



Wstępna detekcja stanu elewacji budynków przy wykorzystaniu obrazowań hiperspektralnych

PIOTR WALCZYKOWSKI, RAFAŁ DĄBROWSKI,
AGATA ORYCH

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2,
pwalczykowski@wat.edu.pl, dabrowski@wat.edu.pl, aorych@wat.edu.pl

Streszczenie. Istnieje wiele czynników powodujących niszczenie zewnętrznej części elewacji budynków. Należą do nich mchy, szkodniki, wilgoć czy grzyby, które często powodują uszkodzenia materiałów kamieniarskich, zewnętrznych części tynków i tym samym ich kruszenie i odpadanie. Czynnikiem, któremu zespół z Zakładu Teledetekcji i Fotogrametrii WAT poświęcił szereg badań i analiz, jest wilgotność. Wywołuje ona gnicie drewna, murszenie cegły, korozję stali, jak również może spowodować mikropęknięcia i odpadanie tynku. Ponadto zawilgocone elementy budowlane powodują wzrost zapotrzebowania na energię grzewczą. Wzrost wilgotności powietrza wewnętrznego budynku staje się również początkiem rozwoju szkodliwych pleśni i grzybów. Zagadnieniem poruszo-
nym w opisaney pracy badawczej jest wykrywanie zawilgoconych obszarów elewacji nieinwazyjnymi metodami teledetekcyjnymi.

Słowa kluczowe: teledetekcja, technika hiperspektralna, elewacje budynków, spektralne charakteryztyki odbiciowe

1. Metody pomiaru wilgoci

Do najważniejszych metod wykorzystywanych w celu określenia wilgotności w materiałach zalicza się:

- metoda wago-suszarkowa (metoda laboratoryjna),
- metoda termowizyjna,
- wykorzystanie wilgotnościomierzy.

1.1. Metoda wago-suszarkowa

Bazuje ona na ważeniu próbek elewacji badanego budynku. Następnie próbki są poddawane procesowi całkowitego wysuszenia za pomocą suszarek, które mają również możliwość mierzenia temperatury suszonego materiału. Automatycznie po zakończeniu tego procesu dokonuje się pomiaru wagowego próbki i wyliczenia procentu zawilgocenia. Wadą tej metody jest fakt, że gdy badana substancja ma ciemną barwę, wówczas podczas suszenia występuje efekt zwiększonego pochłaniania ciepła, co może prowadzić do niezamierzonego wzrostu temperatury, a tym samym zafałszowania wyników [3].

1.2. Metoda termowizyjna

Termowizja jest metodą badawczą, która polega na zdalnej i bezdotykowej ocenie rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu przy użyciu kamery termowizyjnej. Zastosowanie termowizji w badaniu stanu elewacji budynków polega na wykrywaniu różnic temperatur na powierzchni zewnętrznych ścian budynku, za pomocą kamery termowizyjnej. Badając różnego rodzaju wady w izolacji elementów budowli, można stwierdzić, że w zależności od rodzaju defektu otrzymuje się inny obraz termowizyjny, inny rozkład temperatury. Wyniki takich analiz termalnych mogą być wykorzystane do wykrywania zawilgoconych fragmentów murów zakrytych tynkiem.

1.3. Wilgotnościomierze

Wilgotnościomierze, czyli higrometry, to urządzenia elektryczne służące do nieinwazyjnego pomiaru wilgotności w badanych substancjach. Pomiar względny wilgotności dokonywany jest za pomocą metody radiowej (tryb przeszukiwania). Dodatkowo wykonywany jest również pomiar temperatury i wilgotności względnej powietrza i temperatury punktu rosy. Urządzenia mają zdolność penetrowania na głębokość, która dla materiałów budowlanych zwykle sięga 50 mm.

Wyżej wymienione metody są dziś stosowane do pomiaru wilgoci elewacji budynków. W przypadku obecnie stosowanych metod należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że na wyniki pomiarów, poza zawartością wilgoci, wpływają jeszcze inne czynniki, takie na przykład jak: rodzaj materiału i jego gęstość, porowatość, a przede wszystkim rodzaj i stężenie soli w materiale. Czynniki te mogą wpływać na poprawność otrzymywanych wyników. Analizując kolejno sposób ważenia i suszenia, należy pobrać próbki poddanych badaniu ścian, tym samym jesteśmy zmuszeni wykonać nawierty w ścianach, co może się okazać kłopotliwe w wykonaniu, zwłaszcza w przypadku, gdy mamy do czynienia z zabytkami. Dodatkowe ryzyko związane jest z możliwością naruszenia konstrukcji budowli w przypadku

przewiercenia nieodpowiednich miejsc. W przypadku tego typu badań istnieje duże ryzyko otrzymania niewiarygodnych wyników spowodowanych samym procesem wiercenia, gdzie wydzielane jest ciepło, mające wpływ na otrzymany wynik. Z kolei dane pozyskane z kamery termowizyjnej, z racji tego, że ukazują tylko dane w postaci rozkładu temperatur, mogą być niewystarczające do dokładnej analizy stanu elewacji budynku. Podobna sytuacja występuje przy użyciu wilgotnościomierzy przeznaczonych do pomiarów materiałów budowlanych. Tego typu urządzenia wymagają bezpośredniego kontaktu z badanym obiektem, co nie zawsze jest możliwe, zwłaszcza w przypadku wyższych kondygnacji [3].

Celem badania elewacji budynków jest otrzymanie poprawnych wyników dla całych płaszczyzn elewacji bez potrzeby ich naruszenia. Prowadzi to do wyeliminowania tych metod, które powodują niszczenie wierzchniej struktury budynku.

2. Hiperspektralne metody oceny stanu elewacji budynków

Metoda hiperspektralna należy do najbardziej nowoczesnych dzięki odpowiedniej analizie spektralnej może być wykorzystana do wykrycia obszarów, na których zaszły drobne zmiany fizykochemiczne [1]. Tym samym może być również wykorzystana do pozyskania informacji na temat stanu elewacji budynków.

Metody hiperspektralne opierają się na zdalnej analizie odbitego promieniowania elektromagnetycznego, dzięki czemu jesteśmy w stanie ocenić, jak duża ilość promieniowania padającego na badany przedmiot (w tym przypadku ściany budynku) jest od niego odbijana. Metoda ta nie wymaga kontaktu bezpośredniego z obiektem [4]. Badania możemy dokonać ze znacznych odległości, nie naruszając przy tym konstrukcji budynku.

2.1. Wykonanie pomiarów

W celu realizacji badań na przełomie lipca i sierpnia 2009 r. na terenie Wojskowej Akademii Technicznej wykonano pomiary przy użyciu prototypowego systemu pozyskiwania informacji hiperspektralnej. System ten składa się z monochromatycznej kamery video QICAM Fast 1394 firmy QImaging oraz dwóch filtrów przestrajalnych optoelektronicznie VariSpec firmy CRI. System umożliwia pozyskiwanie obrazów w dwóch zakresach fal: VIS (420-720 nm) i NIR (650-1100 nm).

Aby pozyskać charakterystyki spektralne poszczególnych regionów na płaszczyźnie badanych ścian, należało przeprowadzić:

- wywiad terenowy,
- pomiary hiperspektralne,

- przetwarzanie wykonanych pomiarów i pozyskanie charakterystyk spektralnych,
- analizę wykonanych pomiarów na podstawie klasyfikacji obrazów.

Wywiad terenowy oraz wstępne pomiary pozwoliły na odpowiedni wybór obiektów badawczych (rys. 1).



Ściana nr 1



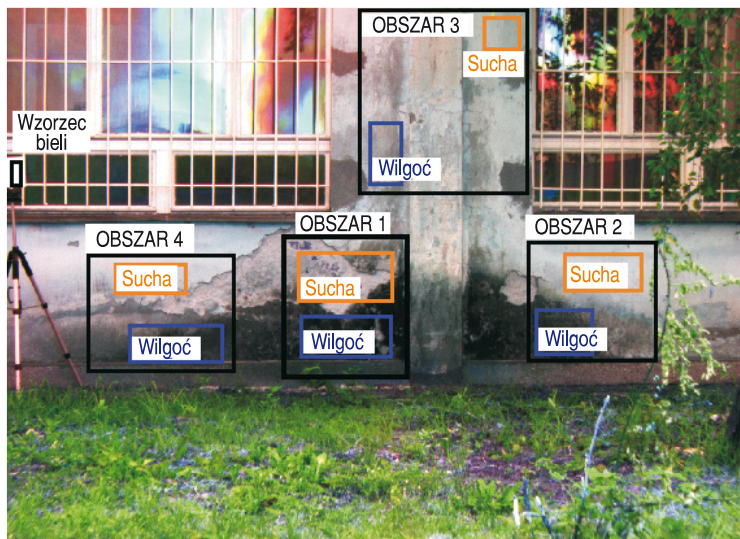
Ściana nr 2

Rys. 1. Wybrane dwie ściany budynków na terenie WAT oznaczone jako Ściana nr 1 i Ściana nr 2

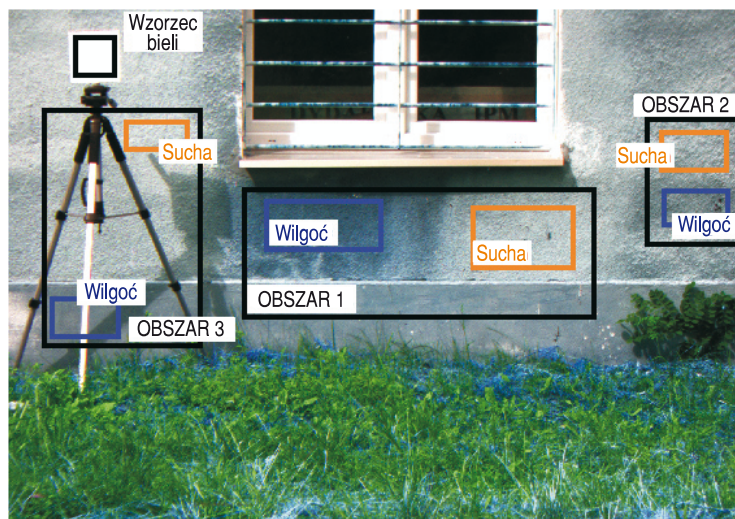
Podczas przeprowadzanych badań pozyskano dwie serie zobrażeń w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni, dla dwóch ścian budynków na terenie Wojskowej Akademii Technicznej. W przypadku obu ścian pozyskano taką samą liczbę obrazów, która dla zakresu widzialnego wynosiła 31, a dla zakresu podczerwieni 46.

2.2. Analiza wyników

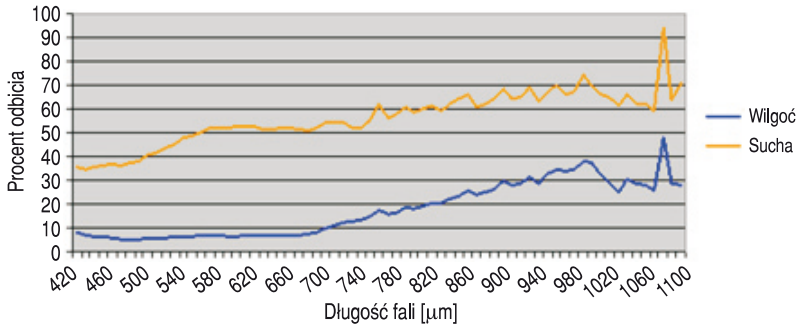
Analizie poddano obszary zaznaczone na rysunkach 2a i 2b. Analizy spektralne wykonano zarówno na obszarach wilgotnych jak i na obszarach suchych. Przetworzenie pozyskanych zobrażeń hiperspektralnych pozwoliło na wygenerowanie charakterystyk spektralnych dla badanych obszarów na powierzchni ściany budynku. Wynikowe charakterystyki spektralne z wybranych obszarów przedstawiono na rysunkach 3a i 3b.



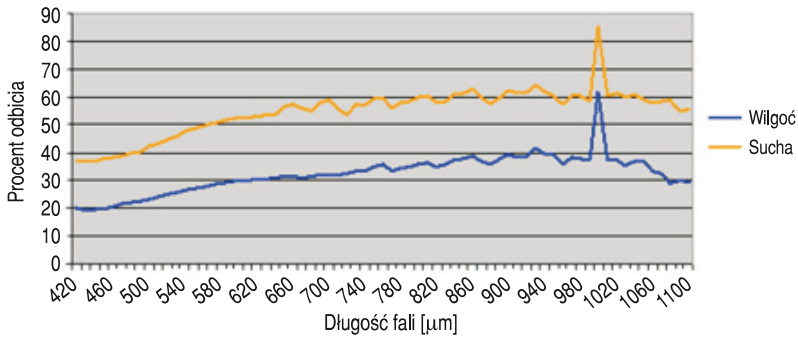
Rys. 2a. Ściana 1 z zaznaczonymi obszarami badawczymi



Rys. 2b. Ściana 2 z zaznaczonymi obszarami badawczymi



Rys. 3a. Charakterystyki spektralne pozyskane dla wybranego obszaru na Ścianie 1



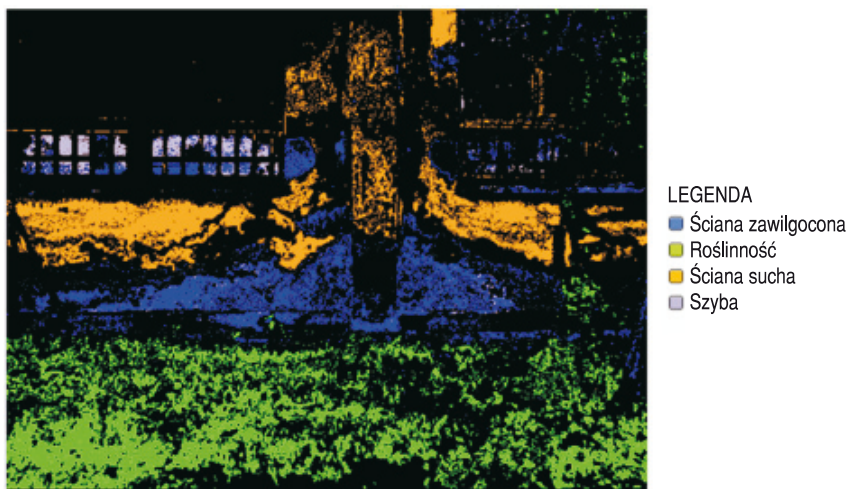
Rys. 3b. Charakterystyki spektralne pozyskane dla wybranego obszaru na Ścianie 2

3. Interpretacja otrzymanych wyników

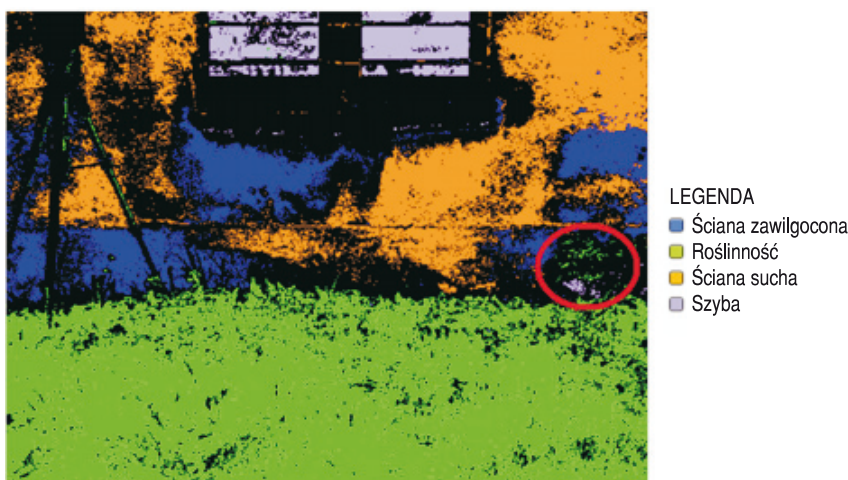
Na otrzymanych wykresach przedstawiających spektralne charakterystyki odbiciowe można wyraźnie wyróżnić obszary reprezentujące klasy, czyli miejsca suche oraz wilgotne. Krzywe spektralne obszarów zawilgoconych charakteryzują się niższymi wartościami odbicia promieniowania, niż w przypadku krzywych obrazujących miejsca suche. Różnica zawiera się w przedziale od 8% do wartości ponad 40%. Fakt ten świadczy o pochłanianym promieniowaniu elektromagnetycznym, czego przyczyną jest obecność wody.

3.1. Automatyczna interpretacja wyników

Pozyskane zobrazowania hiperspektralne zostały wykorzystane do przeprowadzenia klasyfikacji nadzorowanej dla badanej sceny [2]. Klasyfikację wykonano na podstawie odpowiednio dobranych pól treningowych dla wybranych klas: wilgotna ściana (niebieski), sucha ściana (pomarańczowy), roślinność (zielony) oraz szyba okienna (fiolet). Reguły klasyfikacji zezwoliły na występowanie pikseli niesklasyfikowanych, które zaznaczono kolorem czarnym.



Rys. 4a. Wynik przeprowadzonej klasyfikacji nadzorowanej dla ściany 1



Rys. 4b. Wynik przeprowadzonej klasyfikacji nadzorowanej dla ściany 2

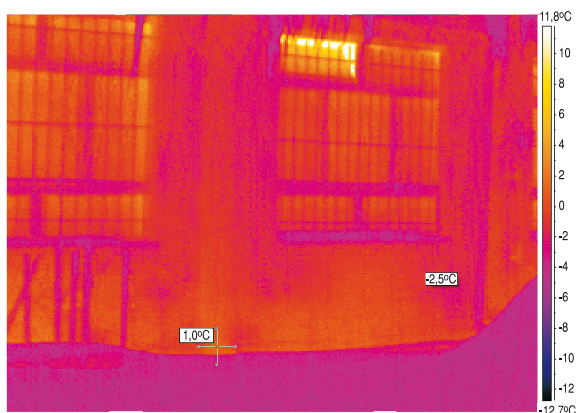
W przypadku przeprowadzania klasyfikacji dla ściany 2 i wstępnej analizy wizualnej badanego obiektu, można stwierdzić, iż znaczna część pikseli została rozpoznana w sposób prawidłowy. Na powstałym obrazie zauważono niewielkie obszary wątpliwe (miejsca zaznaczone kolorem czerwonym na rysunku 4b), gdzie na ścianie widoczne są barwy zieleni. Spowodowane jest to obecnością rosnącej tuż przy budynku rośliny. Również poniżej widoczne są piksele barwy oznaczającej szybę. W rzeczywistości jest to cień rzucany przez wspomnianą roślinę. Jest to spowodowane faktem, że piksele te mają podobną charakterystykę spektralną jak szyba.

3.2. Weryfikacja wyników

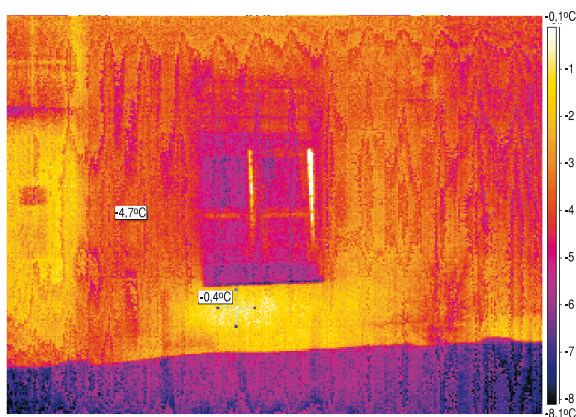
Dla sprawdzenia obecności wilgoci w badanych obiektach wykonano serię pomiarów dodatkowych wykonanych kamerą termowizyjną oraz przy użyciu wilgotnościomierza cyfrowego. Wszystkie badania dodatkowe zostały wykonane w godzinach porannych w ciepły sierpniowy dzień.

3.2.1. Pomiar termowizyjny

Pozyskano termoobrazy dla badanych ścian (rys. 5a i 5b). Dla ściany 1 temperatura radiacyjna elewacji zawiera się w przedziale od $-2,5^{\circ}\text{C}$ do $1,0^{\circ}\text{C}$, zaś dla ściany 2 w przedziale od $-0,4^{\circ}\text{C}$ do $-4,7^{\circ}\text{C}$. Analizę różnic temperaturowych wykonano przy użyciu oprogramowania ThermaCAM Quick View 1.3.



Rys. 5a. Otrzymany termoobraz dla ściany nr 1 wraz z zarejestrowanymi temperaturami

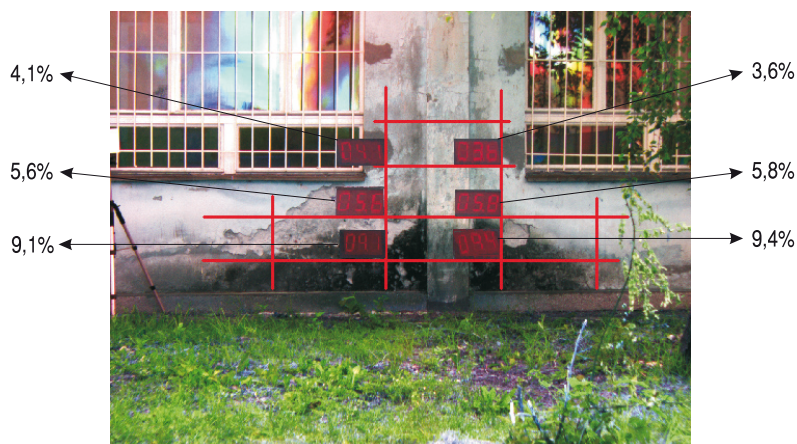


Rys. 5b. Otrzymany termoobraz dla ściany nr 2 wraz z zarejestrowanymi temperaturami

Jak widać na termogramach, obszary bardziej wilgotne są cieplejsze w przeciwieństwie do obszarów mniej wilgotnych, które osiągają niższą temperaturę. Dzięki wykonanemu pomiarowi istnieje możliwość wykazania jedynie miejsca, gdzie występują wady związane z izolacją budynku. Nie można na tej podstawie jednoznacznie wskazać czynnika, który doprowadził do takiej sytuacji.

3.2.2. Pomiar cyfrowym miernikiem wilgoci dielektrycznym PMW-3

W celu sprawdzenia poprawności pomiarów hiperspektralnych został wykonany pomiar wilgotnościomierzem cyfrowym PMW-3. Miernik przeznaczony jest do pomiarów murów ceglanych, zaprawy wapiennej i wapienno-cementowej. Pomiar polegał na zebraniu odczytów równomiernie rozmieszczonych miejsc na badanym obiekcie. Istotnym zamiarem wykonanego pomiaru było zbadanie na budynku również tych miejsc, które wykorzystano do analizy hiperspektralnej. Uzyskane wyniki z odczytów zawierają się w przedziale od 9,4% na wysokości 0,5 m nad powierzchnią gruntu do 3,8% na wysokości 1,7 m nad powierzchnią gruntu. Na rysunku 6 przedstawiono miejsca, w których został wykonany pomiar, tym samym stwierdzając poprawność metody hiperspektralnej w badaniu obecności wilgoci.



Rys. 6. Rozmieszczenie punktów, w których został wykonany pomiar miernikiem cyfrowym. Uzyskane wyniki przedstawiają zawartość procentową wilgoci w masie 100 gramów

4. Wnioski

Przy użyciu techniki hiperspektralnej istnieje możliwość pomiaru stanu zawilgocenia elewacji budynków. Proponowana technologia nie należy do metod inwazyjnych — pomiar może być wykonany bez konieczności bezpośredniego kontaktu

z badanym obiektem z pewnej odległości od obiektu trudnodostępnego. Technika hiperspektralna umożliwia również pozyskiwanie danych jednocześnie z dużego obszaru. Badania można wykonać punktowo na podstawie analizy spektralnych charakterystyk odbiciowych, jak również powierzchniowo przy wykorzystaniu metod klasyfikacji nadzorowanej.

Artykuł wpłynął do redakcji 5.07.2011 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w listopadzie 2011 r.

LITERATURA

- [1] J.B. ADAMS, A. R. GILLESPIE, *Remote Sensing of Landscapes with Spectral Images*, A Physical Modeling Approach, Cambridge University Press, 2006.
- [2] R.C. GONZALEZ, R.E. WOODS, *Digital Image Processing*, Second Edition, Prentice-Hall, 2002.
- [3] J. HOŁA, Z. MATKOWSKI, *Wybrane problemy dotyczące zabezpieczeń przeciwwilgociowych ścian w istniejących obiektach murowanych*, materiały konferencyjne XXIV Konferencji Naukowo-Technicznej „Awary Budowlane”, 26-29 maja 2009.
- [4] M. CAMAITI, M. BENVENUTI, L. CHIARANTINI, P. COSTAGLIOLA, S. MORETTI, F. PABA, E. PECCHIONI, S. VETTORI, *Hyperspectral sensors and the conservation of monumental buildings*, Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly, 12, 2010.

P. WALCZYKOWSKI, R. DĄBROWSKI, A. ORYCH

Initial detection of the condition of building facades using hyperspectral imagery

Abstract. There are a great number of factors and processes which can have a negative effect on the facades of buildings. Such damaging processes include weathering, corrosion, salt blooming and biological changes like moss, lichen, moulds and moisture. Most techniques used nowadays to detect these changes either require us to be in close proximity to the analyzed surface or can themselves have damaging effects on the structure (i.e. when drilling or other forms of extraction of material are needed). The research team at the Department of Remote Sensing and Photogrammetry at the Military University of Technology has developed a system which enables the acquisition of hyperspectral images in the 420-1100 nm range. The system is composed mainly of a monochromatic camera and two optoelectronically tunable filters — one in the visible range of the electromagnetic spectrum (VIS 420-720 nm) and the other in the close infrared region (NIR 650-1100 nm). The hyperspectral imaging system is ideal for the detection of the above mentioned changes occurring on buildings. A sequence of images in the 420-1100 nm range with a 10 nm bandwidth and 10 nm step is acquired. Registered images, especially those in the infrared range, can be very useful for detecting of areas of excess moisture on the building surface. The measurement of moisture content has a particular importance, as most aforementioned damages are caused by, higher than average, levels of moisture. Having acquired a hyperspectral image sequence, it is possible to conduct a simple supervised image classification, which will highlight areas of higher moisture content. These areas can then be more closely monitored and analyzed to determine the nature and extent of the damages caused by moisture. As a result, an image representing areas of heightened moisture content on the surface of the buildings facade is created. The proposed hyperspectral technique is noninvasive and allows for the analysis of the entire facade surface at once. It is also possible to acquire a spectral response curve for any chosen point or area on the acquired hyperspectral images.

Keywords: remote sensing, hyperspectral techniques, building facades, spectral response curves