

Zastosowanie technik teledetekcyjnych do inwentaryzacji cementowo-azbestowych pokryć dachowych

Use of remote sensing techniques to inventory cementary-asbestos roofs

Katarzyna OSIŃSKA-SKOTAK

Politechnika Warszawska
Wydział Geodezji i Kartografii
Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji
i Systemów Informacji Przestrzennej
Pl. Politechniki 1 pok. 428, 00-661 Warszawa
k.osinska-skotaki@gik.pw.edu.pl

Abstract

The study presents the Geographic Information System created to analyse spatial distribution of wind-induced damages in forest stands of the Tuchola Forest, northern Poland, and in the vicinity of Toruń. It was used in several forest complexes mainly on the territory of the following Forest Districts in the Tuchola Forest: Woźniowa, Przymuszewo and Czersk, as well as in the Bory Tucholskie National Park. The following Forest Districts were analyzed in the vicinity of Toruń: Gniewkowo, Golub-Dobrzyń, Dobrzejewice and Toruń. The damages in Tuchola Forest were caused mainly by hurricanes in 26th of December 1999 and 22nd of June 2000. The dates of hurricanes caused the largest damages in the vicinity of Toruń were 17th of July 2001 and 28th of October 2002.

Key words: windthrows, timber harvesting, secondary forest, landscape, spatial pattern, remote sensing, GIS, GPS, database, digital elevation model, forest edge.

Słowa kluczowe: wiatrolomy, pozyskiwanie drewna, lasy wtórne, krajobraz, wzorec przestrzenny, teledetekcja, GIS, GPS, baza danych, numeryczny model terenu, brzeg lasu.

Wprowadzenie

Azbest jest znany od kilku tysięcy lat. Jego unikalne właściwości zauważono już dawno – najstarsze dane kopalne świadczące o wykorzystaniu azbestu przez człowieka pochodzą sprzed 4500 lat z terenów współczesnej Finlandii, gdzie mieszanina gliny i włókien azbestowych służyła do wyrobu garnków¹.

Azbest to grupa minerałów krzemianowych o strukturze włóknistej. Ich cechami charakterystycznymi cechami są wysoka wytrzymałość mechaniczna, elastyczność, miękkość, sprężystość, możliwość przedzenia, lekkość, odporność na działanie czynników chemicznych i biologicznych, niskie przewodnictwo cieplne i elektryczne, mrozoodporność, a przede wszystkim duża odporność na działanie wysokich temperatur i niepalność. Dopiero w temperaturze 700°C azbest bezpowrotnie traci swoje

właściwości i zaczyna się kruszyć². W produkcji stosowano przede wszystkim chryzotyl (ok. 95%) (Dobrzecka, 2008).

Azbest w Polsce na szeroką skalę był stosowany w latach 70-tych ubiegłego wieku, kiedy wykorzystywano go masowo zarówno do pokrycia dachów budynków mieszkalnych, jak i budynków gospodarczych. Ponadto stosowano go m.in. jako materiał na elewacje, ściany wiat, rury, ochronne wyroby tekstylne, koce gaśnice. Produkcja płyt azbestowo-cementowych w Polsce rozpoczęła się w 1907 roku w Krakowie, w 1910 roku został uruchomiony w Lublinie zakład „Eternit” (od tej nazwy przyjęto u nas określenie płyt azbestowo-cementowych, zwanych do dzisiaj eternitem), zaś w 1920 roku w Ogrodzieńcu.³ W latach 70-tych działało blisko 30 zakładów produku-

¹ Skorupski J., 16.06.2013, Azbest czy eternit, <http://beza-zbestu.com.pl/baza-wiedzy/azbest-czy-eternit/>

² Skorupski J., 16.06.2013, Azbest czy eternit, <http://beza-zbestu.com.pl/baza-wiedzy/azbest-czy-eternit/>

³ <http://www.giph.com.pl/giph/index.php/wydawnictwa/archiwum-materialy/24-azbest-wrog-smiertelny>

jących wyroby zawierające azbest. Obecnie najwięcej azbestu znajduje się w województwach mazowieckim i lubelskim⁴, gdzie funkcjonowało kilka zakładów produkujących wyroby azbestowe (m.in. Fabryka Okładzin Ciernych „POLMO” w Markach, Pruszkowskie Zakłady Materiałów Izolacyjnych, Zakład Wyrobów Azbestowo-Cementowych w Małkini, Lubelskie Zakłady Eternitu w Lublinie, Zakład Produkcji Płytek Cementowo-Azbestowych w Końskowoli k. Puław).

W dniu 19 czerwca 1997 r. Sejm Rzeczypospolitej Polskiej przyjął Rezolucję w sprawie programu wycofywania azbestu z gospodarki (M.P. nr 38, poz. 373). Od 28 marca 1999 r. w Polsce obowiązuje całkowity zakaz obrotu azbestem i wyrobami go zawierającymi (Dyczek, 2007; Ministerstwo Gospodarki, 2008). Do realizacji postanowień Rezolucji został opracowany „Program usuwania azbestu i wyrobów zawierających azbest stosowanych na terytorium Polski”, który został przyjęty przez Radę Ministrów Rzeczypospolitej Polskiej 14 maja 2002 r. Jego kontynuacją jest „Program Oczyszczania Kraju z Azbestu na lata 2009-2032”, który Rada Ministrów przyjęła 14 lipca 2009 r. Określa one nowe zadania niezbędne do oczyszczenia kraju z azbestu, wynikające ze zmian gospodarczych i społecznych, jakie nastąpiły m.in. w związku ze wstąpieniem Polski do Unii Europejskiej. W krajach Unii Europejskiej zakaz wydobywania azbestu oraz produkcji i przetwarzania wyrobów zawierających azbest wprowadziła Dyrektywa 2003/18/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 marca 2003 r., zaś generalny zakaz obrotu i stosowania azbestu wprowadzony został 1 stycznia 2005 r. (Dyrektywa 1999/77/WE) (Skorupski, 2013).

Mimo faktu stosowania azbestu od kilku tysięcy lat, jego szkodliwość stwierdzono dopiero w I połowie XX wieku. Azbest jest substancją chorobotwórczą i kancerogenną, ale nie wynika to z jego właściwości chemicznych – problem stanowią włókna azbestowe uwalniające się w chwili degradacji wyrobów azbestowych, które z racji swych wymiarów mogą wnikać głęboko do układu oddechowego i nie są stamtąd usuwane w wyniku działania naturalnych mechanizmów oczyszczających (Dyczek, 2007). Dopóki włókna nie są uwalniane do powietrza (i wdychane), wyroby wykonane z azbestu nie stanowią zagrożenia dla zdrowia ludzi (Pyssa i Rokita, 2007). Aktualnie największym problemem jest zanieczyszczenie powietrza spowodowane stosowaniem wyrobów azbestowych i emisji włókien na skutek korozji płyt azbestowo-cementowych, wydatnie przyspieszanej przez „kwaśne deszcze” i inne chemiczne zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego (Szeszenia-Dąbrowska i Sobala, 2010). W obiegowej opinii zagrożenie ze strony azbestu jest często bagatelizowane, co wynika głównie z długotrwałego i utajonego rozwoju chorób (m.in. pylicy azbestowej, raka płuc, międzybłoniaka opłucnej). Pierwsze objawy choroby mogą się pojawić po kilkunastu, a nawet czterdziestu latach od pierwszego kontaktu z pyłem azbestowym (Szeszenia-Dąbrowska i Sobala,

2010). Biorąc pod uwagę okres funkcjonowania zakładów azbestowych w Polsce (w 1998 r. zamknięto ostatni zakład) można przypuszczać, że największa zapadalność na choroby wywołane azbestem będzie przypadać na I połowę XXI w. W Polsce w latach 1970-2009 ogółem odnotowano⁵ 2740 przypadków azbestozy oraz 508 raka płuc, natomiast w latach 1976-2009 stwierdzono 248 przypadków międzybłoniaka opłucnej (Szeszenia-Dąbrowska i Sobala, 2010). Tendencja zachorowalności jest wzrostowa. W latach 2000-2009 uznano 2088 przypadków chorób zawodowych wywołanych pyłem azbestowym (Szeszenia-Dąbrowska i Sobala, 2010). Ponadto stwierdzono, iż wśród osób narażonych na ekspozycję azbestu w środowisku (np. mieszkańcy gmin, w których działały zakłady azbestowe) występuje wysoka zapadalność na nowotwory. W latach 1987-2009 wśród mieszkańców gminy Szczucin odnotowano 92 przypadki międzybłoniaka opłucnej, z czego 41 zachorowań stwierdzono u osób, które nigdy nie pracowały w wytwórni materiałów azbestowo-cementowych. Zagrożenie dla zdrowia człowieka pojawia się tylko w przypadku uszkodzenia wyrobów z azbestu, czyli np. podczas zdejmowania pokryć dachowych. Dlatego usuwanie pokryć dachowych z płyt azbestowo-cementowych powinno zostać przeprowadzone przez wyspecjalizowaną ekipę, przeszkoloną w zakresie zachowania bezpieczeństwa pracy i dysponującą odpowiednią ochroną osobistą. Podwyższone stężenia włókien azbestowych utrzymują się do 3 miesięcy (do 30 m od budynku) po demontażu pokrycia dachowego (Dobrzeczka, 2008). Obecne przepisy wymagają, aby usuwaniem i unieszkodliwianiem zajmowały się wyspecjalizowane firmy, a za organizację systemu odbioru i składowania wyrobów, zawierających azbest odpowiadają władze gminne. Azbest nie jest substancją promieniotwórczą czy trującą, więc nie wymaga wysokospecjalistycznych składowisk odpadów, szkodliwy jest jednak pył azbestowy, stąd warstwa zdeponowanych odpadów powinna być zabezpieczona przed uszkodzeniem opakowań przez przykrycie folią lub warstwą gruntu o grubości 5 cm (Tarach, 2007).

Zgodnie z założeniami „Programu Oczyszczania Kraju z Azbestu na lata 2009-2032” do końca 2032 r. można użytkować wyroby zawierające azbest. Oznacza to, że do końca 2032 r. azbestowo-cementowe pokrycia dachowe powinny być wymienione na wszystkich dachach w kraju. Szacuje się, że na terenie kraju w 2008 r. znajdowało się ok. 14,5 mln ton wyrobów zawierających azbest („Program Oczyszczania Kraju z Azbestu na lata 2009-2032”). W latach 2003-2008 usunięto ok. 1 mln ton. Według Bazy Azbestowej⁶ do tej pory (stan na 10.09.2013) w 70% gmin w Polsce zinwentaryzowano 3,53 mln ton wyrobów z azbestu, z czego 120 tys. ton zostało już unieszkodliwione. W odniesieniu do pokryć dachowych inwentaryzacja wykazała występowanie łącznie 3,34 mln ton płyt azbestowo-cementowych. Zinwentaryzowano 337,5 tys. ton płyt azbestowo-cementowych płaskich oraz 3 mln

⁴ <http://www.bazaazbestowa.gov.pl/>

⁵ jako chorób zawodowych

⁶ <http://www.bazaazbestowa.gov.pl/>

ton płyt azbestowo-cementowych falistych, z czego do tej pory unieszkodliwiono 22,2 tys. ton płyt płaskich i 93,4 tys. ton płyt falistych, czyli łącznie blisko 116 tys. ton. Porównując wielkość dotychczas zinwentaryzowanych wyrobów azbestowych oraz szacowaną wielkość wyrobów znajdujących się na terenie Polski zauważa się ogromną różnicę. Wynika z tego, że do tej pory zinwentaryzowano jedynie 20% wyrobów azbestowych, jakie potencjalnie znajdują się na obszarze naszego kraju. Pokazuje to niską skuteczność dotychczasowej inwentaryzacji.

Zgodnie z zapisami „Programu Oczyszczania Kraju z Azbestu na lata 2009-2032” samorząd gminny przygotowuje i aktualizuje plan usuwania azbestu i wyrobów zawierających azbest, który zawiera m.in. inwentaryzację wyrobów azbestowych na terenie gminy. Do 2015 r. powinien zostać zakończony okres planowania działań w zakresie usuwania wyrobów azbestowych. Według stanu na koniec 2010 roku (raport z maja 2011 r.) 82% gmin miało już wykonaną inwentaryzację wyrobów azbestowych, a 56% opracowało program usuwania azbestu. Inwentaryzacja terenowa jest procesem czasochłonnym i dlatego coraz częściej przy inwentaryzacji azbestowych pokryć dachowych wykorzystywane są m.in. ortofotomapy lotnicze. Inne materiały fotogrametryczne czy teledetekcyjne (np. wysokorozdzielcze obrazy satelitarne, lotnicze obrazy hiperspektralne) nie są stosowane, prawdopodobnie z uwagi na mniejszą ich dostępność oraz wysokie koszty pozyskania.

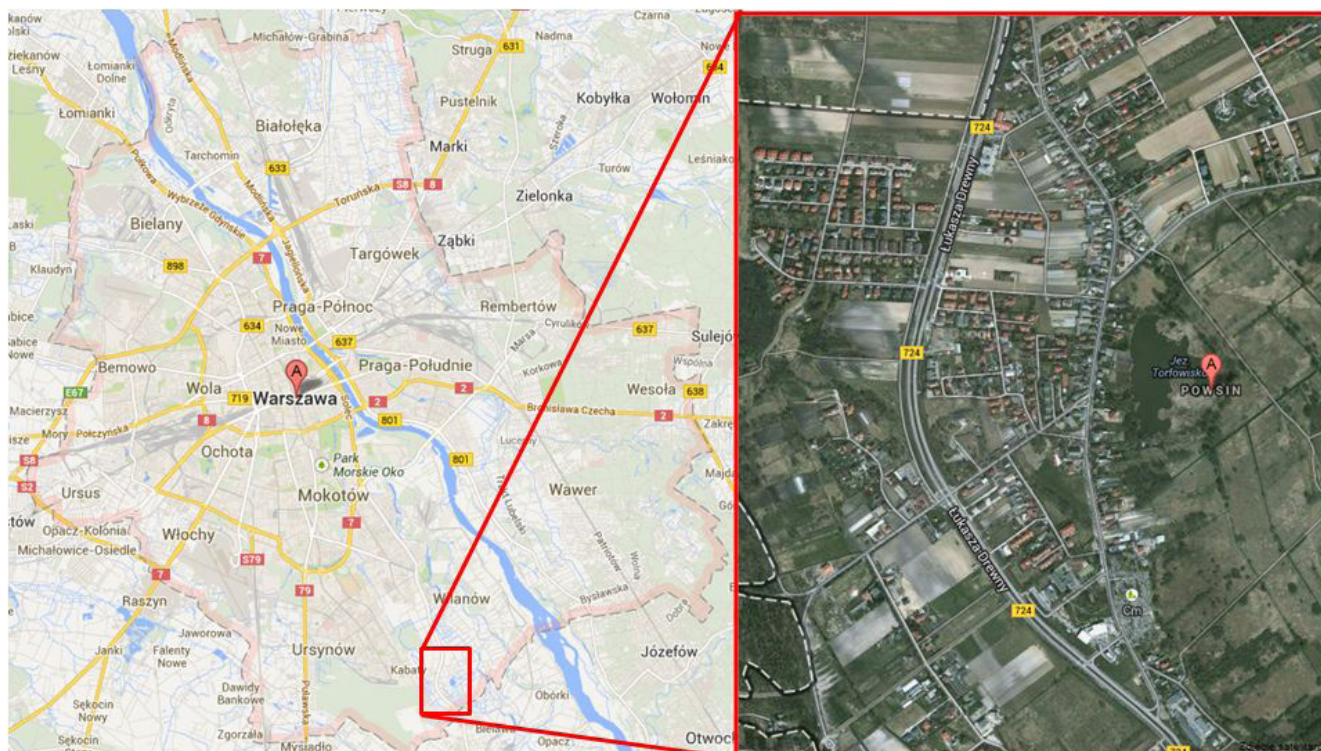
W literaturze światowej spotyka się nieliczne próby zastosowania danych teledetekcyjnych (lotniczych

lub satelitarnych) do wykrywania azbestu. Badania prowadzone przez Bassani i in. (2007) wykazały, że przy zastosowaniu obrazów hiperspektralnych dachy azbestowo-cementowe mogą być wykryte w 80-90%. Autorzy wykorzystywali obrazy zarejestrowane w 102 zakresach spektralnych z pułapu lotniczego przez skaner MIVIS. Skaner rejestrował promieniowanie w zakresie widzialnym (0,43-0,83 μm), bliskiej podczerwieni (1,15-1,55 μm), średniej podczerwieni (1,98-2,47 μm) i podczerwieni długofalowej (814 μm). Poza tym Bassani i in. (2007) przeprowadzili szczegółowe analizy spektrometryczne minerałów azbestowych, w wyniku czego stwierdzili, że chryzotyl – jako jedyny – jest dobrze wykrywalny w zakresie fal o długości 2,327 μm , a to ten minerał stosowano najczęściej w produkcji. Drugim zakresem spektralnym interesującym z punktu widzenia wykrywania azbestu jest promieniowanie o długości fali 9,44 μm .

W niektórych publikacjach z zakresu inwentaryzacji i monitorowania miast (Fonseca i in., 2011), rozwoju i szacowania populacji w miastach (Almeida i in. 2007), badania klimatu miast (Atturo i Fiumi, 2005) można również znaleźć informacje o dokładności klasyfikacji azbestowo-cementowych pokryć dachowych czy ich właściwościach, ale samo ich wykrywanie nie było celem tych badań.

Metodyka prac badawczych

Obszar opracowania. Teren, podlegający opracowaniu jest położony południowej części m.st. Warszawa,



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru opracowania (maps.google.pl).

Fig. 1. Location of the study area (maps.google.pl).

w dzielnicy Wilanów. Obejmuje osiedle Powsin⁷, wywodzącego się z dawnej wsi parafialnej Powsino. Historia tego terenu sięga XII-XIII w. – pierwsze wzmianki o Powsinie pojawiły w 1258 r., jako osadzie stanowiącej własność Boguszy z rodu Doliwów, wojewody łęczyckiego, który to majątek zapisał katedrze wrocławskiej⁸. Od roku 1951 Powsin jest włączony w granice administracyjne m.st. Warszawa⁹.

Osiedle Powsin zachowało wiele ze swojego dawnego charakteru, m.in. dobrze zachowany układ ulic, skupiony w rejonie ul. Przyczółkowej i Rosochatej, widoczny również na mapach archiwalnych. Przeważającą zabudowę Powsina stanowi obecnie zabudowa jednorodzinna w zabudowie wolnostojącej, zabudowie bliźniaczej oraz w formie tzw. segmentów. Wzdłuż ul. Przyczółkowej i Rosochatej występuje charakterystyczna dla tego obszaru Warszawy zabudowa zagrodowa, domy mieszkalne wraz z budynkami gospodarczymi. W ostatnich latach powstało także wiele nowych osiedli domów jednorodzinnych. Poza zabudową jednorodziną w Powsinie znajdują się: kompleks szkolny z nowoczesnymi boiskami, kościół św. Elżbiety Turyńskiej, Centrum Automatycznego Nadzoru nad Ruchem Drogowym Głównego Inspektoratu Transportu Drogowego oraz siedziby kilku firm.

Na omawianym obszarze występuje kilka rodzajów pokryć dachowych: dachówka ceramiczna, dachówka cementowa, dachówka bitumiczna, blachodachówka, blacha płaska, blacha falista, papa, gont (bitumiczny i drewniany) i eternit w postaci azbestowo-cementowych płyt płaskich i falistych. Eternit i papa dominują na budynkach gospodarczych i starszych domach, blachodachówka na budynkach po remontach, zaś dachówka ceramiczna to w większości pokrycie dachowe nowych budynków jednorodzinnych (Ryc. 2).

Dane źródłowe. Do przeprowadzenia analizy możliwości wykorzystania obrazów satelitarnych do inwentaryzacji azbestowo-cementowych pokryć dachowych wykorzystano obraz satelitarny WorldView-2, który został zarejestrowany w dniu 4 sierpnia 2011 roku. Swoim zasięgiem obejmuje on obszar południowej Warszawy. WorldView-2 to jedyny system satelitarny o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej umożliwiający rejestrację obrazów w aż ośmiu zakresach promieniowania elektromagnetycznego. Pozyskuje on obrazy w dwóch trybach: panchromatycznym (PAN) i wielospektralnym (MS) z pikselem wielkości odpowiednio 0,46×0,46 m i 1,84×1,84 m. W trybie panchromatycznym jest rejestrowany zakres fal o długości 0,450-0,800 μm, zaś w trybie wielospektralnym fale o długości: 0,400-0,450 μm, 0,450-0,510 μm, 0,510-0,580 μm, 0,585-0,625 μm, 0,630-0,690 μm, 0,705-0,745 μm, 0,770-0,895 μm, 0,860-1,040 μm. Niestety nie rejestruje on obrazów w zakresie średniej podczerwieni, który – według Bassani i in. (2007) – jest najkorzystniejszym zakresem do wykrywania

azbestu chryzotylowego, ale jest to jedyny satelita wysokorozdzielczy rejestrujący tak dużą liczbę zakresów promieniowania.

Jako dane referencyjne wykorzystano dane z bazy danych pokryć dachowych (Ryc. 2) wykonanej na podstawie interpretacji wizualnej ortofotomapy lotniczej, udostępnionej przez MGGP Areo (o rozdzielczości przestrzennej 0,25×0,25 m), oraz zweryfikowanej w trakcie wywiadu terenowego. Część geometryczna bazy danych powstała w wyniku wektoryzacji przyziemi budynków na podstawie ortofotomapy lotniczej, natomiast typ pokrycia dachowego określono w czasie wizji terenowej. W bazie danych pokryć dachowych osiedla Powsin znajduje się 636 budynków (głównie mieszkalnych i gospodarczych), z czego 547 zostało zweryfikowanych w terenie i to te budynki stanowiły przedmiot opracowania.

Opis eksperymentów. Eksperymenty, jakie przeprowadzono w celu określenia przydatności różnych metod przetwarzania cyfrowego do inwentaryzacji azbestowo-cementowych pokryć dachowych obejmowały: klasyfikację nienadzorowaną i nadzorowaną, wykonaną przy różnych założeniach i ustawieniach wstępnych. Klasyfikacji poddano ośmiokanałowy obraz wielospektralny (MS) o rozdzielczości przestrzennej 2×2 m. Przy tej rozdzielczości mniejszy wpływ na obraz pokrycia dachowego miała tekstura materiałów, z jakich wykonane zostały pokrycia, np. nie uwidaczniało się „prążkowanie” na dachach pokrytych blachą falistą czy azbestowo-cementowymi płytami falistymi. W celu ograniczenia wpływu zmiennego oświetlenia poszczególnych dachów przetestowano wykorzystanie obrazu wskaźnikowego, który powstał w wyniku dzielenia obrazu wielospektralnego przez zakres niebieski (MS1).

Klasyfikacji poddano: oryginalny obraz wielospektralny, obraz wskaźnikowy oraz obraz wielospektralny poddany analizie składowych głównych (analizowano 4 pierwsze składowe, które zawierały 95% informacji obrazu wielospektralnego). Procedurę klasyfikacji przeprowadzono tylko dla obszaru zainteresowania, czyli tylko i wyłącznie dla dachów budynków, znajdujących się na analizowanym obszarze. Obraz dachów został wycięty za pomocą wektorowej bazy danych pokryć dachowych.

Klasyfikację nadzorowaną wykonano metodą największego prawdopodobieństwa. Dla każdego wariantu przygotowano zestaw pól treningowych reprezentujących wszystkie typy pokryć dachowych występujących na obszarze opracowania z dodatkowym. W bazie danych pokryć dachowych wyróżniono typy pokryć dachowych według nomenklatury stosowanej przez specjalistów z branży dekarzkiej, bez uwzględnienia kolorystyki dachówki ceramicznej, blachodachówki i blachy. Ponieważ jednak kolor pokrycia dachowego wpływa również na rejestrowane odbicie spektralne pól treningowych zdefiniowano więcej i były one związane z typem i barwą pokrycia dachowego występującego na obszarze opracowania. Były to: blacha (blacha jasna, blacha miedziana oraz blacha malowana), blachodachówka (czerwona i brązowa), dachówka bitumiczna, dachówka cementowa, dachówka ceramiczna, eternit, gont bitumiczny,

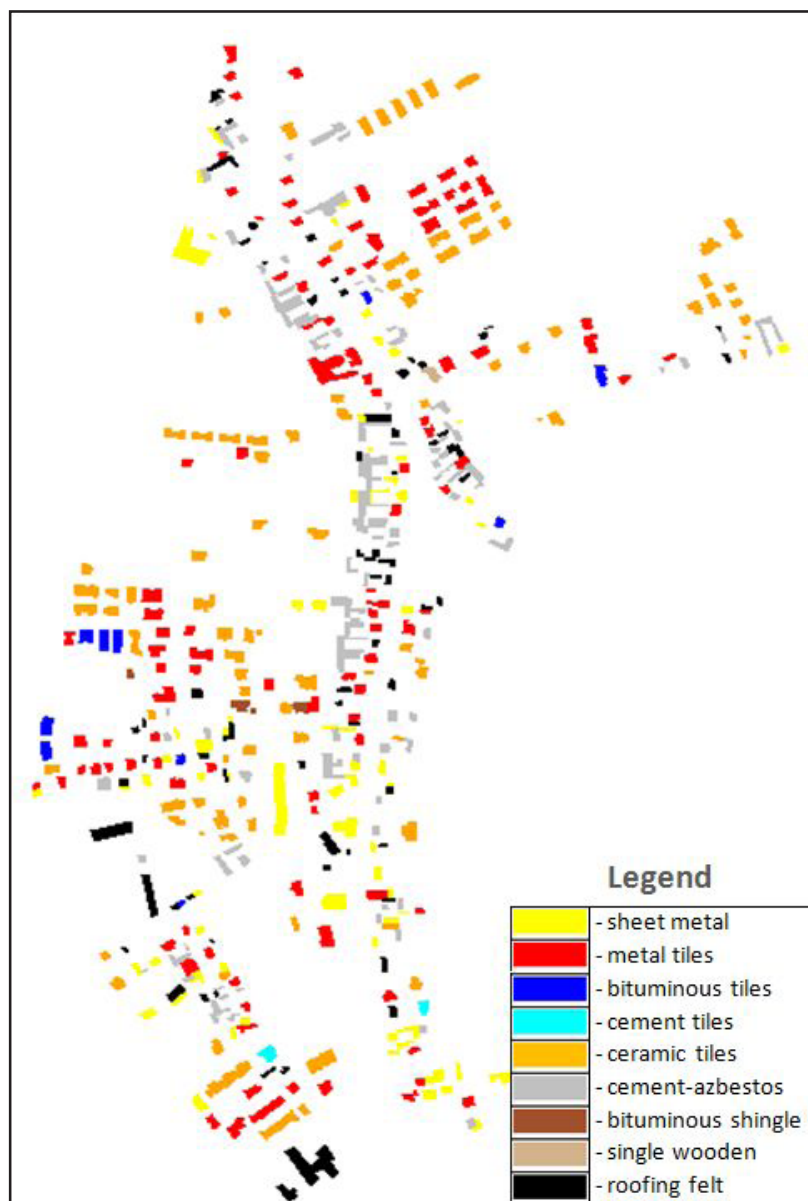
⁷ Jest to obszar dawnej wsi Powsin. Obecnie w Miejskim Systemie Informacji w Warszawie Powsin obejmuje również tereny osiedli Lisy, Latoszki, Kępa Latoszkowa i Zamość.

⁸ http://parafia-powsin.pl/historia_parafii

⁹ <http://pl.wikipedia.org/wiki/Powsin>

Ryc. 2. Wizualizacja bazy danych pokryć dachowych dla obszaru opracowania według atrybutu *typ pokrycia*.

Fig. 2. Visualization of the roof coverings database for the study area.



gont drewniany oraz papa. Liczebność każdego z pól treningowych wynosiła co najmniej 120 pikseli, charakteryzowały się rozkładem normalnym, a ocena rozłączności wykazała ich wysoką rozłączność (wartości testu dywergencji transformowanej wynosiły powyżej 1800, jedynie w przypadku par blacha malowana i blacho dachówka brązowa oraz dachówka bitumiczna i eternit zanotowano niższe wartości testu). Ocena dokładności została przeprowadzona dla wyników zagregowanych do klas pokryć dachowych zawartych w bazie danych pokryć dachowych.

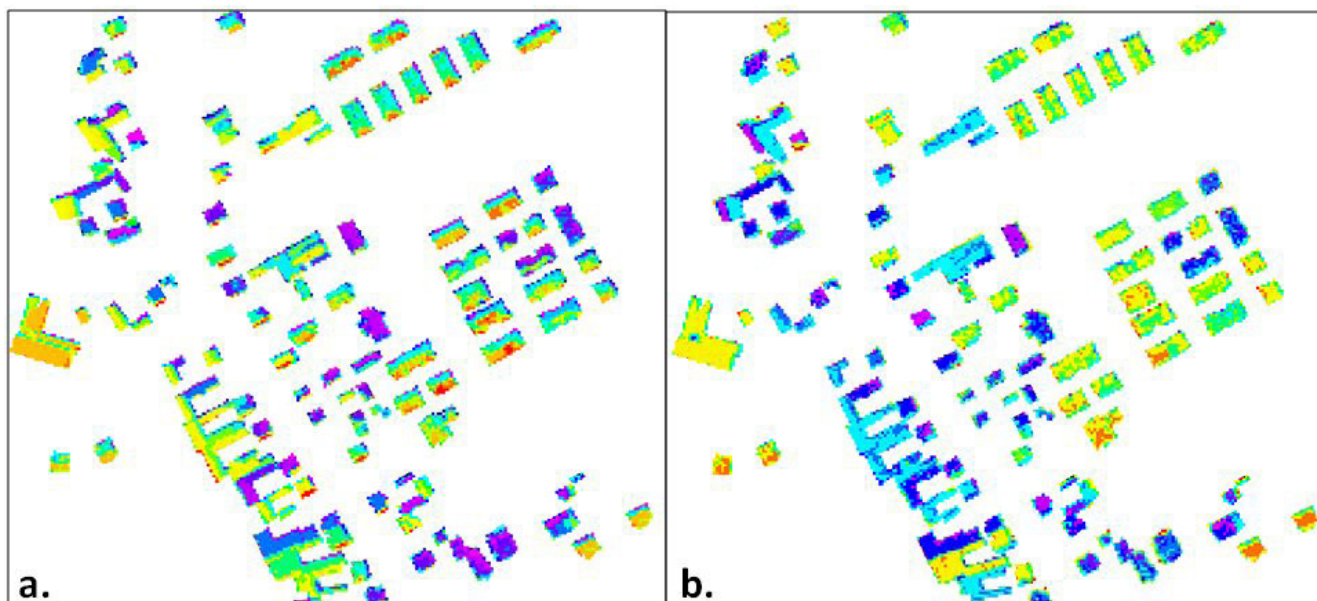
Wszystkie operacje zostały wykonane w oprogramowaniu ERDAS Imagine 2011.

Analiza wyników

Wyniki klasyfikacji nienadzorowanej pokazują wyraźnie jak istotny jest wpływ różnego oświetlenia dachów (Ryc. 3). W obrębie jednego dachu może wystą-

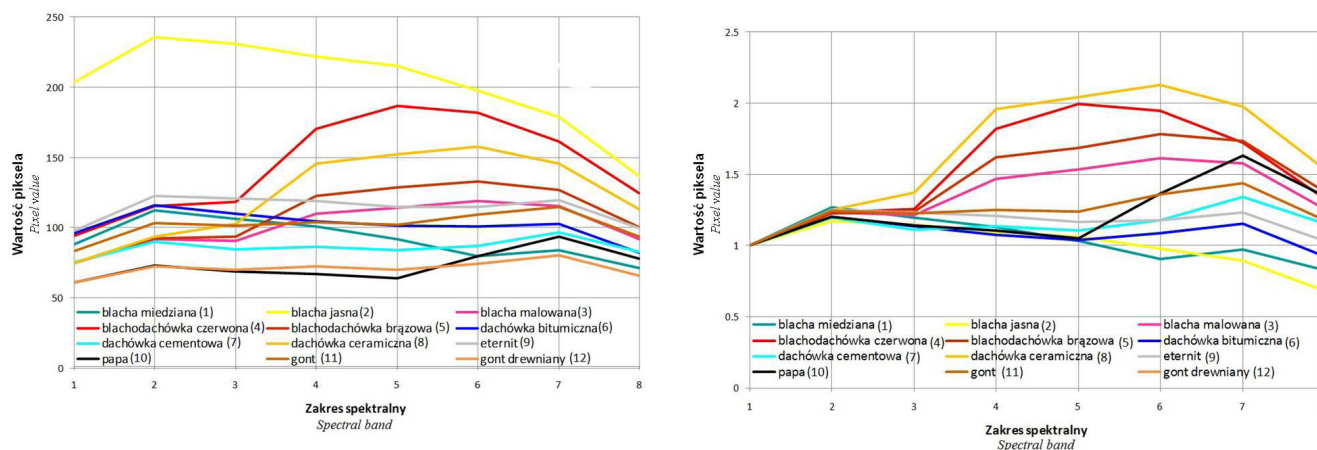
pić kilka klastrów, reprezentujących to samo pokrycie dachowe, ale inaczej oświetlone. Widać zróżnicowanie w zależności od ukształtowania dachu i usytuowania budynku. Im bardziej zróżnicowany jest kształt dachu, tym więcej klastrów zostało wyróżnionych w wyniku klasyfikacji nienadzorowanej.

Zastosowanie prostej operacji dzielenia obrazu wielospektralnego przez zakres niebieski (MS1), czyli obliczenie obrazu wskaźnikowego, spowodowało ograniczenie wpływu zmienności oświetlenia na wyniki klasyfikacji. W tym przypadku również występuje więcej niż jedna klasa na obszarze pojedynczego dachu, ale główny problem sprawiają piksele brzegowe, które stanowią tzw. miksele, czyli piksele, dla których odbicie promieniowania częściowo pochodzi od dachu, a częściowo od otoczenia. Piksele brzegowe powstałe po wycięciu obszaru zainteresowania (dachów) występują m.in. dlatego, że wykorzystany obraz satelitarne jest jedynie ortofotomapa, a nie *true*-ortofotomapa. Na ortofotomapie dach jest przesunięty w stosunku do przyziemia budynku,



Ryc.3. Wpływ zróżnicowania oświetlenia dachów na wyniki klasyfikacji nienadzorowanej ISODATA (20 klastrów) – porównanie wyników klasyfikacji nienadzorowanej obrazu wielospektralnego (a.) i obrazu wskaźnikowego MS/MS1 (b.).

Fig.3. The impact of lighting variation of roofs on unsupervised classification results (ISODATA, 20 clusters) – comparison of unsupervised classification of multispectral image (a.) and index image MS/MS1(b.).



Ryc.4. Wpływ zróżnicowania oświetlenia dachów – porównanie charakterystyk spektralnych wzorców klas uzyskanych dla obrazu wielospektralnego (a.) i obrazu wskaźnikowego MS/MS1 (b.).

Fig.4. The impact of lighting variation of roofs – comparison of spectral characteristics of class patterns obtained for multispectral image (a) and index image MS/MS1 (b) (1 – copper covering, 2 – metal sheet, 3 – metal sheet (red color), 4 – metal tiles (red color), 5 – metal tiles (brown color), 6 – bituminous tiles, 7 – cement tiles, 8 – ceramic tiles, 9 – cement-azbestos, 10 – bituminous shingle, 11 – single wooden, 12 – roofing felt).

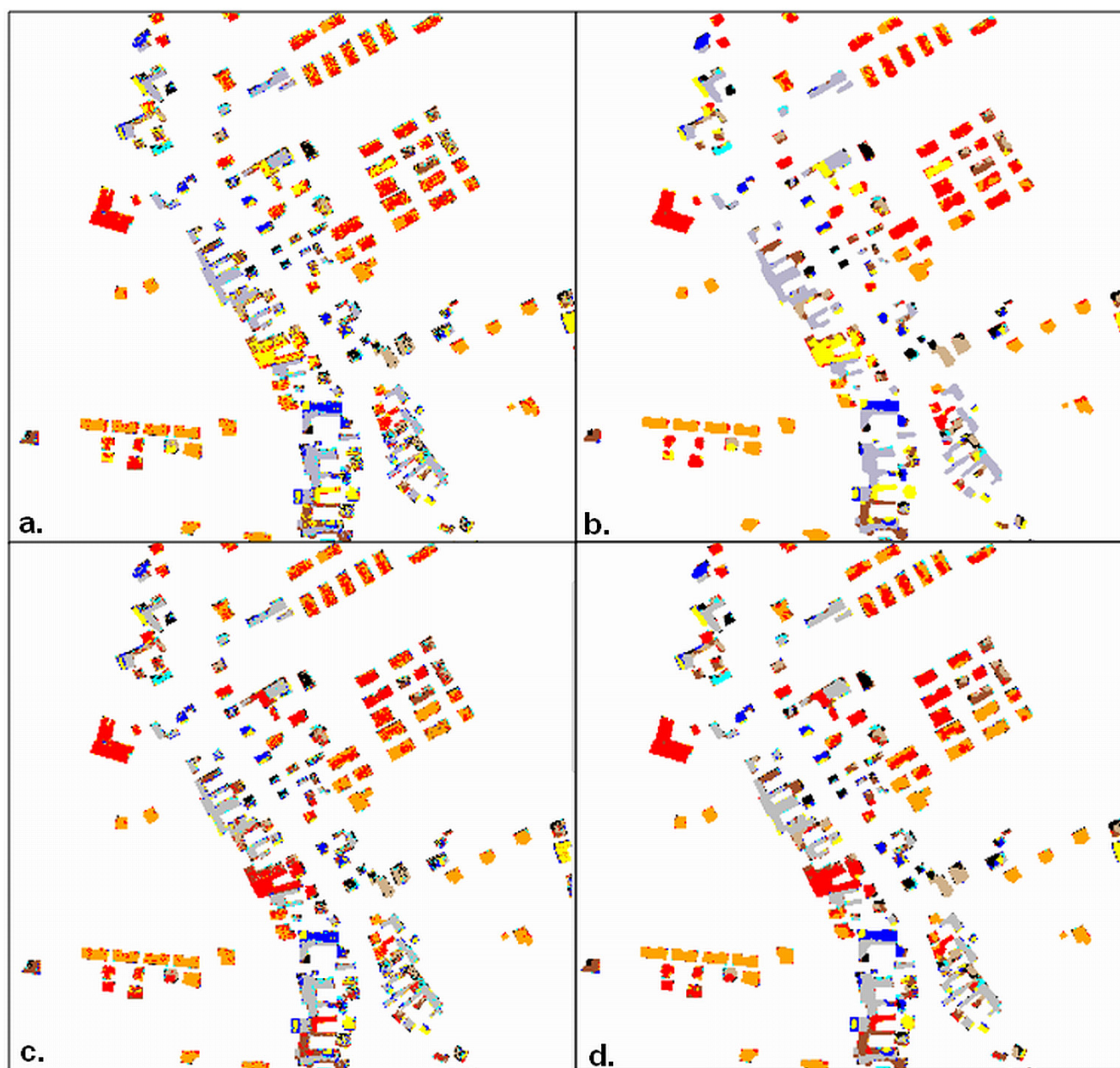
co skutkuje tym, że wycinając obszar zainteresowania po granicach przyziemia budynku nie zawsze pokrywa on sam obszar dachu i stąd na skraju dachu mamy do czynienia z mikselami i pikselami otoczenia budynku.

Wizualna analiza wyników klasyfikacji nienadzorowanej wykazała trudności z agregacją oraz nazwaniem poszczególnych klastrów i dlatego główną uwagę skupiono na klasyfikacji nadzorowanej. Rys. 4 przedstawia średnie wartości pikseli dla poszczególnych wzorców klas, wyróżnionych na etapie przygotowania pól treningowych, uzyskane na podstawie obrazu wielospektralnego (a.) oraz obrazu wskaźnikowego (b.).

Analizując wykres przedstawiony na ryc. 4 można zauważyć, że blacha ma najwyższe wartości pikseli

w każdym z zakresów spektralnych. Charakterystyki spektralne blachy malowanej, blachodachówki i dachówki ceramicznej mają zbliżony charakter, a różnią się jedynie wielkością odbicia spektralnego. Eternit i gont bitumiczny również mają podobny przebieg krzywych spektralnych. W przypadku obrazu wskaźnikowego zauważa się znaczną zmianę zależności między krzywą odbicia blachy jasnej i blachy miedzianej (zbliżenie przebiegu obu krzywych), w pozostałych przypadkach nadal widoczne jest zróżnicowanie.

Klasyfikacja nadzorowana obrazu wielospektralnego i obrazu wskaźnikowego dały podobne wyniki, mimo iż spodziewano się znacznej poprawy wyników klasyfikacji przy wykorzystaniu obrazu wskaźnikowego. Dla



Ryc. 5. Porównanie wyników klasyfikacji nadzorowanej obrazu wielospektralnego (a.), obrazu wielospektralnego poddanego filtracji filtrem *majority* 3×3 (b.), obrazu składowych głównych PCA (c.) oraz obrazu składowych głównych PCA po filtracji filtrem *majority* 3×3 (d.).

Fig. 5 The comparison of the supervised classification results of multispectral image (a), multispectral image after majority filtration 3×3 (b), the PCA image (c) and the PCA image after majority filtration 3×3 (d).

tęgo w kolejnym kroku wykonano analizę składowych głównych obrazu wielospektralnego i dla 4 pierwszych składowych przeprowadzono klasyfikację nadzorowaną. Uzyskane wyniki są zbliżone do wyników klasyfikacji nadzorowanej obrazu wielospektralnego, jeśli chodzi o klasyfikację dachów azbestowo-cementowych (Ryc. 5a i Ryc. 5c). Różnice widoczne są przede wszystkim w klasyfikacji blachy i blachodachówki oraz blachodachówki i dachówki ceramicznej.

Ponieważ w obrębie pojedynczego dachu występuje kilka klas, w tym klasy reprezentowane przez pojedyncze piksele, zastosowano filtrację wyników klasyfikacji przy wykorzystaniu filtra *majority* 3×3, która wybiera wartość najczęściej występującą w oknie filtra. Dzięki

temu uzyskano bardziej jednolite wyniki klasyfikacji w obszarze poszczególnych dachów i ograniczono wpływ pikseli brzegowych.

Ocena dokładności wyników klasyfikacji nadzorowanej została przeprowadzona przez porównanie z wektorową bazą danych pokryć dachowych. Wykonano ją dwójako: w podejściu pikselowym i podejściu obiektowym. Podejście obiektowe oznacza w tym przypadku to, że dokonano analizy klasy dominującej dla danego dachu i ta klasa została uznana za pokrycie dachowe danego budynku. W praktyce stosunkowo rzadko mamy do czynienia z mieszanym pokryciem dachowym, stąd takie podejście wydaje się właściwe, a dodatkowo całkowicie eliminuje ono problem występowania innych

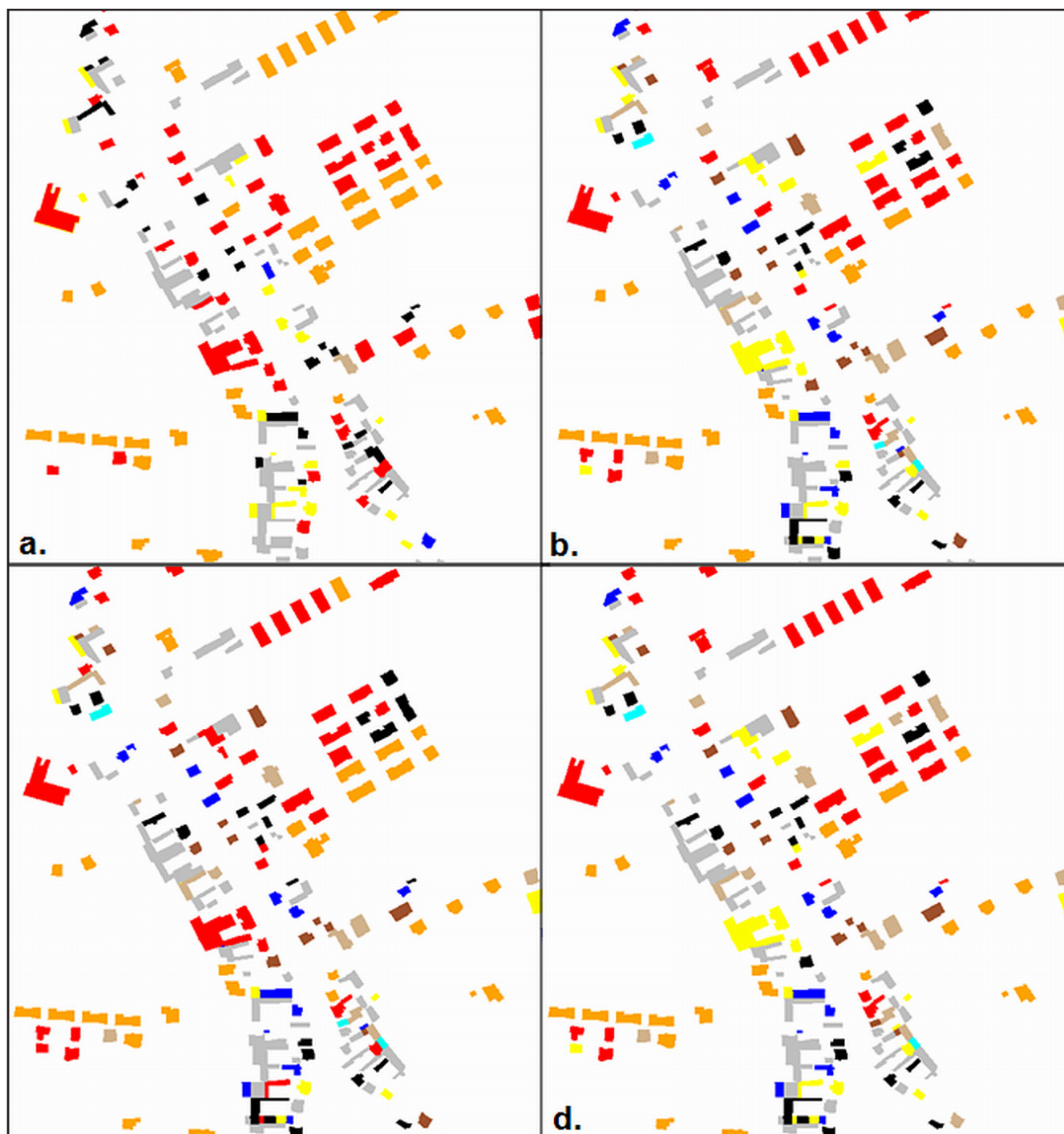


Fig. 6. Porównanie wyników klasyfikacji w podejściu obiektowym obrazu wielospektralnego (b.), obrazu wielospektralnego poddanego analizie składowych głównych PCA (c.) oraz obrazu wielospektralnego poddanego filtracji filtrem *majority* 3×3 (d.) z bazą danych pokryć dachowych (a.).

Fig. 6. The comparison of the classification results in object-oriented approach of multispectral image, (b) multispectral image after principal components analysis PCA (c) and multispectral image after majority filtration 3×3 (d) of the roof coverings database (a).

wartości klas w przypadku pikseli brzegowych, czy pikseli reprezentujących okna dachowe oraz inne elementy występujące na dachach, które dają w efekcie błędną klasę pokrycia dachowego. W przypadku obszaru opracowania nie występowały sytuacje stosowania mieszanego pokrycia dachowego. Jako próg zaklasyfikowania danego dachu do określonego typu pokrycia dachowego przyjęto 40% udział tego pokrycia dachowego,

przy jednoczesnym udziale pozostałych pokryć dachowych na poziomie niższym niż 10%. Porównanie wyników klasyfikacji w podejściu obiektowym według zaproponowanego algorytmu z referencyjną bazą danych pokryć dachowych przedstawia ryc. 6. Z kolei w tabelach 1 i 2 zestawiono wyniki oceny dokładności w podejściu pikselowym i obiektowym.

Tabela 1. Zestawienie oceny dokładności różnych wariantów klasyfikacji – podejście pikselowe.

Table 1. Summary of the accuracy of different variants of the classification – the pixel approach.

		Blacha <i>weet metal</i>	blacho- dachów- ka <i>metal tiles</i>	dachów- ka bitu- miczna <i>bitumi- nous tiles</i>	da- chówka cemento- wa <i>cement tiles</i>	dachów- ka cera- miczna <i>ceramic tiles</i>	eternit cement- -azbe- stos	gont bitumi- czny <i>bitu- minous shingle</i>	gont drewnia- ny <i>single wooden</i>	papa <i>roofing felt</i>
Liczba klasy [px] <i>Num- bers of class [px]</i>		50158	84903	10344	2244	91469	68133	2877	1177	39253
MS	Dokładność użytkownika <i>User's accuracy</i>	53,61	22,43	40,07	39,09	49,52	61,00	14,77	90,00	5,52
	Dokładność producenta <i>Producer's accuracy</i>	39,88	40,00	34,63	11,82	92,18	82,09	1,62	4,85	7,52
MS PC	Dokładność użytkownika <i>User's accuracy</i>	44,69	40,44	40,32	39,09	61,83	61,01	14,77	90,00	5,83
	Dokładność producenta <i>Producer's accuracy</i>	70,74	48,28	11,85	4,82	85,06	82,10	1,62	4,84	7,49
MS ^f	Dokładność użytkownika <i>User's accuracy</i>	59,86	24,74	45,12	54,59	56,36	74,07	21,48	98,72	3,31
	Dokładność producenta <i>Producer's accuracy</i>	45,39	36,52	13,24	9,53	95,72	87,44	2,34	5,83	6,21
MS PC ^f	Dokładność użytkownika <i>User's accuracy</i>	49,06	46,34	45,18	54,25	70,20	74,00	20,81	98,73	3,53
	Dokładność producenta <i>Producer's accuracy</i>	79,77	52,12	13,18	9,69	90,79	87,37	2,26	5,82	6,42

^f – obraz po filtracji filtrem *majority* 3×3

Tabela 2. Zestawienie oceny dokładności różnych wariantów klasyfikacji – podejście obiektowe.

Table 2. Summary of the accuracy of different variants of the classification – the object-oriented approach.

		Blacha <i>weet metal</i>	blacho- dachów- ka <i>metal tiles</i>	dachów- ka bitu- miczna <i>bitu- minous tiles</i>	da- chówka cemento- wa <i>cement tiles</i>	dachów- ka cera- miczna <i>ceramic tiles</i>	eternit cement- -azbe- stos	gont bitumi- czny <i>bitu- minous shingle</i>	gont drewnia- ny <i>single wooden</i>	papa <i>roofing felt</i>
Liczba dachów <i>Number of roofs</i>		84	122	11	2	100	130	4	1	82
MS	Dokładność użytkownika <i>User's accuracy</i>	63,10	24,59	27,27	50,00	64,00	82,86	50,00	100,00	3,66
	Dokładność producenta <i>Producer's accuracy</i>	50,96	42,86	5,66	5,26	94,12	90,63	4,35	3,45	10,34
MS PC	Dokładność użytkownika <i>User's accuracy</i>	47,62	49,18	27,27	50,00	77,00	82,86	15,39	100,00	6,10
	Dokładność producenta <i>Producer's accuracy</i>	85,11	57,69	5,56	4,35	89,53	90,63	4,44	3,57	12,50
MS ^f	Dokładność użytkownika <i>User's accuracy</i>	61,90	24,59	27,27	50,00	62,00	89,23	50,00	100,00	4,88
	Dokładność producenta <i>Producer's accuracy</i>	50,98	42,86	5,45	6,25	95,38	89,23	4,55	3,23	12,12
MS PC ^f	Dokładność użytkownika <i>User's accuracy</i>	47,62	48,36	25,00	50,00	77,00	88,46	50,00	100,00	7,31
	Dokładność producenta <i>Producer's accuracy</i>	85,11	57,28	5,45	6,25	88,51	89,15	4,55	3,33	16,67

^f – obraz po filtracji filtrem *majority* 3×3

Wykrywanie azbestowo-cementowych pokryć dachowych w każdym z wariantów klasyfikacji charakteryzuje wysoka wartość dokładności producenta i nieco niższa wartość dokładności użytkownika. W przypadku pozostałych rodzajów pokryć dachowych występują duże zmiany w zależności od tego czy klasyfikowano obraz wielospektralny, czy też obraz składowych głównych. W wyniku klasyfikacji nadzorowanej obrazu składowych głównych lepsze wyniki uzyskano w odniesieniu do klasyfikacji dachówki ceramicznej niż miało to miejsce przy klasyfikacji obrazu wielospektralnego. Po wykonaniu filtracji wyników klasyfikacji w przypadku większości typów pokryć dachowych wzrosła dokładność klasyfikacji.

Największą dokładność klasyfikacji azbestowo-cementowych pokryć dachowych uzyskano dla wyniku klasyfikacji obrazów – wielospektralnego i składowych głównych - poddanych filtracji filtrem *majority* 3×3. Dokładność producenta wyniosła w tym przypadku 87%, a dokładność użytkownika 74%. Pokrycia azbestowo-cementowe były również klasyfikowane jako papa albo dachówka bitumiczna lub gont bitumiczny.

Stosując podejście obiektowe uzyskano zdecydowanie wyższe dokładności w przypadku klasyfikacji blachy, blachodachówki, dachówki ceramicznej oraz eternitu. W odniesieniu do tego ostatniego najwyższą dokładność użytkownika otrzymano w wyniku klasyfikacji obrazu wielospektralnego, który następnie poddano filtracji filtrem *majority* 3×3. Wynosi ona ponad 89%. Identyczną wartość osiągnięto również w przypadku dokładności producenta. W przypadku dachów pokrytych blachą i blachodachówką zauważono, że w niektórych przypadkach były one klasyfikowane zamiennie. Po przeprowadzeniu szczegółowej analizy okazało się, że dotyczy to dachów pokrytych blachą malowaną, które częściowo były klasyfikowane jako blachodachówka i odwrotnie. Ze względu na niewielką liczebność dachów pokrytych dachówką cementową, gontem bitumicznym i gontem drewnianym, głębsza analiza wyników w odniesieniu do tych pokryć dachowych jest niemożliwa do wykonania. Dachówka cementowa znajdująca się na dwóch budynkach była barwiona, co powodowało, że w dużym stopniu była ona klasyfikowana jako dachówka ceramiczna.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki wskazują na dużą skuteczność klasyfikacji nadzorowanej obrazów satelitarnych WorldView-2 w inwentaryzacji azbestowo-cementowych pokryć dachowych. Proponowana technologia może być z powodzeniem stosowana w tego rodzaju opracowaniach. Stosując klasyfikację nadzorowaną obrazu wielospektralnego WorldView-2 można uzyskać dokładność wykrywania azbestowo-cementowych pokryć dachowych wynoszącą prawie 90%. Na poprawę dokładności wykrywania azbestowo-cementowych pokryć dachowych oraz ograniczenie problemów występujących z pikselami mieszanymi (brzegi dachów) może wpłynąć zastosowa-

nie produktu „thru-orto”. Ponadto, biorąc pod uwagę znaczne pokrycie Polski danymi lidarowymi, jest możliwe ich wykorzystanie do tzw. korekcy topograficznej, która ograniczy wpływ zmiennego oświetlenia dachów na wyniki klasyfikacji, co również może się przyczynić do lepszego wykrywania różnych rodzajów pokryć dachowych. W celu ograniczenia klasyfikowanego obszaru do zasięgu poszczególnych budynków można wykorzystać istniejące bazy danych, w tym Bazę Danych Obiektów Topograficznych.

Literatura

- ALMEIDA C.M., SOUZA I. M. E., ALVES C. D., PINHO C. M. D., PEREIRA M. N., FEITOSA R. Q., 2007. *Multilevel Object-Oriented Classification of Quickbird Images for Urban Population Estimates*. W: 15th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS 2007), 2007, Seattle.
- ATTURO C., FIUMI L., 2005. *Thermo-graphic analyses for monitoring urban areas in Rome to study Heat Islands*. International Conference “Passive and Low Energy Cooling 145 for the Built Environment”, May 2005, Santorini, Greece, ss. 145-150.
- BASSANI C., CAVALLI R. M., CAVALCANTE F., CUOMO V., PALOMBO A., PASCUCI S., PIGNATTI S., 2007. *Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data*. Remote Sensing of Environment, 109 (2007), ss. 361–378.
- DOBRCZEKA I., 2008. *Aspekty zdrowotne związane z obecnością azbestu w środowisku człowieka*. Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu. <http://www.urzadochota.waw.pl/data/other/1ddobrzelecka.1.pdf>
- DYCZEK J., 2007. *Azbest i materiały zawierające azbest. Ocena ryzyka emisji włókien azbestu*. W: Bezpieczne postępowanie z azbestem i materiałami zawierającymi azbest, pod redakcją Jerzego Dyczka, Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, Kraków, ss. 7-26.
- FONSECA L., NAMIKAWA L., CASTEJON E., CARVALHO L., PINHO, C., PAGAMISSE A., 2011. *Image Fusion for Remote Sensing Applications*. W: Image Fusion, Edited by Osamu Ukimura, ISBN 978-953-307-679-9, Publisher: InTech, SS. 153-178.
- Poradnik dla użytkowników wyrobów azbestowych*. Ministerstwo Gospodarki, 2008.
- Program Oczyszczania Kraju z Azbestu na lata 2009-2032*. Ministerstwo Gospodarki.
- PYSSA J., ROKITA G. M., 2007. *Azbest – występowanie, wykorzystanie i sposób postępowania z odpadami azbestowymi*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Tom 23, Zeszyt 1.
- SKORUPSKI J., 16.06.2013. *Azbest czy eternit*. <http://bezazbestu.com.pl/baza-wiedzy/azbest-czy-eternit/>
- SZESZENIA-DĄBROWSKA N., SOBALA W., 2010. *Zanieczyszczenie środowiska azbestem. Skutki zdrowotne*. Raport z badań, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Oficyna Wydawnicza MA, Łódź.
- TARACH A., 2007. *Gospodarowanie odpadami zawierającymi azbest w świetle wymagań ustawy o odpadach i prawa ochrony środowiska, z uwzględnieniem wydawania decyzji i przeprowadzania kontroli przez IOŚ*. W: Bezpieczne postępowanie z azbestem i materiałami zawierającymi azbest, pod redakcją Jerzego Dyczka, Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, Kraków, ss. 45-54.



Dr hab. inż. Katarzyna OSIŃSKA-SKOTAK jest absolwentką Wydziału Geodezji i Kartografii (spec. Fotogrametria i Kartografia) oraz Wydziału Inżynierii Środowiska (spec. Ochrona Atmosfery i Meteorologia Techniczna) Politechniki Warszawskiej. W 2001 r. uzyskała z wyróżnieniem stopień doktora, a w roku 2011 stopień doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie naukowej geodezja i kartografia (spec. teledetekcja i fotogrametria). Obecnie jest kierownikiem Zakładu Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej. Zajmuje się zaawansowanymi technikami teledetekcji i GIS, w szczególności w zakresie ich wykorzystania w badaniach środowiska (m.in. w badaniach jakości wód śródlądowych, w planowaniu przestrzennym, w badaniach zjawiska miejskiej wyspy ciepła). Posiada duże doświadczenie w zakresie przetwarzania obrazów satelitarnych i korekcji atmosferycznej zdjęć satelitarnych, opracowała m.in. metodę korekcji

atmosferycznej jednokanałowych zdjęć termalnych, metodę obliczania temperatury powierzchni Ziemi na podstawie jednokanałowych zdjęć termalnych oraz zaproponowała metodykę przetwarzania zdjęć superspektralnych do oceny stanu wód śródlądowych. Odbyla staże naukowe, m.in. w ramach programu TEMPUS w Belgii na Uniwersytecie w Gent (1996) oraz we Francji w GDTA w Toulouse (1997), w ramach stypendium Fundacji im. Nowickiego i Fundacji DBU w Niemczech na Uniwersytecie we Freiburgu (1998-1999) oraz w Niemieckim Centrum Kosmicznym w Oberpfaffenhofen k. Monachium (1999), w Szwecji na KTH (1999). Współzałożycielka Stowarzyszenia „Środowisko dla Środowiska”. Członek zespołu specjalistów przy Sekcji Teledetekcji Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych przy Prezydium PAN oraz członek Sekcji Fotogrametrii i Teledetekcji Komitetu Geodezji przy Prezydium PAN