

WYKRYWANIE DEFECTÓW W SKÓRACH NATURALNYCH Z UŻYCIEM LINIOWEGO PROMIENNIKA CIEPŁA

Stanisław CHUDZIK

Politechnika Częstochowska
tel.: 34 3250 883 e-mail: chudzik@el.pcz.czyst.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań nieniszczących nad opracowywaną metodą wykrywania defektów naruszających jednorodną strukturę budowy wewnętrznej i zewnętrznej wygarbowanych skór naturalnych, zwłaszcza licowych. W prezentowanej metodzie użyto liniowego promiennika podczerwieni do osiągnięcia wymuszenia temperatury o charakterze impulsowym. Do pomiaru rozkładu temperatury na powierzchni badanej, w eksperymencie użyto kamery termowizyjnej. W badaniach zaproponowano opracowany algorytm przetwarzający pakiet termogramów zarejestrowanych w czasie ochładzania powierzchni badanej skóry. Przedstawiono wybrane wyniki badań eksperymentalnych oraz wyniki działania opracowywanego algorytmu wykrywania defektów w skórach. Osiągnięto zadowalające wyniki badań.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące, skóry naturalne, defektoskopia.

1. WSTĘP

W przemyśle skórzanym wyraźnie daje zauważyć się powrót do produkcji wyrobów wykonanych ze skór naturalnych. Ponadto potencjalni użytkownicy wyrobów skórzanych coraz bardziej cenią sobie zalety skór naturalnych.

W odróżnieniu od materiałów z tworzyw sztucznych, skóry naturalne mają niejednorodną strukturę i różne właściwości zależne od sposobu garbowania i gatunku zwierzęcia, z jakiego została pozyskana skóra. Garbowanie jest to poddanie skóry surowej działaniu środków garbujących, które przemieniają skórę surową w skórę wygarbowaną, nadając jej takie właściwości, jakich nie ma skóra surowa, jak ścisłość, giętkość miękkość, sprężystość, trwałość, odporność na działanie wody itp. Jakość i grubość skóry zależy przede wszystkim od rodzaju zwierzęcia, z którego skóra pochodzi. Nawet zwierzęta tego samego gatunku mają skóry różnej jakości i grubości, zależnie od wieku, płci, a zwłaszcza warunków, w jakich żyją. Skóra nie jest równomierna na całej powierzchni. Grubość jej i zwartość, a zatem i wytrzymałość, są różne w poszczególnych częściach.

Skóry mają zazwyczaj różne wady, powstałe na nich za życia zwierzęcia lub spowodowane nieprawidłowym zdjęciem i konserwowaniem skór surowych oraz powstałe w czasie wyprawy. Wady te mogą wpływać nie tylko na wygląd zewnętrzny skóry, ale też obniżać jej wartość użytkową.

2. WYKORZYSTANIE PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO W BADANIACH NIENISZCZĄCYCH

Obserwowany postęp technologiczny, jaki nastąpił w konstrukcji urządzeń stosowanych do detekcji promieniowania podczerwonego, oraz zwiększająca się dostępność tego sprzętu na rynku przyczyniły się do rozwoju nieniszczących badań termowizyjnych [1,2,3]. Najczęściej systemy termowizyjne stosowane są do celów diagnostyki przemysłowej, np. w energetyce, elektronice, budownictwie czy hutnictwie, a także w diagnostyce medycznej bądź technice wojskowej [1,2]. Badania nieniszczące z wykorzystaniem pomiarów termowizyjnych można podzielić na dwie metody - pasywną i aktywną. Metoda pasywna polega na obserwacji zjawiska dyfuzji ciepła w próbce bez dostarczania do niej energii z zewnątrz. Metoda aktywna polega na wymuszeniu przez zewnętrzne źródło ciepła zjawisk termicznych w badanej próbce. Analiza termowizyjna odpowiada na to wymuszenie może dostarczyć szerokich możliwości pomiarowych. Ze względu na rodzaj pobudzenia termowizję aktywną można podzielić na impulsową i synchroniczną. Jeżeli wymuszeniem jest okresowo zmienny strumień ciepła o częstotliwości w zakresie $0,01 \div 10$ Hz, mamy do czynienia z metodą „fali cieplnej” [3]. Wykorzystując tę technikę, można wykrywać wewnętrzne defekty struktury, dokonywać pomiarów grubości jej warstw oraz dokonywać badań właściwości cieplnych różnych materiałów.

3. KONCEPCJA URZĄDZENIA I STANOWISKO EKSPERYMENTALNE

Koncepcja urządzenia zakłada, że badany płatek skóry naturalnej umieszcza się na płaskim metalowym stole dokonując następnie jej podgrzewania od góry za pomocą przesuwającego się promiennika podczerwieni, osiągając wymuszenie temperaturowe o charakterze impulsowym. W trakcie działania wymuszenia temperaturowego oraz przez pewien czas po nim, dokonuje się metodą bezstykową pomiaru zmian temperatury w czasie dla dyskretnych punktów reprezentujących całą górną powierzchnię badanego płata skóry. W trakcie pomiaru zakłada się możliwość występowania gradientów temperatury w każdym wymiarze badanej próbki. Na podstawie zarejestrowanych zmian temperatury w czasie dla

dyskretnych punktów pola powierzchni płata skóry, określa się różnice w przyrostach temperatury pomiędzy punktami, wykorzystując cyfrowe algorytmy przetwarzania obrazów – w tym algorytmy kontrastujące. Na podstawie wyznaczonych wartości parametrów kontrastu pomiędzy punktami, określa się obszary powierzchni płata skóry, których struktura budowy może odbiegać od pozostałej powierzchni.

Na rysunku 1 przedstawiono fotografię stanowiska badawczego.



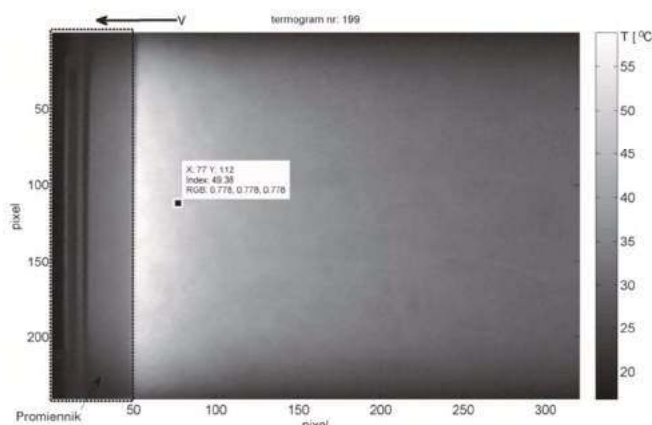
Rys. 1. Stanowisko badawcze

Na stanowisku pomiarowym znajduje się statyw 1 z umocowaną kamerą termowizyjną 2, model ThermaCAM PM595. Poniżej, w polu widzenia kamery, znajduje się specjalnie wykonany aluminiowy stół 3, na którym układa się badany materiał. Stół może być podgrzewany lub też chłodzony cieczą. Możliwości te zapewnia ultratermostat 4 z dodatkową chłodnicą z wentylatorem 5, w obiegu przepływającej cieczy. Aby zapewnić równomierne przyleganie badanego materiału do powierzchni stołu poprzez wyeliminowanie zbędnej warstwy powietrza znajdującego się między powierzchnią stołu a dolną powierzchnią badanego materiału, blat stołu posiada małe otwory, które umożliwiają odessanie zbędnego powietrza za pomocą pompy podciśnienia 6. Nad stołem może przemieszczać się specjalny wózek 7, do którego ramy można przymocować promiennik podczerwieni lub inne urządzenie mogące dokonywać wymuszenia temperaturowego na badanej powierzchni. Przeszczanie się wózka nad stołem realizowane jest za pomocą napędu z silnikiem krokowym i paskiem zębatym. Napęd wyposażono w dwa mechaniczne czujniki krańcowe, oraz dwa optyczne czujniki mogące służyć do synchronizacji chwili rejestracji obrazu z ustalonym położeniem wózka. Położenie

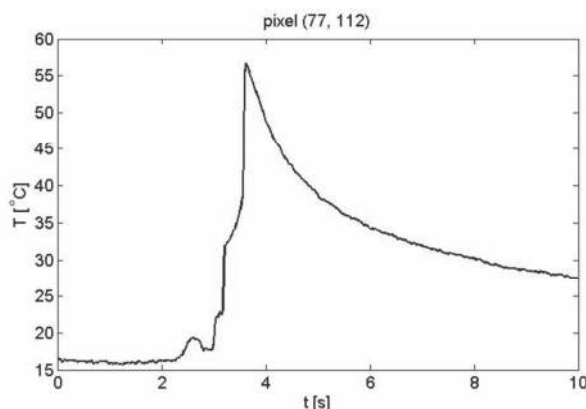
wspomnianych czujników optycznych można dowolnie ustalać. Zbudowano specjalny system mikrokontrolera 8, model AT89S253, służący do sterowania napędu wózka, generowania sygnału synchronizacji dla rejestracji obrazów oraz włączania źródła wymuszenia cieplnego i pompy podciśnienia powietrza. System sterowania napędu oraz wentylator chłodnicy zasilane są z zasilacza 9 o napięciu 12 V. Aby ograniczyć wpływ warunków zewnętrznych na wyniki pomiarów wykonywanych na stanowisku pomiarowym, na górze statywu można zamontować dodatkową ramę z przymocowaną zasłoną z włókniny o wysokiej emisyjności. Moc promiennika podczerwieni może być płynnie regulowana.

4. WYNIKI EKSPERYMENTU

W przykładowym eksperymencie zarejestrowano $n=500$ termogramów o rozdzielczości 320x240 pikseli. Czas rejestracji wyniósł 10 sekund przy częstotliwości próbkowania 50 Hz. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy termogram. Linia przerywaną zakreślono obraz promiennika podczerwieni, który w trakcie rejestracji obrazów przesuwiał się zgodnie z kierunkiem narysowanego wektora v . Na termogramie zaznaczono przykładowy piksel, dla którego na rysunku 3 przedstawiono przebieg zmian temperatury w czasie rejestracji.



Rys. 2. Zarejestrowany termogram badanej próbki



Rys. 3. Przebieg zmian temperatury dla wybranego punktu

Dla każdego piksela w obrazie przebieg temperatury składa się z trzech etapów: oczekiwanie na dojazd promiennika, przemieszczanie promiennika nad rozpatrywanym punktem (nagrzewanie) oraz etap ochładzania. Etap nagrzewania jest bezużyteczny do analizy, gdyż w tym czasie obraz rozpatrywanego piksela przesłania obudowa promiennika. Do dalszych analiz wykorzystane

zostaną dane etapu ochładzania. Należy zauważyć, że przy liniowym źródle ciepła ustawionym równolegle do osi Y obrazu i przesuwającym się wzdłuż osi X , wymuszenie cieplne następuje w tym samym czasie jedynie dla pikseli znajdujących się w linii równoległej do osi Y obrazu (kolumny pikseli na obrazie). Rozpatrując piksele wzdłuż osi X (wiersze pikseli na obrazie) moment wystąpienia wymuszenia cieplnego zależy od wartości współrzędnej X i prędkości przesuwania się promiennika.

5. KONCEPCJA ALGORYTMU I WYNIKI JEGO DZIAŁANIA

Wykorzystanie w proponowanym urządzeniu liniowego promiennika podczerwieni ma pewne zalety i wady. Do zalet należy: możliwość dostarczenia równomiernego strumienia ciepła na całej powierzchni badanego materiału, mniejszy koszt promiennika, mniejsze wymiary i moc elektryczna urządzenia. Wadą tego rozwiązania jest konieczność dodatkowego przetworzenia zarejestrowanych obrazów tak, aby otrzymać obraz ekwiwalentny do tego, jaki otrzymalibyśmy używając promiennika naświetlającego jednocześnie całą powierzchnię badanego materiału. Wspomniana wada wymaga wytworzenia jednorazowo bardziej złożonego oprogramowania, którego koszt będzie niewspółmiernie niski z kosztami związanymi z wytworzeniem do każdego urządzenia promiennika o dużej powierzchni.

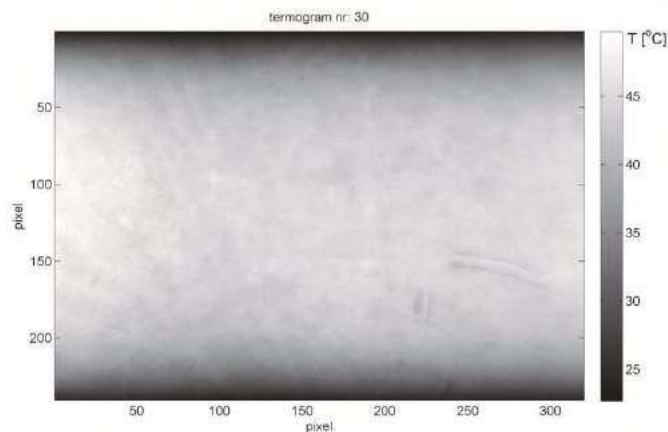
W ramach prowadzonych badań, wstępnie opracowano możliwie prosty algorytm związany z cyfrowym przetwarzaniem obrazów, bazując na wiedzy i doświadczeniu związanym z zagadnieniem dyfuzji ciepła [3,4,5]. Przydatność bardziej złożonych algorytmów przetwarzania obrazów zostanie określona w dalszych badaniach.

Wykorzystanie liniowego źródła wymuszenia cieplnego spowodowało, że stan procesu dyfuzji ciepła rejestrowany dla poszczególnych kolumn pikseli na termogramie jest różny – przesunięty w czasie, zależnie od położenia wzdłuż osi X . Autor uznał, że bezpośrednie przetwarzanie takiej sekwencji termogramów jest nieefektywne, gdyż z upływem czasu na powierzchni ochładzanej występują coraz mniejsze wartości temperatury i jej gradientów. W efekcie, zamiast wykrywać na obrazie różnice związane z defektami materiału, algorytm uwidaczniałby głównie różnice wynikające ze stanu zaawansowania procesu ochładzania dla obszarów obrazu zależnie od współrzędnej x .

Dlatego też sekwencję zarejestrowanych termogramów przetworzono taki sposób, aby otrzymać sekwencję termogramów ekwiwalentną do takiej, jaką otrzymano by używając promiennika naświetlającego jednocześnie całą powierzchnię badanego materiału. W tym celu, na podstawie obserwacji przemieszczania się maksimum temperatury na termogramach w zarejestrowanej serii, określono czas przebiegu t_x liniowego wymuszenia cieplnego od prawej do lewej krawędzi obrazu. Następnym krokiem jest dekompozycja każdego z n termogramów $TRG(i)$, $1 \leq i \leq n$ w zarejestrowanej serii na kolumny pikseli $KP(i,x)$, $1 \leq x \leq 320$ o przypisanej współrzędnej x . Dalej, należy poskładać kolejne termogramy ekwiwalentne $ETRG(j)$, $1 \leq j \leq k$ z odpowiednio dobranych kolumn pikseli $KP(i,x)$. W przypadku, gdy prędkość posuwu wózka v nie zapewnia warunku, że czas przemieszczania się wózka między współrzędnymi x i $x+1$ jest dokładnie równy wielokrotności czasu próbkowania, $t_p =$

$t(i+1) - t(i)$, w algorytmie można posłużyć się aproksymacją liniową w celu określenia chwilowych temperatur pikseli dla ekwiwalentnej kolumny pikseli $EKP(j, x)$. Ilość otrzymanych termogramów ekwiwalentnych $ETRG(j)$, $1 \leq j \leq k$ w serii będzie mniejsza $k < n$, i zależy ona od czasu t_x i t_p . W eksperymencie $k=260$.

Na rysunku 4 przedstawiono przykład otrzymanego termogramu ekwiwalentnego.



Rys. 4. Przykład otrzymanego termogramu ekwiwalentnego

Przebieg temperatury w czasie dla każdego pikseli $T_{ETRG}(x,y,j)$, $1 \leq j \leq k$ zostanie odfiltrowany poprzez wyznaczenie wartości średniej dla kolejnych dziesięciu próbek pomiaru.

$$T_{SETRG}(x,y,i) = \frac{\sum_{j=1+(i-1)*10}^{j=i*10} T_{ETRG}(x,y,j)}{10}, \quad 1 \leq i \leq \left(\frac{k}{10}\right) \quad (1)$$

Dzięki temu znacząco zmniejsza się szum pochodzący z niechłodzonej matrycy mikrobolometrycznej [6] oraz ilość przetwarzanych termogramów wyniesie $m=k/10=26$. Ograniczy to także ilość operacji związanych z filtracją obrazu. Najprostszą filtracją związaną z filtrami uwzględniającymi otoczenie jest rozmycie. W algorytmie zaproponowano obliczenie wartości średniej dla każdego pikseli znajdującego się w centrum kwadratowego obszaru o boku $d_{xy}=20+1$ px.

$$T_{TTRG}(x,y,i) = \frac{\sum_{p=x-10}^{p=x+10} \sum_{q=y-10}^{q=y+10} T_{SETRG}(p,q,i)}{(1+20)^2}, \quad 1 \leq p \leq 320, 1 \leq q \leq 240, 1 \leq i \leq m \quad (2)$$

W wyrażeniu (2) wartości p i q nie zawierające się w rozdzielczości termogramu zostają w algorytmie odrzucone, a ujęta w mianowniku ilość rozpatrywanych pikseli będzie odpowiednio mniejsza. Dobór wartości d_{xy} będzie jeszcze rozpatrywany w przyszłych badaniach. Dzięki rozmyciu otrzymano obraz niejednorodności o małych gradientach temperatury dalej nazywany tłem $TTRG(i)$, $1 \leq i \leq m$.

Następnie zostają wyznaczone tzw. obrazy różnicowe $RTRG(i)$, $1 \leq i \leq m$, będące różnicą temperatur dla termogramu ekwiwalentnego oraz termogramu tła, podniesioną do kwadratu:

$$RTRG(i) = (TTRG(i) - ETRG(i))^2, \quad 1 \leq i \leq m. \quad (3)$$

Aby uwzględnić w algorytmie proces wyrównywania temperatury w zjawisku dyfuzji ciepła, dla poszczególnych obrazów różnicowych wyznaczono z nich wartości średnie:

$$T_{STRG}(i) = \frac{\sum_x \sum_y T_{RTRG}(x,y,i)}{320 \cdot 240}, \quad 1 \leq i \leq m. \quad (4)$$

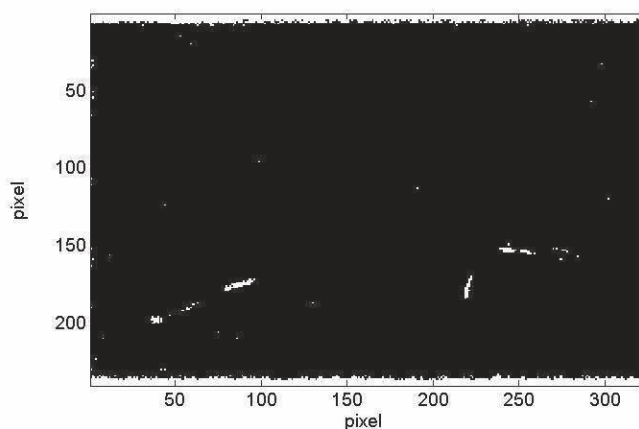
Następnie wartości kwadratów różnic temperatur na obrazach różnicowych zostały podzielone przez odpowiadające im w czasie wartości średnie. Otrzymano serię tzw. obrazów różnicowych względnych.

$$WTRG(i) = RTRG(i)/T_{STRG}(i), \quad 1 \leq i \leq m \quad (5)$$

Aby otrzymać jeden obraz uwzględniający defekty uwidaczniające się w różnych chwilach trwania zjawiska dyfuzji, dla każdego piksela wyznaczono wartość maksymalną z przebiegu czasowego względnego kwadratu różnicy temperatury.

$$T_{MTRG}(x,y) = \max(T_{WTRG}(x,y,i)), \quad 1 \leq i \leq m \quad (6)$$

Ostatnim zadaniem algorytmu jest binaryzacja obrazu defektów. Zadaniem kluczowym jest tu dobranie progu wartości, jaki będzie użyty do binaryzacji obrazu. Autor uznał, że odpowiednim rozwiązaniem może być wyznaczenie histogramu dla 100 przedziałów wartości z otrzymanego obrazu. Zakłada się, że wystąpienie w badanym materiale defektów spowoduje wzrost ilości pikseli dla pewnej wartości kwadratu różnicy względnej na analizowanym obrazie. Dlatego też na otrzymanym histogramie poszukuje się pierwszego minimum począwszy analizę histogramu od wartości zero. Wartość środkowa dla ostatniego przedziału przed znalezionym minimum będzie wartością progu do binaryzacji obrazu. Na rysunku 5 przedstawiono efekt końcowy działania zaproponowanego algorytmu, czyli zbinaryzowany obraz defektów badanej próbki skóry naturalnej.



Rys. 5. Otrzymany obraz defektów badanej próbki

6. WNIOSKI

Otrzymane w eksperymencie wyniki badań nieniszczących próbki skóry naturalnej są zadowalające. Zaproponowany algorytm w znaczącym stopniu prawidłowo wskazał położenie defektów. Było ono zgodne ze wskazaniem jakiego dokonał dział jakości uznanego producenta mebli, który dostarczył próbki do badań. Algorytm okazał się wrażliwy na znaczące gradienty pola temperatury wynikające z nierównomiernego nagrzania próbki przy jej brzegach przez zbyt krótki promiennik podczerwieni. W kolejnych eksperymentach, rozpatrywane pole powierzchni próbki zostanie ograniczone do odpowiedniej szerokości. W przeprowadzanych badaniach dokonywano doboru mocy promiennika i prędkości jego posuwu do różnych rodzajów badanych próbek, tak aby otrzymać możliwie duży kontrast dla defektów i nie spowodować uszkodzenia skóry poprzez przegrzanie jej powierzchni.

Dalsze badania będą koncentrowały się na wykorzystaniu bardziej złożonych algorytmów przetwarzania obrazów oraz użyciu innych sposobów wymuszenia termicznego działającego na powierzchnię badanej próbki skóry naturalnej.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Maldague X.: Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2001.
2. Gralewicz G., Owczarek G., Więcek B.: Investigations of single and multilayer structures using lock-In thermography – possible applications. JOSE Int. J. Occupat. Saf. Ergon. 11, 2005, 211–215.
3. Chudzik S.: Measurement of thermal parameters of a heat insulating material using infrared thermography. Infrared Physics and Technology, 55, 2012, 73-83.
4. Chudzik S.: Measurement of thermal diffusivity of insulating material using the artificial neural network. Measurement Science and Technology, 23, 2012, 065602.
5. Chudzik S., Minkina W.: An idea of a measurement system for determining thermal parameters of a heat insulation materials. Metrology and Measurement Systems, 18, 2011, 261-273.
6. Minkina W., Dudzik S.: Infrared Thermography – Errors and Uncertainties. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2009.

DEFECTS DETECTION IN THE NATURAL LEATHERS USING LINEAR INFRARED LAMP

The paper deals with a method of detecting defects of uniform internal and external structure of tanned natural leather, especially grain leather. These defects can result from damages of the leather originated during an animal lifetime or later during the tanning and finishing process. In the presented method a linear infrared lamp was used to obtain the impulse heat input. The temperature response on the examined leather surface was measured using an infrared camera. The series of thermograms recorded during the leather cooling were processed using the developed algorithm. Selected results of experiments illustrating the performance of the processing algorithm are presented in the paper. The results obtained in the tests were satisfactory. Computations were carried out in the Matlab software environment. The presented solution is a part of a project whose goal is to design an industry device for non destructive testing and detecting structure defects in natural leather used in the furniture upholstery.

Keywords: non destructive testing, natural leather, defectoscopy.