGO SKÓRY

W artykule zbadano wpływ różnego rodzaju czynników na wynik pomiaru temperatury skóry człowieka wykonywanego za pomocą kamery termowizyjnej. Określono warunki wiarygodnego pomiaru. Porównano wyniki uzyskane za pomocą kamer różnej klasy.

In this paper the authors present the results of study of the influence of different parameters on the human skin temperature measurement using thermal imaging camera. The results obtained, using cameras of different class, were compared. The conditions for reliable measurement were specified.

Słowa kluczowe: termogram, kamera termowizyjna, pandemia

Key words: thermogram, thermal camera, pandemium

1. Wstęp

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 [1, 2]. 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 [3, 4].

Pomiarowa kamera termowizyjna może stać się bardzo przydatnym narzędziem do wykrywania osób zarażonych chorobami wywołującymi gorączkę. Aby to narzędzie dawało powtarzalne wyniki, trzeba określić standardy gwarantujące możliwość porównania wyników badań prowadzonych w różnych miejscach przez różnych operatorów. Należy przyjąć, że pomiary będą wykonywane automatycznie i po przetworzeniu w czasie nie dłuższym niż kilka sekund ich wynik będzie przekazywany operatorowi.

2. Zakres badań

Badania przeprowadzono w Szkole Głównej Służby Pożarniczej na stanowisku pomiarowym zbudowanym w ramach pracy finansowanej przez MNiSW (S/E-422/4/08/09/10) [5]. Stanowisko pomiarowe znajdowało się w pomieszczeniu wyposażonym w stały system klimatyzacyjny, zapewniający w trakcie badań stabilność temperatury w granicach od 18 do 25°C, przy wahaniami nieprzekraczających 1°C/h.

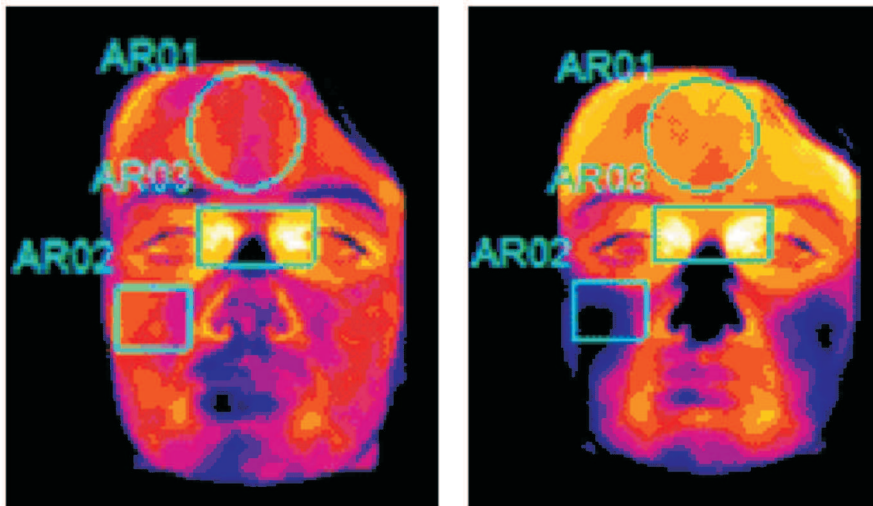
Celem pracy było zbadanie wpływu różnego rodzaju czynników na wynik pomiaru temperatury skóry człowieka, wykonywane kamerą termowizyjną, oraz określenie warunków wiarygodnego pomiaru. Przeprowadzone badania obejmowały:

- aklimatyzację badanej osoby przed rozpoczęciem pomiarów,
- wpływ odległości kamery od osoby badanej,
- wpływ wysiłku fizycznego,
- porównanie wyników uzyskiwanych z kamer różnej klasy,
- wpływ stanu powierzchni skóry (makijaż) na mierzalną temperaturę.

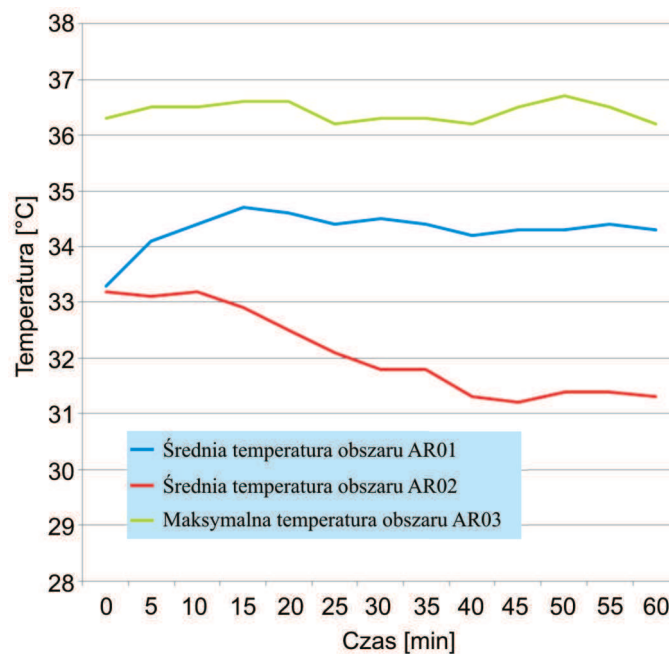
3. Aklimatyzacja osoby badanej

W celu określenia wpływu czasu na temperaturę powierzchni skóry przeprowadzono pomiary temperatury twarzy w trakcie aklimatyzacji w pomieszczeniu badawczym. W dniu, w którym wykonano pomiary, temperatura zewnętrzna osiągała 30°C. Badanie polegało na tym, że osoba badana wchodziła do pomiesz-

czenia klimatyzowanego o temperaturze 20°C. Ustalenie pozycji ciała uzyskano przez skonstruowanie odpowiedniego statywu, w którym badana osoba umieszczała głowę na czas pomiaru. Statyw uniemożliwiał zajęcie dowolnej pozycji.



Rys. 1. Termogramy: natychmiast po wejściu osoby badanej do pomieszczenia oraz po upływie jednej godziny

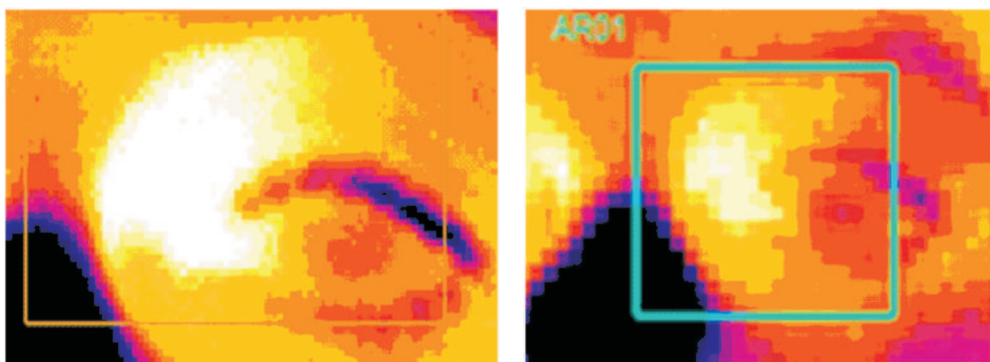


Rys. 2. Zmiany temperatury obszarów z rys. 1 w trakcie aklimatyzacji

Zauważono, że stabilny rozkład temperatury został uzyskany dopiero po 40 minutach od rozpoczęcia badań. Wydaje się więc słuszne stwierdzenie, że można uznać ten czas za niezbędny do pełnej aklimatyzacji człowieka w pomieszczeniu pomiarowym.

4. Odległość kamery od osoby badanej

Ze względu na małą powierzchnię kącika oka, który jest najlepszy do pomiarów [6], sprawdzono, z jakiej odległości należy je prowadzić. Zbyt duża odległość powoduje, że pomiar jest obciążony błędem wynikającym z uśrednienia wartości temperatury z powierzchni obiektu, którego obraz powstaje w płaszczyźnie detektora w obrębie jednego piksela matrycy. Poniższe termogramy wskazują, że przy zastosowaniu kamery o rozdzielczości 640×480 pikseli ze standardowym obiektywem nie należy zwiększać odległości badanej osoby od kamery powyżej 1 m.

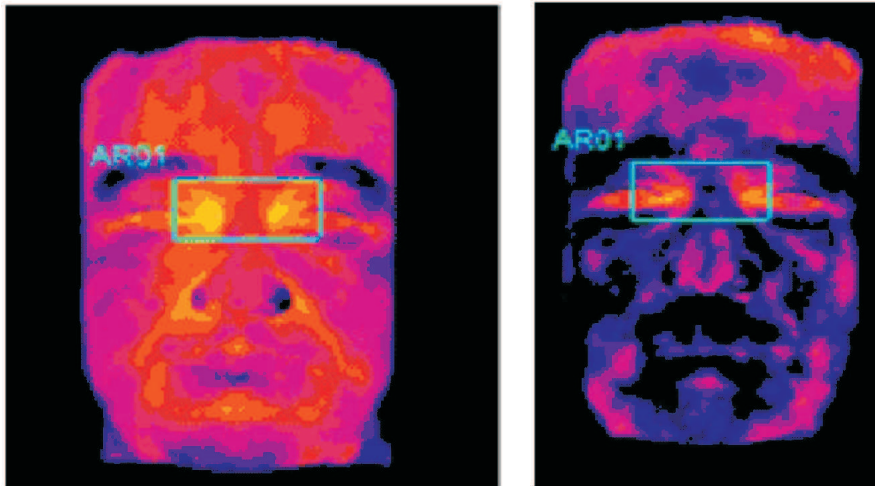


Rys. 3. Wycinek termogramu w powiększeniu 4-krotnym w odległości 1 m i 3 m

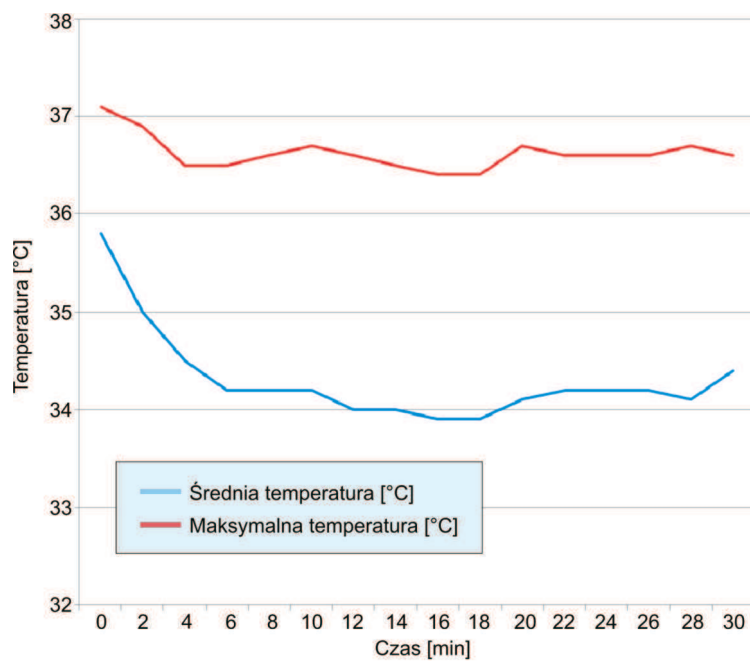
5. Wysiłek fizyczny

W ramach badania zależności temperatury twarzy od wysiłku poprzedzającego badanie wykonano pomiary dla mocy obciążenia $P = 100$ W i czasu trwania wysiłku $t = 30$ min. Badanie przeprowadzono w klimatyzowanym pomieszczeniu w temperaturze 20°C po 40-minutowej aklimatyzacji badanej osoby. Kamera umieszczona była na wprost badanego w odległości 1 m. Cyfrowo sterowany ergometr (rower treningowy poziomy ze stabilizowaną mocą obciążenia) zapewniał stałość obciążenia w czasie trwania próby. Termogramy wykonywane były przed wysiłkiem, a następnie w trakcie wysiłku, co 2 minuty. Przykładowe

wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 4 i 5. Na termogramie twarzy wyodrębniono fragment (obszar AR01), którym zajęto się bliżej.



Rys. 4. Zmiany wartości temperatury średniej z obszaru oczu oraz maksymalnej, odpowiadającej temperaturze w kąciach oczu

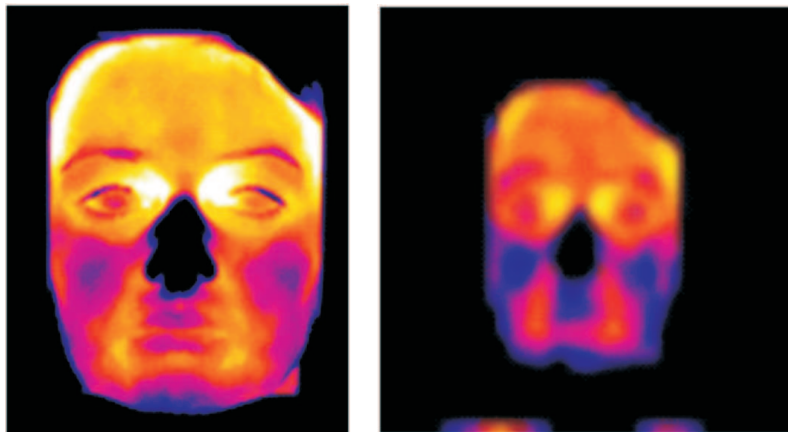


Rys. 5. Zmiany temperatury obszaru z rys. 4 w trakcie wysiłku

Widoczny spadek temperatury jest związany z poceniem się badanej osoby. W przypadku pomiaru w kącikach oczu maksymalna różnica temperatur wynosiła $0,7^{\circ}\text{C}$, a w przypadku średniej z całego obszaru – aż $1,9^{\circ}\text{C}$. Różnica ta wskazuje na możliwość niedostrzeżenia osoby o chorobowo podwyższonej temperaturze, jeśli będziemy analizowali temperaturę powierzchni skóry, a nie kącików oczu.

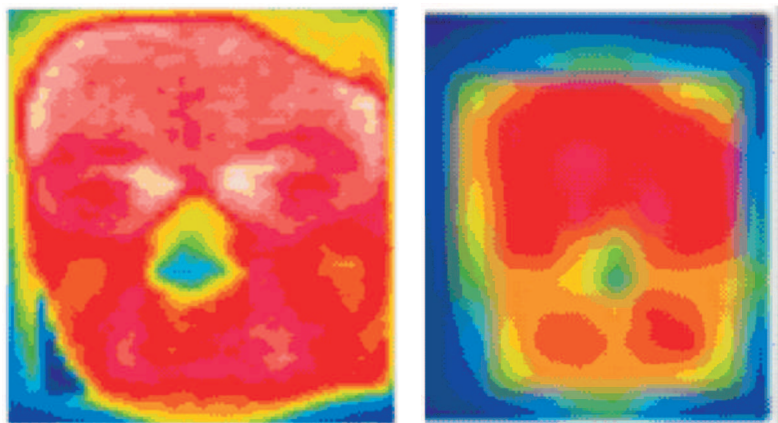
6. Rozdzielczość przestrzenna

Ze względu na wielkość interesującego obszaru, czyli kącików oczu, decydującym czynnikiem wpływającym na pomiar wydaje się rozdzielczość przestrzenna uzyskanych termogramów. Poszukiwaną wartością jest temperatura maksymalna. Wartość ta zmienia się wraz z powierzchnią badanego obiektu odpowiadającą w obrazie jednemu pikselowi obrazu. Istotnymi parametrami będzie więc rozmiar matrycy detektorów kamery oraz odległość kamery od badanej osoby. W pomiarach mających na celu porównanie skrajnych przypadków wielkości matrycy użyto dwóch kamer: kamery Flir ThermaCam SC640 o matrycy 640×480 pikseli i kamery Flir InfraCam o matrycy 120×120 pikseli. Pomiarzy wykonano z odległości od 1 m do 5 m, co 1 m.

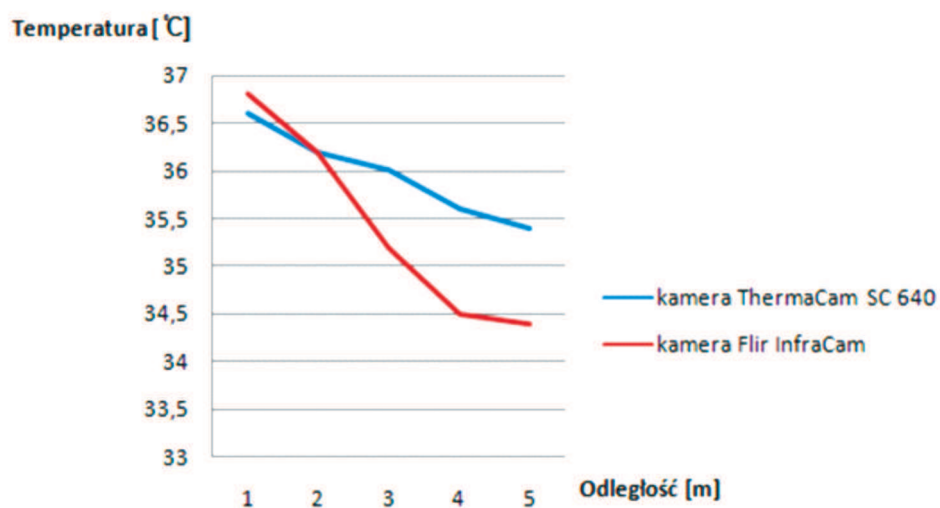


Rys. 6. Termogram w odległości 1 m i 5 m do kamery (kamera Flir ThermaCam SC640)

Efekt braku ostrości występujący na rys. 6 i 7 związany jest z techniką poprawy jakości obrazu zastosowaną przez producenta kamer. Rozdzielczość wynikowego obrazu jest większa od rozdzielczości matrycy detektora, a wartość w pośrednich punktach wyznaczana jest przez interpolację wartości zmierzonych.



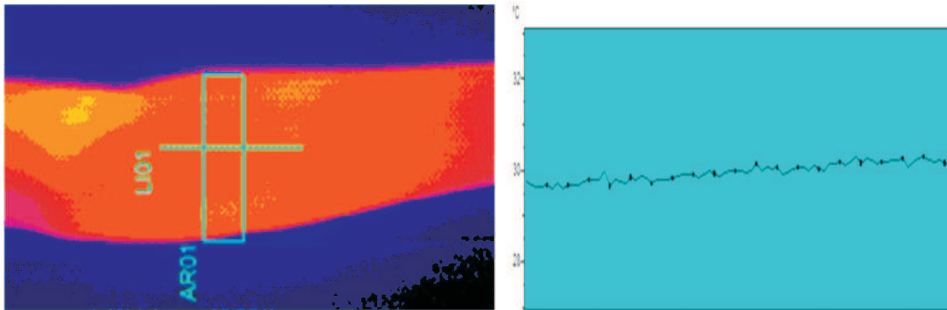
Rys. 7. Termogram w odległości 1 m i 5 m do kamery (kamera Flir InfraCam)



Rys. 8. Zależność wskazań temperatury maksymalnej od odległości od kamery

7. Stan powierzchni skóry (makijaż)

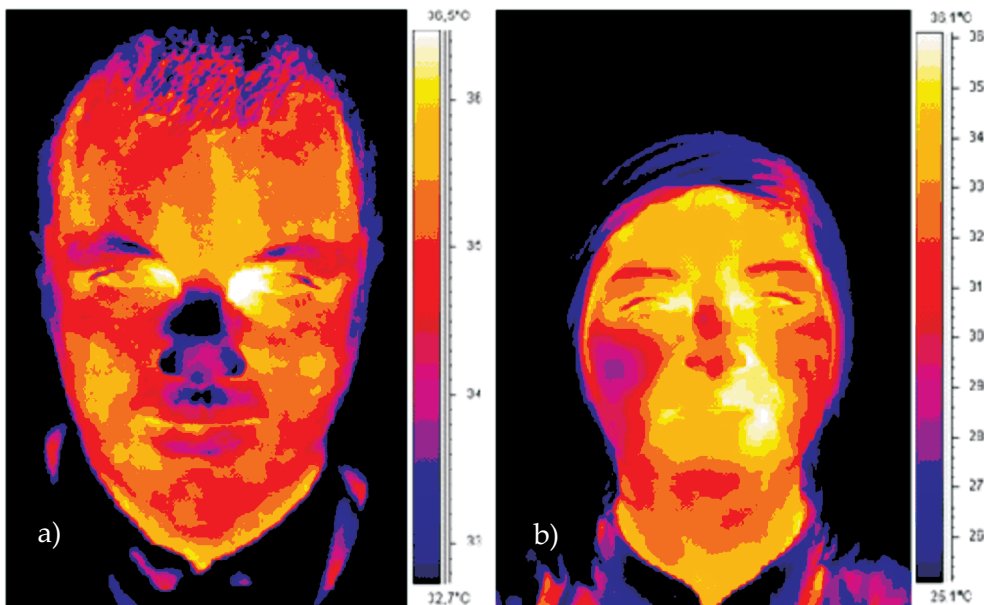
Wykonano próby, nakładając makijaż na twarz oraz krem na powierzchnię skóry ręki, na wybranym obszarze (ARO1). Następnie co dziesięć minut rejestrowano termogramy. Nie zauważono żadnych znaczących zmian temperatury, a co za tym idzie – nie udało się udowodnić, że makijaż czy krem ma jakkolwiek wpływ na wynik pomiaru temperatury.



Rys. 9. Termogram części ręki i rozkład wskazań temperatury skóry na linii LIO1 po 10 min od nałożenia warstwy kremu

8. Osoby o anormalnym rozkładzie temperatury twarzy

Zauważono, że pewnego rodzaju schorzenia wpływają na obserwowany rozkład temperatury twarzy. Nie są jednak one związane z podwyższeniem ogólnej temperatury ciała. Termogramy takich przypadków opracowywane przez automatyczne systemy monitorowania mogą być błędnie interpretowane.

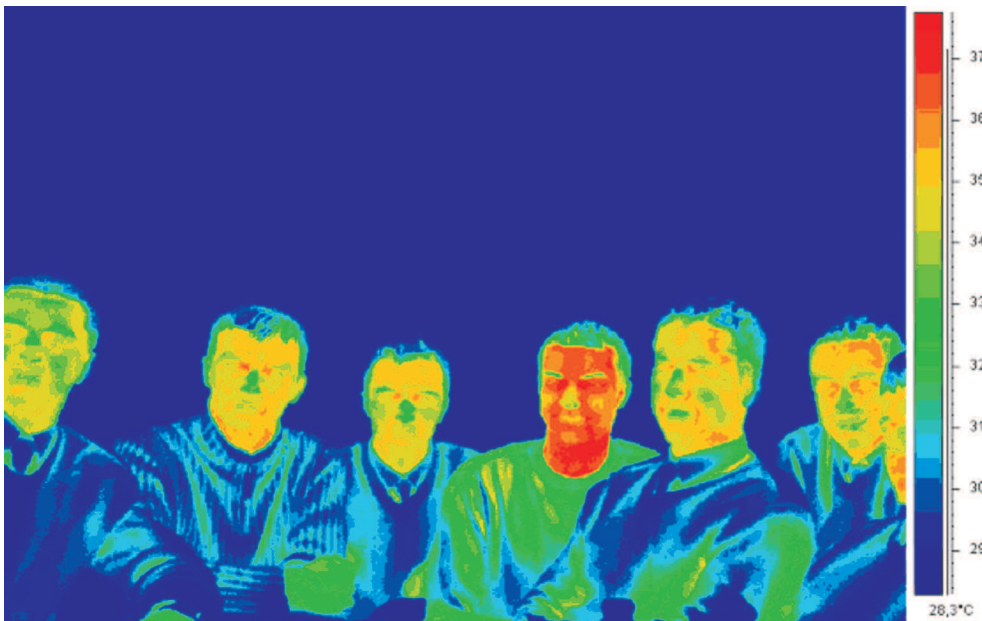


Rys. 10. a) Zmiany chorobowe w obrębie zatok – asymetryczny rozkład temperatury, maksymalna temperatura w prawym kącie oka ok. 36,7°C, w lewym 37,1°C, b) Anormalna budowa wewnętrzna

9. Podsumowanie

Przeprowadzone próby pozwalają na sformułowanie następujących wniosków dotyczących termowizyjnych pomiarów temperatury ciała:

- Czas trwania pełnej aklimatyzacji badanej osoby przed rozpoczęciem pomiarów wynosi 40 min. Dla pomiarów porównawczych, których celem jest wykrycie osoby z gorączką w tłumie ludzi zdrowych, taka aklimatyzacja nie jest konieczna, jeśli operator posiada odpowiednie kwalifikacje. Pokazuje to termogram na rys. 11. Student z gorączką wyraźnie odróżnia się od studentów zdrowych bezpośrednio po wejściu na salę wykładową.



Rys. 11. Osoba chora (temperatura mierzona termometrem pod pachą $t = 38^{\circ}\text{C}$) wśród zdrowych

- Odległość kamery od osoby badanej nie powinna przekraczać 1 m. Przy zachowaniu tego warunku możliwy jest pomiar również z zastosowaniem kamery o niewielkiej matrycy detektorów. Przy większej odległości nawet kamera o dużej rozdzielczości uśrednia temperatury z takich obszarów, tak że wyniki są zaniżone. Zastosowanie przybliżającej optyki pozwala na zwiększenie odległości od badanej osoby, zmniejsza jednak pole widzenia kamery i utrudnia wycelowanie kamery na badany obiekt.
- Procesy fizjologiczne związane z wysiłkiem fizycznym powodują, że temperatura powierzchni skóry, a więc temperatura mierzona kamerą, może się znacznie różnić od temperatury wewnętrznej ciała.

- Porównanie wyników uzyskiwanych za pomocą kamer różnej klasy dowodzi, że do badań można stosować tanie kamery. Należy jednak pamiętać, że wpływ odległości kamery od badanej osoby na wynik pomiaru będzie znacznie silniejszy niż w przypadku kamer wyższej klasy.
- Nie zaobserwowano wpływu stanu powierzchni skóry (makijażu) na wyniki pomiaru temperatury skóry. Pomiaru wykonano kamerami działającymi w zakresie spektralnym 7–14 μm . Sytuacja może być inna dla zakresu 3–5 μm .

PIŚMIENNICTWO

- [1] Rybiński J.: Nowoczesne techniki w inżynierii bezpieczeństwa – zastosowania termowizji. Materiały z konferencji naukowej pt. „Człowiek w ekstremalnych warunkach środowiska – ziemia, woda, powietrze”, WIML, Warszawa, 23–24 października 2008, s. 221–225.
- [2] Idem: Wnioski z prób zastosowania termowizji do wykrywania pasażerów linii lotniczych dotkniętych chorobą SARS. Materiały z międzynarodowej konferencji naukowej pt. „Zarządzanie bezpieczeństwem. Wyzwania XXI Wieku”, Kazimierz Dolny, 27–28 marca 2008, s. 443–450.
- [3] Ring F.: Standards for Medical Thermography. XI Kongres Polskiego Towarzystwa Diagnostyki Termograficznej w Medycynie, Zakopane, 16–18.03.2007.
- [4] Jakubowska T., Peszyński-Drews C., Więcek B.: Standaryzacja w badaniach termograficznych w zastosowaniu praktycznym na przykładzie pracowni termograficznej w Centrum Diagnostyki i Terapii Laserowej Politechniki Łódzkiej. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica* 2/2006, t. 12, s. 81.
- [5] Bednarek M., Rybiński J.: Badania nad zastosowaniem kamer termowizyjnych do wykrywania osób zarażonych chorobami wywołującymi gorączkę. Materiały z IV konferencji naukowej pt.: „Człowiek w ekstremalnych warunkach środowiska”, Warszawa, WIML, 21–22 października 2010, s. 16.
- [6] Ring E.F.J., Jung A., Zuber J., Rutkowski P., Kalicki B., Bajwa U.: Detecting Fever in Polish Children by Infrared Thermography. Materiały z IX międzynarodowej konferencji naukowej pt. „Quantitative Infrared Thermography”, Kraków, 2008.

S U M M A R Y

prof. dr hab. Janusz RYBIŃSKI
mgr Michał BEDNAREK

DETECTING TEMPERATURE ANOMALIES ON THE BASIS OF THE SKIN THERMAL MAP

The influence of different parameters on the results of the measurement of skin temperature and the conditions for reliable measurements using thermal imaging camera were tested in the Main School of Fire Service. The research included: the acclimatization of the human before starting the measurements, the influence of the distance from the tested person to camera, the thermal effects of human's physical exertion, comparing the results obtained from cameras with various sizes of FPA detector, the influence of the skin condition (makeup) on a measurable temperature. The tests were performed in the laboratory with installed stationary air conditioning system. Ensuring fixed temperature during the measurements.