



Zastosowanie termografii aktywnej w badaniu układów tkankopodobnych – ocena układu dla zastosowań medycznych

The applications of active dynamic thermography in tissue – like system – searching for medical applications

Teresa Kasprzyk¹, Błażej Mleczek¹, Agata Stanek², Karolina Sieroń³, Armand Cholewka¹

¹ Zakład Fizyki Medycznej, Instytut Fizyki im. A. Chełkowskiego, Uniwersytet Śląski, ul. Uniwersytecka 4, 40-007 Katowice, tel. +48 888 140 741, e-mail: ter.kasprzyk@gmail.com

² Katedra i Oddział Kliniczny Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, ul. Batorego 15, 41-902 Bytom

³ Wydział Nauk o Zdrowiu w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Zakład Medycyny Fizykalnej Katedry Fizjoterapii, ul. Medyków 12, 40-752 Katowice

Streszczenie

Abstract

Aktywna termografia dynamiczna jest metodą obrazowania termicznego opierającą się na rejestracji mapy termicznej układu po uprzedniej aplikacji impulsu wzbudzającego (np. prądowego lub cieplnego). Wszelkie niejednorodności zlokalizowane w próbce charakteryzują się zaburzonym rozkładem temperatury wynikającym z różnego sposobu propagacji fali w obiekcie izotropowym oraz z defektami strukturalnymi.

Celem niniejszej pracy było wykorzystanie wymuszeń termicznych w nieniszczącej lokalizacji defektów w układach tkankopodobnych oraz określenie możliwości wymiarowania struktur wraz ze wzrostem głębokości.

W badaniach wykorzystano fantomy wykonane z silikonu z defektami z gumy zatopionymi na głębokości od 1,0 do 10,0 mm ze skokiem 1,0 mm. Przy użyciu lampy halogenowej dokonano nasświetlenia fantomów pomiarowych przez 15 sekund, a następnie rejestracji mapy termicznej przez 90 sekund.

W analizie otrzymanych termogramów wykorzystano metody subtrakcji obrazów termicznych, na podstawie których obliczono pole powierzchni defektów.

Przeprowadzona analiza dowiodła możliwości lokalizacji defektów po uprzedniej ekscytacji fantomu bodźcem cieplnym. Defekty umiejscowione na głębokości większej niż 8,0 mm nie zostały uwidocznione na mapie termicznej.

Słowa kluczowe: obrazowanie termiczne, termowizja aktywna, układy tkankopodobne

Active dynamic thermography is based on stimulus (i.e. current or thermal impulse) application on phantom and recording the thermal images. All heterogeneity which will be visible in thermal image may indicate some defect, which will be invisible by normal view.

The aim of study was to use the thermal excitations in non-destructive defects location in tissue-like systems. Moreover the possibility of defects dimensioning in function of depth was checked.

The phantoms from silicone with defects from gum material were used in research. The defects were located on depth from 1,0 to 10,0 mm with 1,0 mm interval. The thermal excitation were done by use the halogen lamp and it takes 15 seconds. The thermal images recording were done for 90 seconds after the excitation.

The image subtraction method was used to analyze the data and calculate the area of defects.

In conclusion after the applying a thermal stimulus the defect location became possible. Moreover all defects located deeper than 8,0 mm were invisible.

Key words: thermal imaging, active dynamic thermovision, tissue-like systems

otrzymano / received:

06.05.2018

poprawiono / corrected:

20.06.2018

zaakceptowano / accepted:

28.06.2018



Wprowadzenie

Obrazowanie w podczerwieni jest bezkontaktową metodą, która pozwala na badanie rozkładu mapy termicznej na powierzchni badanego obiektu. Podstawą teorii wymiany ciepła jest istnienie gradientu temperatury, zgodnie z którym proces emisji energii termicznej zachodzi od ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej [1]. Obrazowanie termiczne jest metodą stosowaną na bardzo szeroką skalę, w różnych dziedzinach nauki – od przemysłu, przez medycynę estetyczną, chirurgię, onkologię, po medycynę sportową [2-5].

Podstawowym podziałem metod termograficznych jest rozróżnienie termografii biernej oraz aktywnej (dynamicznej). W przypadku termografii klasycznej (biernej) pomiary wykonywane są poprzez rejestrację widma podczerwieni emitowanego przez obiekt pozostający „w spoczynku”, przez co rozumie się obiekt niewzbudzony żadnym zewnętrznym impulsem. Termografia aktywna natomiast bada odpowiedź termiczną układu na zadany impuls (bodziec) [1].

Dynamiczna termografia aktywna

Metoda termografii aktywnej jest dynamiczną metodą obrazowania termicznego polegającą na badaniu odpowiedzi ośrodka wzbudzonego uprzednio przez impuls, który może mieć charakter m.in.: optyczny, akustyczny, prądowy czy też cieplny [1, 6].

Dostarczenie do próbki pewnej ilości energii spowoduje pobudzenie układu i w konsekwencji jego odpowiedź na wzbudzenie. Fala termiczna wnikać w głąb materiału napotyka na swej drodze defekty, gdzie następuje zmiana szybkości jej propagacji. Skutkuje to zaburzeniami widocznymi na rejestrowanym obrazie termicznym – zmianą mapy termicznej badanej powierzchni [2].

Wartości wynikowe rozkładu temperatury zależne są od właściwości materiału wzbudzanego i zależą w głównej mierze od: współczynnika przewodności cieplnej, gęstości materiału oraz współczynnika ciepła właściwego, co zostało ujęte we współczynniku dyfuzyjności cieplnej [1].

Wśród odmian ADT (*Active Dynamic Thermography – dynamiczna termografia aktywna*) wyróżniane są metody, takie jak: synchroniczna (tzw. *lock-in*), impulsowa czy z pobudzeniem zmiennym skokowo.

W niniejszej pracy zastosowano metodę impulsową, która opiera się na oddziaływaniu impulsem energii na próbkę jednorazowo, przez określony czas, a następnie rejestrację odpowiedzi termicznej badanego obiektu. W przypadku tej metody wartość temperatury wewnątrz badanego obiektu zmienia się według zależności (1):

$$T(x,t) \sim e^{-\frac{x^2}{4at}} \quad (1)$$

gdzie: T – temperatura [K], x – głębokość [m], t – czas [s], a – dyfuzyjność materiału [m^2/s].

Z powyższego wzoru wynika, że termografia impulsowa charakteryzuje się głębokością wnikania ciepła w próbkę określoną jako:

$$L = 2\sqrt{at} \quad (2)$$

Efektywna droga dyfuzji L , będąca miarą głębokości wnikania energii do wnętrza próbki, zależna jest od czasu oraz właściwości materiału. Oznacza to, że stopień wykrywalności głębiej umiejscowionych defektów wzrasta wraz z upływem czasu t (2).

Materiał i metody

Procedura badawcza rozpoczęła się od wyboru materiału testowego o parametrach zbliżonych do tkanki tłuszczowej, której dyfuzyjność $a_{fat} = 1,38 \cdot 10^{-7} m^2/s$, natomiast współczynnik przewodzenia $q_{fat} = 0,231 JmK$. Na podstawie powyższych danych wybrano materiał testowy – silikon, o parametrach odpowiednio: $a_{sil} = 1,25 \cdot 10^{-7} m^2/s$ oraz $q_{sil} = 0,221 JmK$.

Do pomiarów właściwych użyty został zestaw 10 sztuk fantomów testowych o średnicy $70,6 \pm 0,1$ mm wykonanych z silikonu z zatopionymi defektami z gumy (w kształcie sześcianu o wymiarach $10 \times 10 \times 10$ mm) zlokalizowanych na głębokościach od 1,0 do 10,0 mm, ze skokiem 1,0 mm.

Stanowisko pomiarowe składało się z kamery termowizyjnej Flir ThermoVision A40, lampy halogenowej o mocy 2000 W oraz defektu testowego o znanych wymiarach, tj. miedzianego kwadratu o wymiarach 10×10 mm.

Procedura testowa zakładała ustawienie kamery w odległości 400 ± 10 mm od czoła fantomu oraz lampy halogenowej w odległości 100 ± 10 mm. Czas naświetlania wyniósł 15 sekund, natomiast rejestracja termogramów odbywała się łącznie przez 90 sekund.

Do analizy obrazów wykorzystano program ThermaCam Researcher Pro 2.9 oraz program IrNDT v1.7.

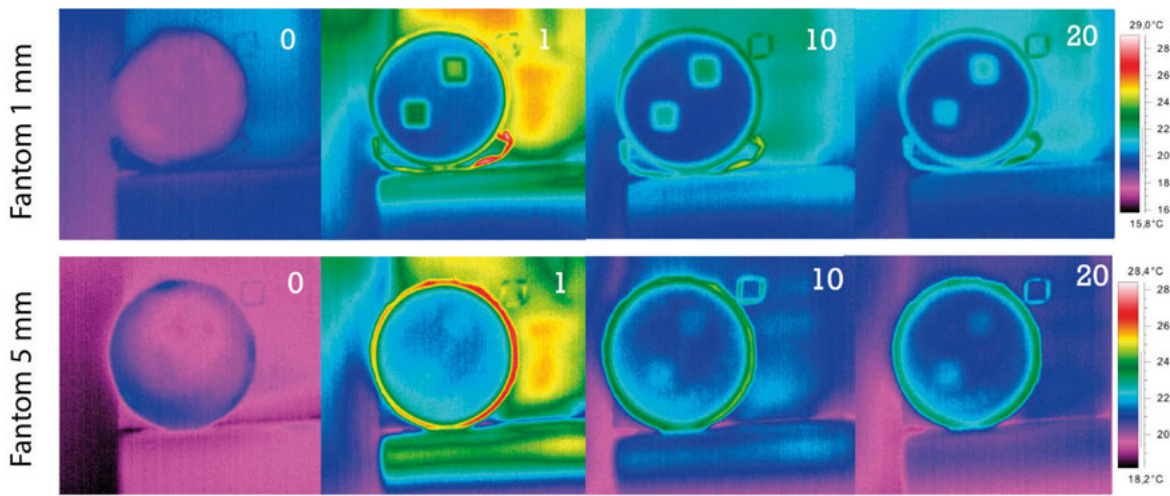
Przykładowe termogramy fantomów testowych w kolejnych fazach stygnięcia zaprezentowano na rysunku 1. Już na podstawie oceny wizualnej można zauważyć, że dla tych samych warunków wzbudzenia i rejestracji obrazów, wraz ze wzrostem głębokości defektu jest on gorzej widoczny na obrazie.

Wyniki i dyskusja

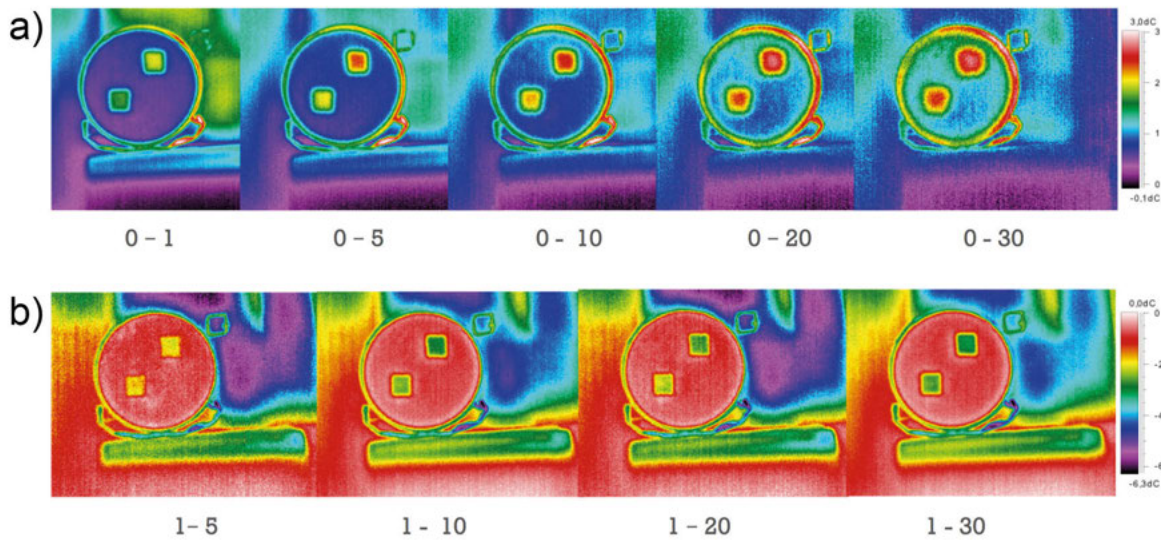
Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzona została analiza substrakcyjna, polegająca na odjęciu od siebie obrazów termicznych na dwa sposoby:

- Metoda substrakcji „0-n” – polegająca na odjęciu n-tego obrazu termicznego od obrazu „0”, tj. wykonanego przed impulsem cieplnym, gdzie $n = 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30$.
- Metoda substrakcji „1-n” – polegająca na odjęciu n-tego obrazu termicznego od obrazu „1”, tj. wykonanego bezpośrednio po impulsie cieplnym, gdzie $n = 5, 10, 15, 20, 25, 30$.

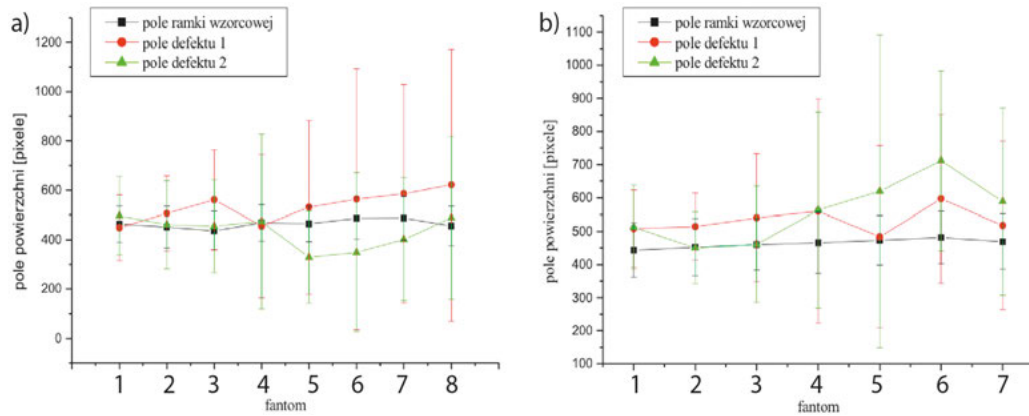
Otrzymane przykładowe obrazy termiczne przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1 Przykładowe termogramy fantomów pomiarowych w czasie: 0 – przed naświetlaniem, 1 – bezpośrednio po naświetlaniu, 10 – 10 sekund po, 20 – 20 sekund po. Fantom 1 mm – fantom z defektami zatopionymi 1 mm pod powierzchnią, fantom 5 mm – fantom z defektami zatopionymi 5 mm pod powierzchnią
 Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2 Przykładowe termogramy analizy subtrakcyjnej fantomu o defektach 1 mm pod powierzchnią: a) dla metody „0-n” oraz b) dla metody „1-n”
 Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 3 Zestawienie pola ramki testowej, pola defektu 1 i 2 dla fantomów o defektach na głębokości 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 oraz 8 mm dla analizy subtrakcyjnej metodą „0-n” (a) oraz „1-n” (b)
 Źródło: Opracowanie własne.



Dla obrazów otrzymanych metodami „0-n” oraz „1-n” przeprowadzono analizę obliczenia pola defektów zatopionych w materiale fantomu. W tym celu użyto algorytmu do obliczania pól powierzchni w kształcie kwadratu:

{{ar1.upleftxpos}}-{{ar1.lorightxpos}}*
*** ({{ar1.upleftypos}}-{{ar1.lorightypos}})**

Przy użyciu funkcji programu IrNDT o nazwie: *box area* wyliczono pole defektu górnego (1) oraz dolnego (2) i po uśrednieniu przedstawiono dla kolejnych fantomów na rysunku 3.

Na podstawie wykresów przedstawionych na rysunku 3 można zauważyć, że dla metody subtrakcji „0-n” już dla defektu umiejscowionego na głębokości 5 mm wyraźnie widać różnicę w wartości pola powierzchni defektu. Z kolei dla analizy subtrakcyjnej „1-n” rozbieżność w wartościach pola powierzchni defektu oraz wyraźny wzrost odchylenia standardowego jest widoczny dla głębokości 4 mm.

Wnioski

Przeprowadzone badania dowiodły możliwości lokalizacji defektów umieszczonych pod powłoką silikonu, a nawet

określenia rozmiarów defektu za pomocą aktywnej termografii dynamicznej.

Dla czasu naświetlania 15 sekund defekty zlokalizowane głębiej niż 8 mm pod powierzchnią silikonu nie są widoczne.

Literatura

1. B. Więcek, G. De Mey: *Termowizja w podczerwieni – podstawy i zastosowanie*, Wydawnictwo PAK, Warszawa 2011.
2. S. Wiśniewski, S.T. Wiśniewski: *Wymiana ciepła*, wyd. 6, WNT, Warszawa 2009, ISBN 978-83-204-3671-6.
3. A. Cholewka, A. Stanek i wsp.: *Thermography study of skin response due to wholebody cryotherapy*, *Skin Research and Technology*, 2011.
4. W. Minkina: *Pomiary termowizyjne – przyrządy i metody*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004.
5. A. Cholewka, T. Kasprzyk, A. Stanek, K. Sieroń-Stołytny, Z. Drzazga: *May thermal imaging be useful in cyclist endurance tests?*, *J Therm Anal Calor*, 123(3), 2015, 1973-1979.
6. M. Kaczmarek, A. Nowakowski: *Active Dynamic Thermography in mammography*, *Task Quarterly*, 8(2), 2004, 259-267.

reklama



PRODUCENT APARATURY DO POMIARU PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO OD 1957 ROKU

- monitoring radiacyjny (prom. gamma i neutronowe)
- pomiar promieniowania X i gamma
- wykrywanie i pomiar stopnia skażenia powierzchni nuklidami alfa, beta i gamma
- pomiar względnej aktywności próbek (np. przy pomiarze jodochwytności tarczycy)
- analiza badanych izotopów promieniotwórczych (analiza spektrometryczna oraz ilościowa)
- monitorowanie warunków pracy z możliwością bezpośredniego odczytu mierzonych wartości i sygnalizacji przekroczenia ustawionych progów alarmowych
- wzorcowanie aparatury dozymetrycznej w akredytowanym Laboratorium Wzorcuującym Urządzeń Dozymetrycznych

Monitoring radiacyjny ZR - 2MR



Radiometr RK-100-2 z sondą zewnętrzną RK-100



Radiometr uniwersalny RUM-2



Polon-Alfa Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp.k.
85-861 Bydgoszcz, ul. Glinki 155, tel. 52 36 39 261, www.polon-alfa.pl, e-mail: polonalfa@polon-alfa.pl