

WYKORZYSTANIE BADAŃ NIENISZCZĄCYCH DO WYKRYWANIA DEFECTÓW W SKÓRACH NATURALNYCH

Sebastian DUDZIK¹, Stanisław CHUDZIK²

1. Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Instytut Optoelektroniki i Systemów Pomiarowych
tel.: 34 32 50 856 e-mail: sebdud@el.pcz.czyst.pl
2. Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Instytut Optoelektroniki i Systemów Pomiarowych
tel.: 34 3250 883 e-mail: chudzik@el.pcz.czyst.pl

Streszczenie: W pracy zaprezentowano wyniki badań, mających na celu ocenę możliwości wykrywania defektów w skórkach naturalnych, z wykorzystaniem aktywnej termografii w podczerwieni. W badaniach użyto czterech próbek skór zawierających wady powstałe w procesie garbowania. Próbkę skóry nagrzewano z wykorzystaniem lampy halogenowej i jednocześnie prowadzono rejestrację sekwencji termogramów ich powierzchni. Zarejestrowane termogramy poddano następnie analizie z wykorzystaniem zaawansowanych algorytmów przetwarzania obrazów. W wyniku badań stwierdzono, że aktywna termografia w podczerwieni pozwala na wykrywanie defektów w skórkach naturalnych, które nie byłyby możliwe do wykrycia metodami stosowanymi dotychczas. Dodatkowo, zastosowanie zaawansowanych metod przetwarzania obrazów pozwoliło na zautomatyzowanie procesu wykrywania wad.

Słowa kluczowe: garbowanie skór, aktywna termografia w podczerwieni, lokalne progowanie adaptacyjne.

1. WSTĘP

Do produkcji ekskluzywnych mebli tapicerowanych najczęściej stosuje się skóry naturalne, gdyż potencjalni użytkownicy tych wyrobów zawsze cenili sobie zalety tych skór. Szczególnie wysokie wymagania jakościowe dla powierzchni tapicerowanych stawiają producenci ekskluzywnych marek samochodów, ponieważ użytkowana we wnętrzu samochodu powierzchnia skórzana jest szczególnie narażona na uszkodzenia i ekstremalne warunki otoczenia. Dlatego też, producenci luksusowych mebli tapicerowanych oczekują opracowania skutecznych metod, pozwalających szybko i skutecznie wykrywać defekty w strukturze skór naturalnych wykorzystywanych w produkcji wspomnianych wyrobów, których jakość powinna być najwyższa, gdyż jest ona wizytówką każdej ekskluzywnej marki.

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. Do produkcji mebli tapicerowanych często są używane skóry gotowe, otrzymywane przez wygarbowanie skór surowych, głównie z bydła rogatego, cieląt, koni, świń, kóz i owiec. Poddanie skóry surowej działaniu środków garbujących, nadaje jej nowe właściwości 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. Rozpoznanie wad umożliwia nie tylko ocenę jakości, lecz decyduje o przydatności skór do poszczególnych celów. Wady występujące na skórkach można podzielić na cztery grupy:

- Wady wyglądu – plamy tłuszczowe, pleśni, wapienne, żelazowe i inne.
- Wady powierzchni lica – uszkodzenia mechaniczne powstałe za życia zwierzęcia jak zadrapania, skaleczenia, otarcia lub też uszkodzenia spowodowane niewłaściwą obróbką skóry, jak łamliwość lica.
- Wady tkanki włóknistej – decydują one o wytrzymałości skóry, o jej odporności na ścieranie i działanie wody. Uszkodzenia powstałe za życia zwierzęcia jak np. ślady wrzodów i guzów lub wągry spowodowane przez larwy gza bydłowego. Uszkodzenia spowodowane niewłaściwą obróbką skóry. Najczęściej spotykane są zacięcia i przecięcia powstałe przy zdejmowaniu skór z tuszy zwierzęcia, a także przez złe dwojenie oraz nierówne wygarbowanie.
- Wady wynikające z nieprawidłowego składu chemicznego skóry – osadzanie się w skórze dużych ilości związków mineralnych, garbnika, cukru, kwasu siarkowego lub szczawowego – po dłuższym okresie użytkowania skóra rozpada się.

2. OBECNIE STOSOWANE SPOSOBY WYKRYWANIA DEFECTÓW W SKÓRACH NATURALNYCH

W najczęściej obecnie stosowanym sposobie badaną skórę rozkłada się na stole lub wieszaku i za pomocą zmysłów wzroku i dotyku człowieka dokonuje się

subiektywnej oceny, mającej na celu wykrycie defektów naruszających jednorodną strukturę budowy wygarbowanej skóry naturalnej. W rozwinięciu tego sposobu, badaną skórę rozkłada się na płaskim stole a następnie rozciąga się ją we wszystkich kierunkach tak, aby na powierzchni skóry można było zaobserwować niejednorodną strukturę pod jej powierzchnią.

Podejmowane są także próby opracowania sposobu, w którym badaną próbkę skóry rozkłada się na płaskim stole i za pomocą cyfrowego aparatu fotograficznego dokonuje się rejestracji obrazu powierzchni skóry w zakresie pasma widzialnego promieniowania elektromagnetycznego. Następnie zarejestrowany obraz w postaci cyfrowej poddawany jest cyfrowemu przetwarzaniu obrazu w celu wyraźnego wyeksponowania i oznaczenia tych obszarów powierzchni skóry, które mogą nie spełniać norm jakościowych pod względem jednorodności budowy badanej struktury skóry naturalnej.

3. WYKORZYSTANIE PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO W BADANIACH NIENISZCZĄCYCH

3.1 Aktywna termografia w podczerwieni

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 badań termowizyjnych [1,2]. Najczęściej systemy termowizyjne stosowane są do celów diagnostyki przemysłowej, np. w energetyce, elektronice, budownictwie czy hutnictwie, a także w diagnostyce medycznej bądź technice wojskowej. Wykorzystując tę technikę, można wykrywać wewnętrzne defekty struktury, dokonywać pomiarów grubości jej warstw oraz dokonywać badań właściwości cieplnych różnych materiałów [3,4].

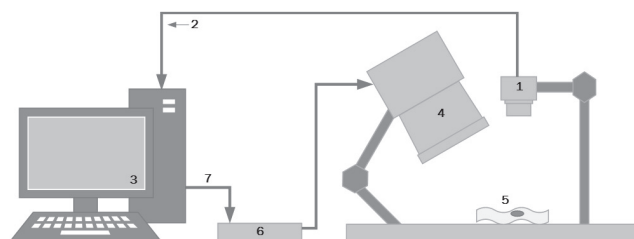
Podstawową metodą nieniszczącą, wykorzystującą promieniowanie podczerwone do wykrywania defektów w materiałach, jest aktywna termografia w podczerwieni [1,6-8]. Termografia aktywna przebiega zazwyczaj w dwóch etapach: etapie eksperymentalnym oraz etapie analizy danych. W etapie eksperymentalnym badany materiał, najczęściej w postaci odpowiednio spreparowanej próbki, jest nagrzewany z wykorzystaniem źródeł wymuszenia cieplnego, przy czym często do tego celu stosuje się lampy o ściśle kontrolowanej mocy [1]. Jednocześnie, w trakcie i po ustaniu wymuszenia, prowadzi się rejestrację sekwencji czasowej termogramów nagrzewanej powierzchni. Sekwencja taka stanowi „zapis” nieustalonego pola temperatury powierzchni badanej próbki w oknie czasowym ograniczonym przez czas trwania eksperymentu. Nieustalone pole temperatury stanowi odpowiedź cieplną materiału uzyskaną w określonych warunkach wymiany ciepła. Do rejestracji sekwencji niezbędne jest użycie kamery termowizyjnej, urządzenia rejestrującego pole temperatury w czasie rzeczywistym (ang. *frame-grabber*), oraz odpowiedniego oprogramowania sterującego zarządzającego akwizycją termogramów [6,7]. Bardzo często oprogramowanie pozwala na określenie parametrów rejestracji, takich jak częstotliwość próbkowania, parametry obiektu (np. współczynnik emisyjności pasmowej) oraz warunki pomiaru (np. temperatura atmosfery) [5].

W etapie analizy danych pomiarowych, w celu wykrycia defektów podpowierzchniowych, przeprowadza się przetwarzanie sekwencji zarejestrowanej w trakcie badań

eksperymentalnych. Do przetwarzania wykorzystuje się klasyczne metody cyfrowego przetwarzania sygnałów i obrazów, tj. filtrację, wykrywanie krawędzi, metody segmentacji itp. [9], a także algorytmy uczenia maszynowego (np. klasyfikacja, regresja, grupowanie i inne) [10], oparte na metodach sztucznej inteligencji, w tym sztucznych sieciach neuronowych [7,8]. Klasyczne metody cyfrowego przetwarzania obrazów w zastosowaniu do analizy termogramów zarejestrowanej sekwencji mają przede wszystkim na celu zwiększenie kontrastu cieplnego, tak aby operator systemu kontroli jakości mógł ocenić czy w prezentowanym polu widzenia termogramu znajdują się defekty. Dodatkowo, metody klasyczne mogą stanowić etap pośredni w procedurach automatycznego rozpoznawania, umożliwiając wstępne przetwarzanie obrazu, poprawiające efektywność detekcji. Ostatecznie w wyniku etapu analizy uzyskuje się informację diagnostyczną, pozwalającą na stwierdzenie, czy i gdzie w danej próbce materiału znajdują się defekty.

3.2. Badania eksperymentalne skór z wykorzystaniem termografii aktywnej

W niniejszej pracy przeprowadzono badania eksperymentalne, mające na celu ocenę możliwości wykrywania wad powstających w procesie garbowania i dalszej obróbki skór naturalnych. W eksperymentach wykorzystano stanowisko pomiarowe, którego schemat przedstawiono na rysunku 1.



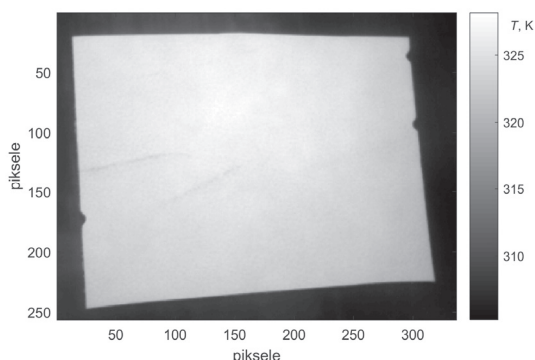
Rys. 1. Stanowisko do wykrywania wad w skórkach naturalnych z wykorzystaniem aktywnej termografii w podczerwieni

W skład stanowiska wchodziła długofalowa kamera termowizyjna IRS336-NDT (1) z niechłodzonym detektorem mikrobolometrycznym FPA o rozdzielczości przestrzennej 336x256 pikseli oraz rozdzielczości termicznej NETD < 30 mK połączona za pomocą cyfrowego interfejsu w standardzie GigEVision with GenICam (2) z komputerem osobistym (3) wyposażonym w oprogramowanie do cyfrowej akwizycji i przetwarzania sekwencji termogramów, lampa halogenowa ze wzmacniaczem mocy (4) o mocy 2,5 kW, służąca do generowania wymuszenia cieplnego na powierzchni badanej próbki (5) oraz sterownik lampy (6) pozwalający na generowanie wymuszeń cieplnych o ściśle określonym przebiegu zadawanym z wykorzystaniem dedykowanego oprogramowania i interfejsu cyfrowego (7).

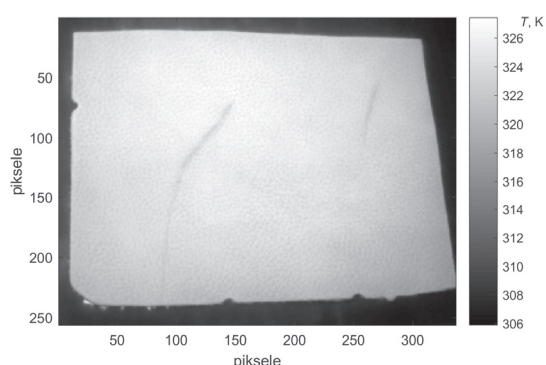
Do badań wytypowano cztery próbki ($P_1 - P_4$) garbowanych skór naturalnych, o różnych kolorach i fakturze, zawierających defekty. W trakcie trwania eksperymentu badane próbki nagrzewano impulsem cieplnym o całkowitym czasie trwania równym 10 s, przy mocy lampy równej 100%. Jednocześnie prowadzono rejestrację nieustalonego pola temperatury na powierzchni próbek z częstotliwością próbkowania $f_s = 15$ Hz. Wyniki eksperymentów zaprezentowano na rysunkach 2-5.

Na rysunku 2 przedstawiono termogram powierzchni próbki P_1 zarejestrowany w chwili czasowej $\tau = 3,4$ s.

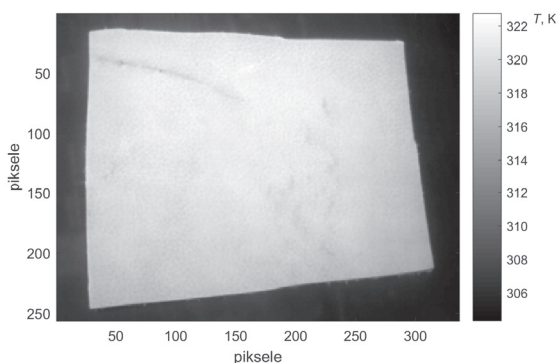
Termogram powierzchni próbki P_2 uzyskany w chwili czasowej $\tau = 3,4$ s zaprezentowano na rysunku 3, a na rysunku 4 przedstawiono termogram powierzchni próbki P_3 zarejestrowany w chwili $\tau = 2,4$ s. Ostatecznie, na rysunku 5 zaprezentowano termogram powierzchni próbki P_4 zarejestrowany w chwili $\tau = 1,4$ s.



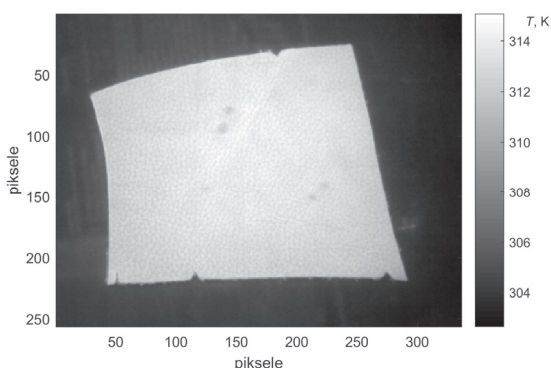
Rys. 2. Termogram powierzchni próbki P_1 ($\tau = 3,4$ s)



Rys. 3. Termogram powierzchni próbki P_2 ($\tau = 3,4$ s)



Rys. 4. Termogram powierzchni próbki P_3 ($\tau = 2,4$ s)



Rys. 5. Termogram powierzchni próbki P_4 ($\tau = 1,4$ s)

3.3. Analiza danych pomiarowych

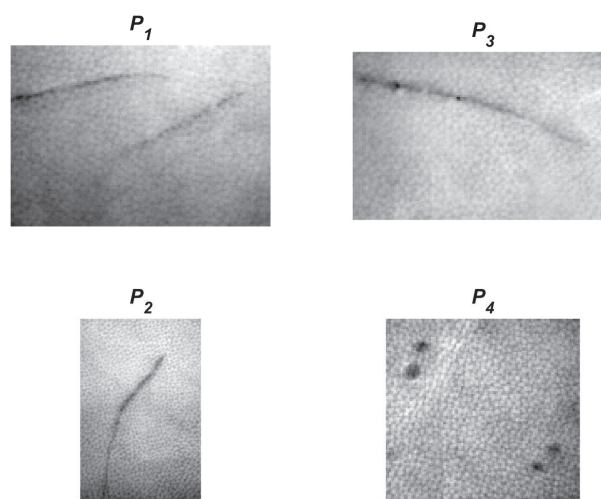
W niniejszej pracy, w celu lepszego uwidocznienia defektów w badanych próbkach skóry, dokonano analizy danych pomiarowych uzyskanych w wyniku przeprowadzenia wyżej opisanych eksperymentów. Analizę przeprowadzono w następujących etapach:

1. Wybór chwili czasowej, tj. termogramu sekwencji.
2. Wybór obszaru zainteresowania, tj. obszaru pola widzenia termogramu zawierającego defekt lub defekty.
3. Przekształcenie wybranego obszaru zainteresowania, reprezentowanego przez macierz wartości rzeczywistych, wyrażonych w stopniach Kelwina wartości temperatury powierzchni, do postaci macierzy wartości całkowitych, reprezentujących poziomy jasności. W wyniku przekształcenia uzyskiwano obraz obszaru zainteresowania w skali szarości.
4. Przetwarzanie obrazu w skali szarości z wykorzystaniem metod cyfrowego przetwarzania obrazu w celu uwidocznienia defektów w polu widzenia obszaru zainteresowania.

Jednym z ważnych etapów analizy było przekształcenie macierzy temperatur do postaci obrazu w skali szarości. Przekształcenie przeprowadzono przy użyciu następującej zależności:

$$J(x, y) = \frac{255}{T_{\max} - T_{\min}} (T(x, y) - T_{\min}), \quad (1)$$

gdzie: $J(x, y)$ – poziom jasności piksela obrazu o współrzędnych (x, y) ; T_{\max} , T_{\min} (K) – odpowiednio maksymalna i minimalna temperatura powierzchni badanej próbki, zarejestrowana w wybranym obszarze zainteresowania, w chwili czasowej analizy, określonej w etapie 1; $T(x, y)$ (K) – temperatura zarejestrowana dla piksela termogramu o współrzędnych (x, y) , w chwili czasowej analizy, określonej w etapie 1. Obrazy obszarów zainteresowań dla poszczególnych próbek skóry, uzyskane na podstawie zależności (1) przedstawiono na rysunku 6. Obrazy odpowiadają termogramom powierzchni próbek przedstawionym na rysunkach 2-5.

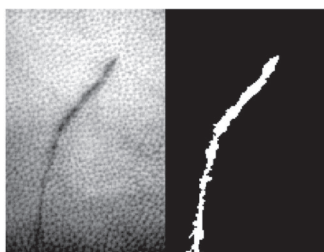


Rys.6. Obrazy obszarów zainteresowania dla poszczególnych próbek skóry, uzyskane z użyciem równania (1)

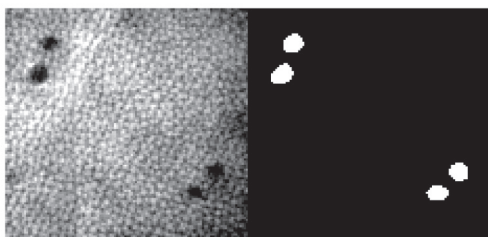
Kolejnym etapem przetwarzania obrazu w skali szarości było zastosowanie wybranych metod poprawy kontrastu, w tym metody wyrównania histogramu [11].

Ostatecznie, na obrazach przeprowadzono operację lokalnego progowania adaptacyjnego, z użyciem lokalnych statystyk pierwszego rzędu [11].

W ostatnim etapie analizy przeprowadzono binaryzację obrazów z rysunku 6, z uwzględnieniem wartości progów wyznaczonych w trakcie operacji progowania. Przykładowe wyniki binaryzacji dla obrazów obszarów zainteresowań, określonych dla próbek P_2 i P_4 , przedstawiono na rysunkach 7, 8, przy czym po lewej stronie zaprezentowano obrazy w skali szarości o zwiększonym kontraście, natomiast po prawej stronie obrazy binarne.



Rys.7. Wynik binaryzacji obrazu obszaru zainteresowania uzyskanego na podstawie termogramu powierzchni próbki P_2



Rys.8. Wynik binaryzacji obrazu obszaru zainteresowania uzyskanego na podstawie termogramu powierzchni próbki P_4

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Jak można zauważyć z rysunku 6., proponowana metoda umożliwiła uwidocznienie wybranych typów defektów występujących w skórkach naturalnych w polu widzenia termogramu. Co więcej kontrast cieplny uzyskanych obrazów termalnych pozwala na automatyczną binaryzację i segmentację wybranych termogramów sekwencji (rysunki 7, 8), a co za tym idzie automatyczne wykrycie wad.

W przeciwieństwie do obecnie stosowanych rozwiązań, proponowana przez autorów metoda umożliwia badanie także niewidocznych na zewnątrz zmian w strukturze skóry.

Dzięki skrótnemu przepływowi strumienia ciepła przez badaną skórę i rejestracji nieustalonego pola temperatury na jej powierzchni, możliwe jest wykrywanie defektów powstałych podczas garbowania. Dodatkowo, zastosowanie zaawansowanych metod przetwarzania obrazu pozwala na zautomatyzowanie procesu wykrywania.

5. 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. Minkina W., Dudzik S.: Infrared Thermography – Errors and Uncertainties. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2009.
6. Dudzik S.: „A simple method for defect area detection using active thermography”, Opto-Electronics Review, Vol. 17, Issue 4, 2009, str. 338-344.
7. Dudzik S.: „Wyznaczanie głębokości defektów materiałowych z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych i aktywnej termografii dynamicznej”, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2013.
8. Dudzik S., Two-stage neural algorithm for defect detection and characterization uses an active thermography, Infrared Physics and Technology, (71) 2015, str. 187-197
9. Malina W., Smiatacz M.: „Cyfrowe przetwarzanie obrazów”, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2008.
10. Dudzik S.: „Application of the naive Bayes classifier to defect characterization using active thermography”, Journal of Nondestructive Evaluation, (31) 4, 2012, str. 383-392
11. Davies E.: „Machine Vision: Theory, Algorithms and Practicalities”, Academic Press, 1990.

USING THE NON-DESTRUCTIVE TESTING TO DEFECT DETECTION IN LEATHERS

Natural leathers usually have different defects, resulting from them during the life of the animal, or due to improper skin removal and preservation of leathers. Recognition of defects allows you to assess the quality and determine the suitability of the leathers for particular purposes as well as. In the most commonly used method, the examined leather is spread on a table or a hanger and a subjective evaluation of the defects affecting the homogeneous structure of the hulled natural leather is made by means of the human senses (i.e. the human eye or the human touch). In this paper an experimental study was carried out to evaluate the possibility of detecting defects, arising from tanning, and further processing of natural leather. In experiments, the investigated leather sample was heated and the transient temperature field was recorded by an infrared camera. Finally, the thermograms of the leather surface were processed and the diagnostic information about the defect presence was obtained. In the paper it was found the active thermography is very useful for detection of defects in leathers. Furthermore, the application of advanced image processing methods allowed to fully automate the detection process.

Keywords: leather tanning, active infrared thermography, locally adaptive thresholding.