

Stanisław RAJBA

Wyższa Szkoła techniczna w Katowicach, Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk
Stosowanych, ul. Rolna 43, Katowice; e-mail: *stanislaw.rajba@gmail.com*

Ewa POMORSKA-OLEŚ

e-mail: *e_p_o@op.pl*

TERMOGRAFIA W DIAGNOZOWANIU ZMIAN ZAPALNYCH JAMY USTNEJ

s. 201-208

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono analizę możliwości wykorzystania kamer termowizyjnych w diagnozowaniu stanów zapalnych jamy ustnej. Przedstawiono wyniki badań dotyczące możliwości wykorzystania termografii w diagnostyce stomatologicznej oraz wnioski dotyczące implementacji termowizji i kierunki dalszych badań.

SŁOWA KLUCZOWE

termografia, diagnostyka stanów zapalnych

WPROWADZENIE

Zdalne i bezdotkowe obrazowanie rozkładu temperatur na powierzchni badanych ciał, oparte na obserwacji i zapisie rozkładu promieniowania podczerwonego wysyłanego przez każde ciało, którego temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego stanowi coraz szerzej wykorzystywaną w różnych dziedzinach nauki i techniki metodę badawczą. Termografia (a później termowizja) w podczerwieni wykorzystuje emisję promieniowania ciał o energii zależnej od wartości temperatury i długości fali. Moc promieniowania podczerwonego, zależną od temperatury, przekształca się na promieniowanie widzialne przyporządkowując odpowiednią luminancję (dla obrazów czarno-białych) lub obecnie najczęściej barwę światła widzialnego odpowiedniej temperaturze. Proces przetworzenia mocy promieniowania cieplnego poszczególnych punktów obserwowanego ciała napotyka na szereg trudności, które nawet w wyidealizowanych warunkach pozwalają na obrazowanie temperatury z niezbyt dużą dokładnością (jedynie ok. 2%). Na dokładność obrazowania temperatury ma wpływ emisyjność ciała, skład i wilgotność otaczającej atmosfery, obecność innych ciał w otoczeniu badanego. Do obrazowania pola temperatur służą kamery termowizyjne, których rozwój w ostatnich latach jest znaczący. Pozwalają na rozdzielczość na poziomie kilkudziesięciu mK, co powoduje wzrost zainteresowania termowizją niemal w większości dziedzinach nauki i techniki. W przemyśle można w zasadzie mówić o masowym wykorzystaniu termowizji w diagnostyce wszelkiego rodzaju niesprawności znamienych podwyższeniem temperatury. Podobnie rzecz ma się w medycynie, w której

termografia a później termowizja stosowane są od dawna (początek lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku). Zastosowania termografii, a później termowizji, w medycynie ma swoją długą historię. Wprowadzenie do praktyki lekarskiej termowizji wymagało opracowania zależności zmian termicznych towarzyszących poszczególnym chorobom, na podstawie których można byłoby stawiać diagnozy. W przypadku niektórych schorzeń wystarcza stwierdzenie występowania asymetrii termicznej w obszarach zaatakowanych (tak jest w przypadku nowotworów) [8]. Metoda jednak staje się zawodna, gdy zmiany są obustronne. Statystyczne opracowanie wzorców stanów nie chorobowych i określenie tolerancji odchyień, jak pokazują badania, jest niezmiernie trudne [2]. Prace w kierunku opracowania pewnych statystycznych wzorców rozkładu temperatur dla różnych części ciała są prowadzone w wielu ośrodkach (w Polsce m.in. na UM w Warszawie i Poznaniu). Jeśli chodzi o badania dotyczące wykorzystania termowizji w medycynie poza diagnostyką nowotworów można wymienić co najmniej kilkanaście dziedzin medycyny w których prowadzone są badania i wykorzystuje się termowizję. Można tu wymienić: badania zmiany ukrwienia, zajęcia naczyń obwodowych, neurochirurgię, reumatologię, ginekologię, traumatologię, dermatologię, immunologię, okulistykę, endokrynologię, farmakologię, rozpoznanie i lokalizację stanów zapalnych. Diagnostyka na podstawie analizy termograficznej stosowana jest dla różnych jednostek chorobowych, np. zapalenie wyrostka robaczkowego, zapalenie pęcherzyka żółciowego etc. Prezentowana praca dotyczy wykorzystania termowizji do badań diagnostycznych stanów zapalnych jamy ustnej. Praca powstała na bazie inżynierskiej pracy dyplomowej, której realizacja wiązała się z przeprowadzeniem szeregu badań stanów zapalnych związanych z chorobami miazgi zębów i chorobami dziąseł. W badaniach termograficzne wyniki zostały porównane ze zdjęciami rentgenowskimi uzębienia, co stanowi zasadniczy empiryczny wkład w badania termowizyjne stanów zapalnych jamy ustnej.

Sformułowanie zadania

Celem pracy jest przeprowadzenie badań w kierunku wykorzystania termografii w diagnostyce stanów zapalnych jamy ustnej na potrzeby diagnostyki stomatologicznej. W szczególności wykonanie zdjęć termowizyjnych oraz zdjęć rentgenowskich w celu uwidocznienia zmian chorobowych. Ocena możliwości wykorzystania termogramu do określenia lokalizacji i rozległości zmiany chorobowej bez konieczności wykonania zdjęć rentgenowskich.

Fizyczne podstawy termowizji

Możliwość utworzenie na płaszczyźnie ekranu (lub wydruku) obrazu rozkładu temperatur obserwowanego z pewnej odległości ciała o temperaturze wyższej od zera bezwzględnej wynika z kilku praw fizyki stanowiących podstawę działania kamer termowizyjnych:

1. Prawo Stefana – Boltzmanna

Określa całkowitą zdolność emisyjną ciała doskonale czarnego, która jest proporcjonalna do czwartej potęgi jego temperatury bezwzględnej:

$$\Phi = \sigma \cdot T^4$$

gdzie:

Φ – strumień energii wypromieniowywany w kierunku prostopadłym do powierzchni ciała [W/m²]

σ – stała Stefana - Boltzmanna ($\approx 5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m²·K⁴)

T – temperatura w skali Kelvina

2. Prawo przesunięć Wiena

Widmo promieniowania ciała doskonale czarnego ze wzrostem temperatury przesuwa się w stronę fal krótszych, zgodnie z zależnością:

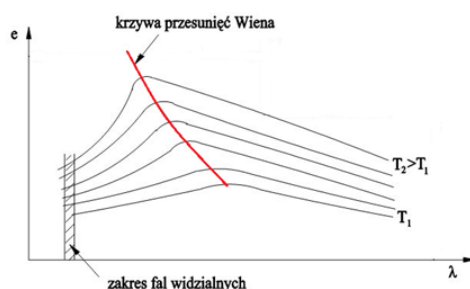
$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

gdzie:

λ_{\max} – długość fali o maksymalnej mocy promieniowania [m],

b – stała Wiena ($2,8977685 \cdot 10^{-3} \pm 5,1 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{K}$),

T – temperatura ciała doskonale czarnego [°K]



Rys. 1. Krzywa przesunięć Wiena na tle rozkładu emisyjności fal promieniowania cieplnego ciała szarego o różnych temperaturach

Fig. 1. Wien's displacement curve against the distribution of emission of thermal radiation waves gray body at different temperatures

3. Prawo Plancka.

Przedstawia zależność widmowej zdolności emisyjnej ciała doskonale czarnego u od długości fali i temperatury (rozkładem Plancka):

$$u(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

gdzie:

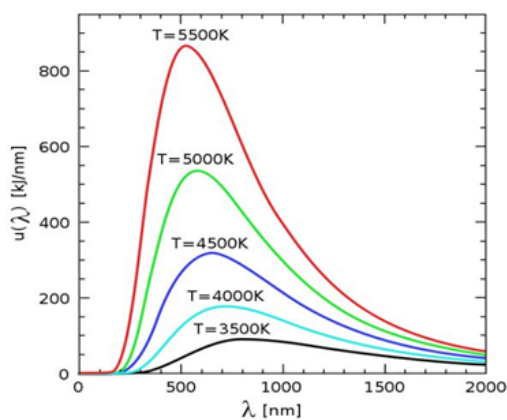
λ – długość fali promieniowania [m],

h – stała Plancka ($6,626\ 0693\ (11) \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$),

c – prędkość światła w próżni [m/s],

k – stała Boltzmanna ($\approx 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$),

T – temperatura w skali Kelvina.



Rys. 2. Rozkład Plancka [5]

Fig. 2. Planck distribution

4. Prawo Kirchhoffa

W ustalonej temperaturze stosunek zdolności emisyjnej ciała do jego zdolności absorpcyjnej jest uniwersalną funkcją, taką samą dla wszystkich ciał.

$$\varepsilon(\nu, T) = \frac{E(\nu, T)}{A(\nu, T)}$$

gdzie:

$E(\nu, T)$ – zdolność emisyjna w dziedzinie częstotliwości

$A(\nu, T)$ – zdolność absorpcyjna w dziedzinie częstotliwości

$\varepsilon(\nu, T)$ – uniwersalna funkcja Kirchhoffa

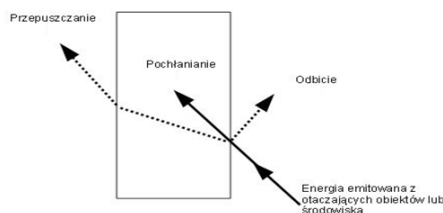
Ponieważ ciało doskonale czarne ma zdolność absorpcyjną równą jedności, dlatego z wyżej przytoczonej zależności wynika, że funkcja Kirchhoffa jest zdolnością emisyjną ciała doskonale czarnego. W praktyce promieniowanie wszelkich ciał bardziej lub mniej różni się od promieniowania ciała doskonale czarnego. Na skutek występowania zjawisk absorpcji i odbicia gęstość mocy promieniowania ciał rzeczywistych jest mniejsza. W celu porównania promieniowania ciał rzeczywistych wprowadzono pojęcie współczynnika emisyjności, który określa o ile promieniowanie ciała rzeczywistego (szarego, lub promieniującego selektywnie przy określonej długości fali) W_λ jest mniejsze od promieniowania ciała doskonale czarnego $W_{\lambda C}$ [4].

$$\varepsilon_\lambda = \frac{W_\lambda}{W_{\lambda C}}$$

Wartość współczynnika emisyjności zależy od rodzaju ciała, jego temperatury, stanu jego powierzchni (matowa, polerowana), długości promieniowanej fali. Wartości współczynnika emisyjności zmieniają się w szerokich granicach, od 0,02 dla wypolerowanej złotej powierzchni do 0,98 dla ludzkiej skóry.

Emitowane przez ciało rzeczywiste promieniowanie podlega takim zjawiskom na trasie swojego przebiegu jak:

- pochłanianie (absorpcja)
- odbicie (refleksyjność)
- przepuszczalność (diabatyczność)



Rys. 3. Przepuszczalność, pochłanianie, odbicie energii promieniowania podczerwonego
 Fig. 3. Permeability, absorption, reflection of infrared radiation lanck distribution

co jest źródłem powstawania zaburzeń w termogramie otrzymywanym z kamery pogarszających jakość odwzorowania pola temperatur badanego ciała.

Dla prawidłowego wykonania termogramu wymagane jest wprowadzenie szeregu nastaw w kamerze termowizyjnej związanych z zewnętrznymi warunkami obrazowania termowizyjnego. Są to:

- *emisyjność* zawierająca się w przedziale wartości od 0 do 1. Dobór tej wartości związany jest z emisyjnością obiektu, którą musimy określić na podstawie rodzaju ciała, stanu jego powierzchni ustawiając ręcznie lub wybierając z pamięci kamery nastawę dla danego rodzaju materiału.
- *temperatura otoczenia* (odbita temperatura pozorną) - wielkość ta służy do kompensacji promieniowania odbijanego przez obiekt. Ważne jest prawidłowe ustawienie wartości temperatury szczególnie dla obiektów o niskiej emisyjności i dużej różnicy między temperaturą odbitą a temperaturą obiektu.
- *odległość od obiektu* - to dystans pomiędzy czołem obiektywu kamery a obiektem, który badamy. Na potrzeby badań w stomatologii należy zapewnić jak najmniejszą odległość tak aby uwidocznić najlepiej badane pole. Dobór optymalnej nastawy odległości jest związane z kompensacją wpływu dwóch innych zjawisk: pochłaniania promieniowania obiektu przez atmosferę pomiędzy obiektem a kamerą oraz wykrywanie promieniowania samej atmosfery przez kamerę.
- *względna wilgotność powietrza* - w przypadku badań termowizyjnych wilgotność powinna być możliwie jak najniższa, a zwłaszcza aby nie występowała w otoczeniu pomiaru mgła. Jeżeli chodzi o badania w stomatologii, gdy zdjęcia wykonywane są w gabinecie, w zasadzie nie ma problemu nadmiernej wilgotności powietrza.

Na potrzebę tej pracy zdjęcia termograficzne wykonano dla następujących nastaw kamery:

- Emisyjność 0,89
- Temperatura otoczenia 21°C
- Wilgotność względna 50%
- Odległość od obiektu 1m

Wybrane zagadnienia z zakresu stomatologii

Przyczyny powstawania stanów, zapalnych jamy ustnej mogą być różne. Poniżej opisane przypadki są najczęściej spotykane. Powodują dolegliwości bólowe, z którymi pacjenci trafiają do gabinetu stomatologicznego. Dla dobrego zdiagnozowania i dobrania odpowiedniej metody leczenia bardzo często zlecane jest zdjęcie rtg. w obrębie bolesnej okolicy. Gdyby termogram mógł posłużyć za narzędzie diagnostyczne w tej kwestii pewnie prawie w 100% wykonywano by zdjęcie kamerą termowizyjną – jest to nieobciążające dla pacjenta. Wszystkie stany zapalne są zawsze zauważalne w podczerwieni w szczególności także w stomatologii.

1. Zmiany zapalne tkanek okołowierzchołkowych korzeni zębowych. Przyczyną ich powstawania jest nagromadzenie się bakterii chorobotwórczych w kanale korzeniowym zęba. Najczęściej występują w wyniku długiego zwlekania z wyleczeniem małych ubytków próchnicznych w części koronowej zęba. Dotyczą części korzeniowej zęba, kiedy stan zapalny wytworzy się w kanale zębowym. Mogą także powstać w wyniku próchnicy wtórnej pod wypełnionym ubytkiem [3].
2. Zmiany zapalne jamy ustnej. Przyczyny bywają różne. Najczęściej jest to zła higiena jamy ustnej. Brak systematycznych wizyt kontrolnych. Przyczyną może być również osłabienie odporności organizmu po chorobach, w czasie antybiotykoterapii.
3. Utrudnione wyrzynanie ostatnich zębów trzonowych potocznie zwanych „zębami mądrości” Kiedy ostatni trzonowy ząb zwany inaczej zębem mądrości ma problem z przedostaniem się ponad linię dziąsła [9].

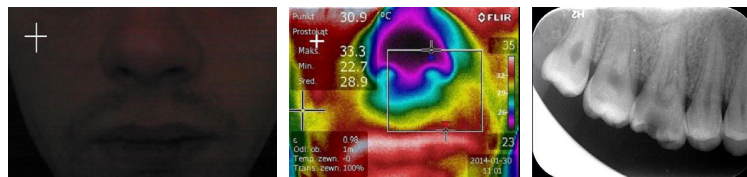
Analiza wybranych przypadków

We wszystkich analizowanych przypadkach wykonano 3 rodzaje zdjęć:

- poglądowe fotograficzne badanej okolicy,
- kamerą termowizyjną typu LWIR (ang. Long Wavelength InfraRed) o zakresie widmowym 7,15 – 13 μm [1],
- rentgenowskie punktowe,

Wyjątek to kobieta w ciąży (przypadek 3) – brak zdjęcia rtg.

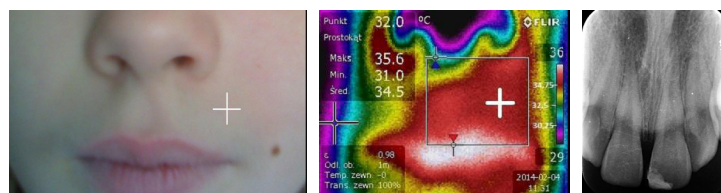
Przypadek nr 1



Rys. 4. Pacjent lat 25
 Fig. 4. Patient 25 years

Pacjent lat 25 zgłosił się z bólem w prawej okolicy twarzy. Stan uzębienia u góry i na dole jednakowo mógł stanowić przyczynę bólu – duże ubytki w koronach zębów. Pacjent nie był wyraźnie opuchnięty. Z termogramu można już wnioskować, że raczej ból dotyczy górnej szczęki. Wyraźnie widoczna różnica w rozkładzie temperatur. Potwierdza to zdjęcie rtg. Zniszczony pierwszy ząb trzonowy w tej okolicy „szóstka” u góry po prawej stronie.

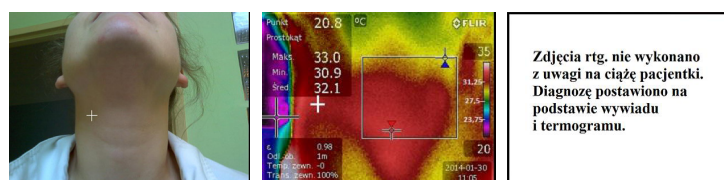
Przypadek nr 2



Rys. 5. Pacjentka lat 11
 Fig. 5. Patient 11 years

Pacjentka lat 11 zgłosiła się z silnym bólem w okolicy lewej górnej części twarzy. Ból ten utrzymywał się przez 3 dni pomimo przyjmowanych przez nią leków przeciwbólowych. Nie występował widoczny obrzęk w tej okolicy. Na termogramie wyraźnie zaznaczył się obszar o podwyższonej temperaturze po stronie lewej, którą wskazywała pacjentka. Również w tym przypadku termogram bardzo dobrze uwidacznia stan zapalny tej okolicy. Chociaż nie stwierdzono w obrazie radiologicznym żadnych zmian zapalnych, termogram wyraźnie obrazował podwyższenie temperatury w okolicy jedynek górnej lewej.

Przypadek nr 3

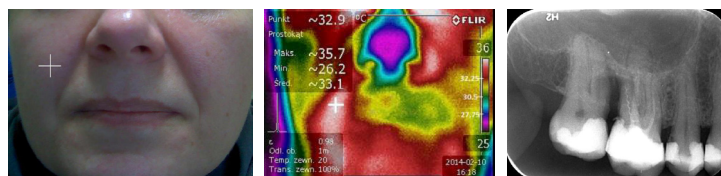


Rys. 6. Pacjent lat 36
 Fig. 6. Patient 36 years

Zdjęcia rtg. nie wykonano z uwagi na ciążę pacjentki. Diagnostę postawiono na podstawie wywiadu i termogramu.

Pacjentka lat 36 zgłosiła się z bólem dolnej prawej okolicy podżuchwowej. Była w 4 miesiącu ciąży. Tydzień temu przebyła infekcję gardła. Skierowana na konsultację stomatologiczną przez lekarza ogólnego. Stan uzębienia pacjentki bardzo dobry. W celu zobrazowania ewentualnych zmian zapalnych tej okolicy wykonano zdjęcie kamerą termowizyjną. Widoczna różnica w rozkładzie temperatur. Przyczyną jest stan zapalny węzła podżuchwowego. Nie wykonano zdjęcia rtg- ciąża pacjentki. Termogram dobrze uwidoczniał stan zapalny i jego miejsce.

Przypadek nr 4



Rys. 7. Pacjentka lat 49
Fig. 7. Patient 49 years

Pacjentka lat 49 zgłosiła się z dolegliwościami bólowymi dotyczącymi górnej prawej ćwiartki twarzy. Ból tej okolicy odczuwała od 3 dni. W przeglądzie jamy ustnej pacjentki stwierdzono złą higienę w obrębie przestrzeni między-zębowych wszystkich zębów. Na termogramie wątpliwości wzbudza obraz podwyższonej temperatury po stronie prawej górnej. Porównując prawą stronę twarzy z lewą wyraźnie widać wzrost temperatury ciała po stronie prawej co obrazuje nam obraz z kamery. Również w tym przypadku potwierdziło się dobre obrazowanie kamery termowizyjnej. Na zdjęciu rentgenowskim pomiędzy szóstym a siódmym zębem trzonowym górnym widoczna ropna zmiana.

Podsumowanie oceny poszczególnych przypadków: Termogram obrazuje stan zapalny dużo lepiej niż zdjęcie rentgenowskie. Na podstawie przedstawionych przypadków można stwierdzić, że w przypadku stanów zapalnych, które występują w stomatologii, kamera termowizyjna pozwala na dokonanie poprawnej diagnozy. Obrazowanie za jej pomocą bardzo dobrze ujawnia okolicę, w której toczy się stan zapalny. Nie jest konieczne wykonanie zdjęcia rtg, co ma szczególne znaczenie w przypadku kobiet w ciąży i dzieci. Zdjęcie rtg u kobiet w ciąży jest nie wskazane a u dzieci trudne do wykonania technicznie.

Wnioski

Pracama charakter empiryczny. Polegała na zebraniu materiału porównawczego kamery termowizyjnej oraz zdjęć rentgenowskich. Termogramy przeanalizowano głównie pod kątem asymetrii w obrazie termicznym. Jest to od dawna znana i stosowana metoda. Zamysł badawczy, polegający na znalezieniu korelacji pomiędzy obrazem termicznym, zdjęciem rentgenowskim i właściwej ocenie faktycznego stanu miejsc zapalnych jednak z uwagi na skromność materiału badawczego zwłaszcza zestawień obrazów termograficznych z rentgenowskimi nie został do końca zrealizowany. Wyniki stanowią jednak podstawę do kontynuacji badań w kierunku poprawy możliwości diagnozowania na podstawie obrazów termowizyjnych. Aby taki cel zrealizować konieczne wydaje się spełnienie dodatkowych warunków takich jak zastosowanie kamer termowizyjnych o większych rozdzielczościach, możliwość synchronizacji obrazów termowizyjnych ze zdjęciami rentgenowskimi oraz przygotowanie i wdrożenie aparatu cyfrowej analizy obrazów termowizyjnych. Na analizę termogramów medycznych składa się wiele metod i technologii m.in. takich jak klasyfikacja obrazów (wykorzystanie sieci neuronowych),

zastosowanie sygnatur do charakteryzacji stanów fizjologicznych i patologicznych. Jedną z metod analizy jest wykorzystanie histogramów obrazu termowizyjnego. Na podstawie histogramu jasności obrazu można charakteryzować globalne cechy obrazu, albo wybrane obszary wykorzystując parametry statystyczne takie jak: wartość oczekiwana, wariancja, skośność histogramu, kurtoza, entropia, energia, czy dalej tzw. parametry statystyczne II rzędu na bazie macierzy zdarzeń, których w analizie i klasyfikacji obrazów mogą być użyteczne takie parametry jak: drugi moment zwykły, kontrast, korelacja, wariancja, suma średnich, suma kwadratów, wariancja odwrotny moment różnicowy, suma wariancji, suma entropii, wariancja różnicowa, entropia różnicowa etc. Konieczne są aplikacje do cyfrowej analizy obrazów z użyciem cyfrowej filtracji [7] (np. transformacji falkowej) co docelowo pozwoli zbudować dokładniejszy aparat diagnostyki stomatologicznej na bazie obrazów termowizyjnych [6]. Taka wydaje się też docelowa droga dla prowadzonych badań dotyczących zastosowania termografii w stomatologii. Wstępna analiza poszczególnych przypadków wykonanych badań pozwala na coraz precyzyjniejsze pozyskiwanie materiału badawczego. Przedstawiona tematyka wymaga kontynuowania nie tylko ze względu na jej dużą wartość poznawczą ale także znaczenie praktyczne w diagnozowaniu i leczeniu stanów zapalnych.

Bibliografia

- [1] Flir, Instrukcja obsługi kamery Flir E 40, 2012.
- [2] Kruszewski, St.: Prawidłowy rozkład temperatur i jego fizjologiczne odchylenia w obrazie termograficznym kończyn dolnych. Problemy Techniki Medycznej t. VII, 1976.
- [3] Rodakowska, E., Romanowicz, M., Poradnik Stomatologiczny, 9/2011.
- [4] Rudowski, G.: Termowizja i jej zastosowanie. Warszawa 1978.
- [5] Urbankowski, A.: Termowizja. 2009. Dostępny w: www.pclab.pl.
- [6] Więcek, B., De Mey, G.: Termowizja w podczerwieni. Podstawy i zastosowanie. PAK 2011.
- [7] Więcek, B., Strzelecki, M., Jakubowska, T., Wysocki, M., Drews-Peszyński, C.: Advanced Thermal Image Processing, Handbook of Medical Devices and Systems, Ed. Joseph D. Bronzino, CRC Press, 2006, s. 28-1 28-13.
- [8] Więcek, M., Strąkowski, R., Jakubowska, T., Więcek, B.: Termowizja w podczerwieni w badaniach przesiewowych na przykładzie zmian nowotworowych piersi, Inżynieria Biomedyczna, 1/2010 vol. 16, s 49-55.
- [9] Wolniewicz, A.: Ósemki zęby mądrości. 2012.

THERMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS OF INFLAMMATORY CHANGES OF THE ORAL CAVITY

SUMMARY

The paper presents an analysis of the possibilities of using thermal imaging cameras in the diagnosis of inflammatory conditions of the oral cavity. The results of studies on the possible use of thermography in the diagnosis of dental and proposals for the implementation of thermography and directions for further

SŁOWA KLUCZOWE

thermography, diagnosis of inflammatory conditions