

Weryfikacja kompletności danych ogólnokrajowej Bazy Azbestowej metodami teledetekcyjnymi na przykładzie pruszkowskiej dzielnicy Żbików

*Verification of completeness of data of the National Asbestos Database
by remote sensing methods on the example
of the Pruszków district of Żbików*

Łukasz ŚCISŁOWSKI
Adam BIELECKI

Abstract

This study verifies the completeness of data contained in the national Asbestos Database, using remote sensing techniques in a selected area of Pruszków. The attempt was made to prepare an inventory of asbestos-cement roofs using the multi-spectral satellite imagery obtained from the high-resolution WorldView 2 satellite. In the introduction, a brief characteristic of the asbestos was presented and the National Asbestos Purification Program for 2009-2032 was described. Then, the sources of data used in the research were presented. The practical part presents the method of data preparation, and then, describes the process of conducting the supervised classification, which resulted in the detection of cement-asbestos roofing. Although the high-resolution and multi-channel WorldView-2 satellite does not record the best wavelength for the detection of asbestos covers, it led results that are satisfactory, e.g. for the purpose of monitoring the accuracy of inventory results carried out for the needs of local governments. The results of the conducted inventory were compared with the nationwide Asbestos Database for the Pruszków district – Żbików. There were significant discrepancies in the number of asbestos covered roofs that were inventoried.

Key words: asbestos, asbestos database, multispectral image, WorldView2 satellite, remote sensing, supervised classification

Streszczenie

Poniższa praca weryfikuje kompletność danych zawartych w ogólnopolskiej Bazie Azbestowej przy użyciu technik teledetekcyjnych z wybranej części gminy miejskiej Pruszków. Podjęto próbę inwentaryzacji cementowo-azbestowych pokryć dachowych przy użyciu wysokorozdzielczych obrazowań multispektralnych wykonanych przez sensory satelity WorldView 2.

We wstępie przedstawiono krótką charakterystykę materiału, jakim jest azbest oraz opisano „Program Oczyszczenia Kraju z Azbestu na lata 2009-2032”. Następnie zaprezentowano źródła danych użytych do przeprowadzonych analiz. W części praktycznej opisano metody przygotowania danych, a także proces przeprowadzenia klasyfikacji nadzorowanej, której wynikiem było wykrycie cementowo-azbestowych dachów. Pomimo, że wysokorozdzielcze i multikanalowe obrazowania nie zawierają wartości odbić dla najodpowiedniejszych do wykrycia azbestu długości fal, otrzymane wyniki można uznać za satysfakcjonujące (np. do celów weryfikacji dokładności inwentaryzacji pokryć azbestowych dla jednostek samorządu terytorialnego).

Wyniki przeprowadzonej inwentaryzacji zostały porównane z krajową Bazą Azbestu dla jednej z dzielnic Pruszkowa – Żbikowa. Otrzymano znaczące rozbieżności pomiędzy obiema inwentaryzacjami.

Słowa kluczowe: azbest, baza azbestowa, obraz multispektralny, satelita WorldView2, teledetekcja, klasyfikacja nadzorowana

Wprowadzenie

Azbest jest nazwą handlową włóknistych minerałów, występujących naturalnie w przyrodzie. Jego właściwości są znane już od starożytności, a wzrost jego zastosowania przypada na ostatnie kilkadziesiąt lat. Powszechne zainteresowanie azbestem wynikało z jego właściwości: odporność na wysokie i niskie temperatury, odporność na substancje żrące, wytrzymałość na rozciąganie i zginięcie, elastyczność. Wszystkie te zalety spowodowały szerokie zastosowanie azbestu do produkcji materiałów budowlanych, zwłaszcza pokryć dachowych i elewacyjnych, wszelkiego rodzaju instalacji odpornych na działanie skrajnych temperatur, wyrobów tekstylnych ognioodpornych. W Polsce nie prowadzono wydobywania azbestu. Materiał ten był sprowadzany zwłaszcza z terenów ZSRR. Produkcja płyt azbestowych w Polsce zaczęła się na początku XX wieku, a jej rozkwit przypadł po 1950 r. i trwał do 1998 r. (Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii, 2016). W ostatnich latach XX wieku zaczęto wycofywać azbest z obrotu, kiedy udowodniono jego wysoką szkodliwość dla zdrowia człowieka. Włókna azbestu prowadzą do chorób nowotworowych oraz chorób układu oddechowego (Maciołek, Zielińska, Domarecki, 2012). W Polsce w latach 90 powstał program usuwania azbestu ze środowiska. Jako kontynuacja, obecnie obowiązuje „Program Oczyszczania Kraju z Azbestu na lata 2009-2032”. Program ten zakłada m.in. inwentaryzację materiałów azbestowych i gromadzenie tych danych w bazie azbestowej – prowadzonej w systemie informacji przestrzennej. Baza ta jest dostępna dla wszystkich jednostek samorządu terytorialnego. Baza Azbestowa prowadzona jest przez Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii. Każdy wójt, burmistrz i prezydent miasta, a także marszałek województwa ma obowiązek wprowadzania i aktualizowania danych. Aktualna inwentaryzacja jest podstawą do ubiegania się o środki finansowe na usuwanie azbestu. (Ministerstwo Gospodarki, 2010) Poza samodzielnymi zgłoszeniami właścicieli o materiałach azbestowych, gminy przeprowadzają inwentaryzacje i są to często inwentaryzacje z natury, w terenie. Takie inwentaryzacje są czasochłonne. Przy tego typu pracach zaczęto wspomagać się ortofotomapami lotniczymi. Inne materiały teledetekcyjne i fotogrametryczne nie są powszechnie wykorzystywane z powodu kosztów pozyskania zobrażeń satelitarnych (Osińska-Skotak, 2014). Cena jest mocno uzależniona od czasu, który minął od pozyskania obrazu multispektralnego. Jeśli są to zdjęcia starsze (będące w archiwum przynajmniej 90 dni) cena na styczeń 2018 r. wynosiła ok. 500 \$ za 25 m² 8-kanalowego obrazu z satelity WorldView2 amerykańskiej firmy DigitalGlobe. Jest to minimalna powierzchnia zamówienia. Przy czym można za dodatkową opłatą pozyskać obraz aktualny, z mniejszym zachmurzeniem lub zrobionym

pod korzystniejszym kątem-bliższym nadzirowi (Landinfo Worldwide Mapping LLC).

W literaturze krajowej, jak również zagranicznej można spotkać coraz liczniejsze przykłady zastosowania technik teledetekcyjnych w inwentaryzacji cementowo-azbestowych pokryć dachowych. Prowadzone badania nad detekcją azbestowych pokryć dachowych przy pomocy technik satelitarnych wykazały skuteczność takiej inwentaryzacji na poziomie 80-90% (Osińska-Skotak, 2014).

Celem głównym badań była weryfikacja dokładności inwentaryzacji azbestowo-cementowych pokryć dachowych w krajowej Bazie Azbestu korzystając z publicznie dostępnych danych satelitarnych. Celem pobocznym było natomiast stworzenie metody inwentaryzacji „eternitu” możliwej do wykorzystania przez każdą jednostkę samorządu terytorialnego.

Obszar badań

Jako obszar szczegółowej analizy wybrano część starej, pruszkowskiej dzielnicy – Żbików. Pruszków, zaraz po Warszawie, jest największym pod względem mieszkańców miastem aglomeracji warszawskiej. Miasto położone jest na południowy – zachód od Warszawy, na Równinie Łowicko – Błońskiej, nad rzeką Utratą. Pruszków otrzymał prawa miejskie w roku 1916. Również w tym roku przyłączono do miasta wieś Żbików. Wzmianki o wsi Pruszkowo pochodzą z początku XV w. Znacznie większe znaczenie miała sąsiednia wieś Żbików – własność biskupów poznańskich – wymieniona w przywileju immunitetowym księcia Bolesława pochodzącym z 1297 r. W XIX wieku w Pruszkowie zlokalizowano pierwszą od Warszawy stację Kolei Warszawsko – Wiedeńskiej. Dzięki osuszeniu doliny Utraty powstawały na tym terenie liczne wille i domy letniskowe oraz nastąpił rozwój przemysłu. Na terenie przylegającym do linii kolejowej powstały Warsztaty Naprawy Drogi Żelaznej Warszawsko-Wiedeńskiej. W 1920 roku uruchomiono elektrownię, a wokół miasta powstawały cegielnie. Komunikację z Warszawą poprawiło wybudowanie linii Elektrycznej Kolei Dojazdowej. W 1939 r. Pruszków liczył już ponad 27 000 mieszkańców i należał do największych miast Mazowsza. Po wojnie, liczba ludności miasta znacząco się zwiększyła w związku z licznymi migracjami ze zniszczonej Warszawy. Powstawały nowe osiedla pracownicze wokół zakładów przemysłowych. Obecnie Pruszków liczy ponad 60 000 mieszkańców i ciągle dynamicznie się rozwija. Zabudowa w centrum miasta składa się z małomiasteczkowej zabudowy o 2-3 kondygnacjach, bloków mieszkalnych i skromnych domów robotniczych z przełomu XIX i XX wieku. Zwyczajowa dzielnica Żbików, będąca oddzielona od centrum miasta linią kolejową, zachowała również małomiasteczkowy charakter.



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

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

Można tu wyróżnić zwartą, starą, wielorodzinną zabudowę o 2-3 kondygnacjach, nieliczne bloki mieszkalne i przeważającą, starą zabudowę jednorodziną. Część wschodnią dzielnicy stanowi zabudowa przemysłowa po starych Zakładach Naprawczych Taboru Kolejowego. (Kwiatk, Lijewski, 1998)

Źródła danych

Jako podstawowe źródło danych wykorzystano obraz wielospektralny z satelity WorldView-2 obejmujący wybrany obszar pruszkowskiej dzielnicy Żbików. Satelita WorldView-2 został wprowadzony na orbitę w dniu 8 października 2009 r. Jego orbita przebiega na wysokości 770 km. Jest to jeden z nielicznych satelitów rejestrujących obraz jednocześnie w wysokiej rozdzielczości przestrzennej, spektralnej i czasowej.

Tab. 1. Charakterystyka satelity WorldView-2 (źródło: Instytut Geodezji i Kartografii)

Tab. 1. Characteristics of the WorldView-2 satellite (source: Instytut Geodezji i Kartografii)

Rozdzielczość terenowa: <i>A terrain resolution:</i>	kanal panchromatyczny – 0,46 m w nadirze (dostępne 0,5 m) kanały wielospektralne – 1,84 m w nadirze
Rozdzielczość spektralna: <i>A spectral resolution:</i>	450-800 nm (panchromatyczny) 400-450 nm (pasmo niebieskie do obserwacji wód przybrzeżnych) 450-510 nm (niebieski) 510-580 nm (zielony) 585-625 nm (złoty) 630-690 nm (czerwony) 705-745 nm (skraj czerwonego widma) 770-895 nm (bliska podczerwień) 860-1040 nm (bliska podczerwień 2 / SWIR)

Wielkość sceny: <i>A size of the scene:</i>	16,4 km w nadirze
Rozdzielczość czasowa: <i>A time resolution:</i>	1,1 dnia 3,7 dnia (przy nachyleniu poniżej 20°)

Analizy spektrometryczne chryzotyłu (minerał powszechnie stosowany przy produkcji płyt cementowo-azbestowych) wykazały jego wykrywalność w zakresie fal średniej podczerwieni (najlepsza wykrywalność dla długości fali 2,327 μm oraz 9,44 μm) (Bassani et al., 2007). Niestety satelita WorldView2 rejestruje obraz w zakresie fal tylko do bliskiej podczerwieni. Natomiast jego dużą zaletą jest jego wysoka rozdzielczość przestrzenna przy i tak wysokiej (8-kanalowej) rozdzielczości spektralnej. Zobrazowanie multispektralne wykorzystane w tej pracy zostało udostępnione dzięki uprzejmości Europejskiej Agencji Kosmicznej. Zdjęcie pochodzi z programu pozyskania obrazów satelitarnych dla obszarów aglomeracji miast europejskich wykonanych dla programu Urban Atlas. Scena obejmowała teren miasta powiatowego Pruszków. Do szczegółowej analizy wybrano część starej, pruszkowskiej dzielnicy – Żbików.

Dodatkowym materiałem, bardzo pomocnym przy samej interpretacji obrazu, ale nie mającym wpływu na wynik analizy, był wyostrzony obraz w procesie pansharpeningu. W tym przypadku użyto metody wyostrenia panchromatycznego IHS, aby otrzymać fuzję obrazów multispektralnych z obrazem panchromatycznym o wyższej rozdzielczości.

Drugim podstawowym źródłem danych był serwis OpenStreetMap, z którego pozyskano wektory obrysów budynków pruszkowskiej dzielnicy Żbików. W tym celu wykorzystano wtyczkę OpenLayers Plugin dedykowaną

dla programu QGIS. Pozyskane dane po późniejszym imporcie i obróbce w programie ArcMap, posłużyły w dalszej części pracy, jako warstwa referencyjna.

Przy tworzeniu warstwy referencyjnej wykorzystano również dane z Elektronicznego Systemu Informacji Przestrzennej do monitorowania realizacji „Programu Oczyszczania Kraju z Azbestu 2009-2032”.

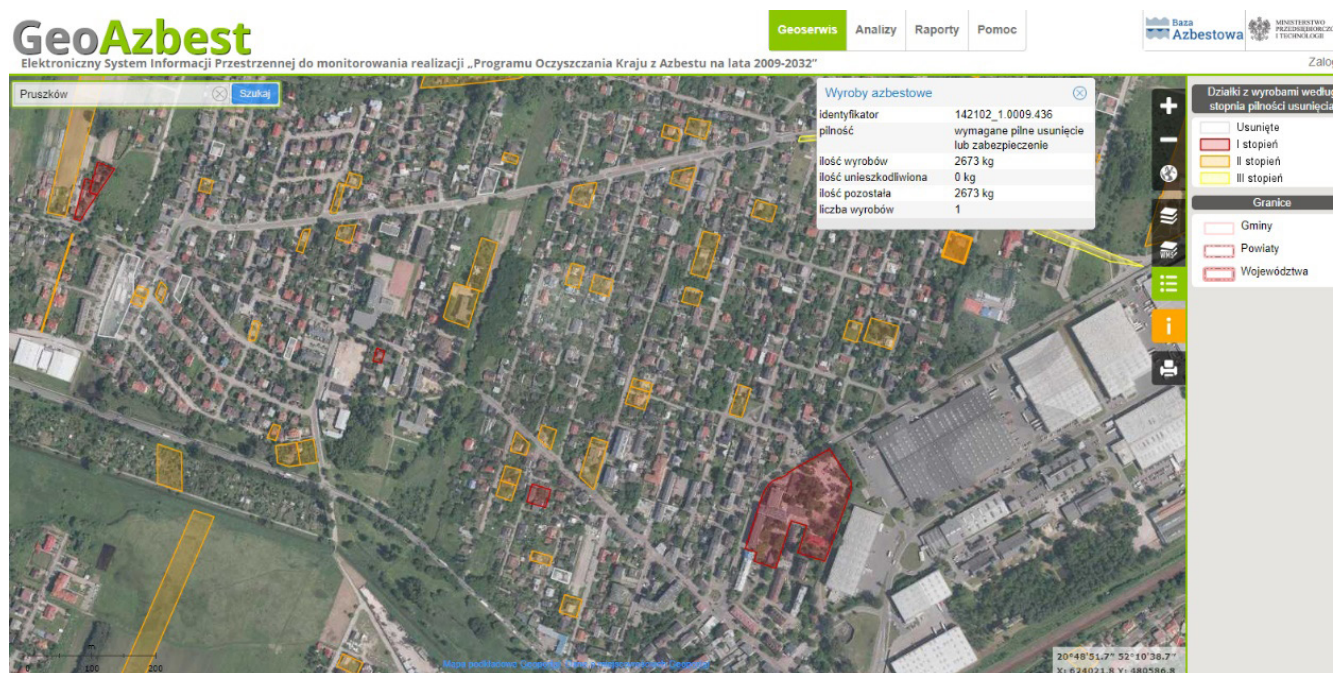
Baza azbestowa jest prowadzona przez jednostki samorządu terytorialnego. W systemie tym zaznaczono działki z wyrobami z azbestu oraz pogrupowano według stopnia pilności usunięcia. Strona umożliwia przeprowadzanie prostych analiz oraz generowania raportów.

Dla gminy miejskiej Pruszków zainwentaryzowano ponad 627 ton wyrobów zawierających azbest. Tylko 130 ton tego materiału zostało zlikwidowanych. Pozostało prawie 500 ton do unieszkodliwienia. Statystyki dla całego kraju również nie są korzystne.

Detekcja cementowo – azbestowych pokryć dachowych.

Pierwszym etapem przygotowującym do przeprowadzenia detekcji pokryć dachowych było odpowiednie przygotowanie obrazu. Aby przeprowadzić klasyfikację tylko dla obszaru zainteresowania, wycięto obraz warstwą wektorową obrysów budynków. Tym sposobem analiza zostanie przeprowadzona tylko i wyłącznie dla dachów budynków.

Kolejnym krokiem było przeprowadzenie klasyfikacji nadzorowanej wydzielonego obrazu. Jak wskazano w innych pracach tego typu (Katarzyna Osińska – Skotak, 2014), ten typ klasyfikacji sprawdza się najlepiej przy inwentaryzacji azbestu. Pierwszym krokiem do przeprowadzenia klasyfikacji było stworzenie próbek



Ryc. 2. Baza Azbestowa – GeoAzbest (<https://esip.bazaazbestowa.gov.pl/>)

Fig. 2. The Asbestos Database

Zestawienie statystyczne

>> Masa wszystkich wyrobów w kg - zwiń ^

Lp.	zinventoryzowane			unieszkodliwione			pozostałe do unieszkodliwienia		
	razem	osoby fizyczne	osoby prawne	razem	osoby fizyczne	osoby prawne	razem	osoby fizyczne	osoby prawne
1	6 183 056 026	5 566 495 174	616 560 852	792 507 675	687 046 687	105 460 988	5 390 548 463	4 879 448 599	511 099 864

>> Masa wyrobów wg rodzaju - rozwiń v

>> Masa wyrobów wg województw - rozwiń v

>> Masa wyrobów wg powiatów - rozwiń v

>> Masa wyrobów wg gmin - zwiń ^



Lp.	kod	nazwa	zinventoryzowane			unieszkodliwione			pozostałe do unieszkodliwienia		
			razem	osoby fizyczne	osoby prawne	razem	osoby fizyczne	osoby prawne	razem	osoby fizyczne	osoby prawne
1138	1421021	Pruszków	627 738	522 102	105 636	130 149	107 269	22 880	497 589	414 833	82 756

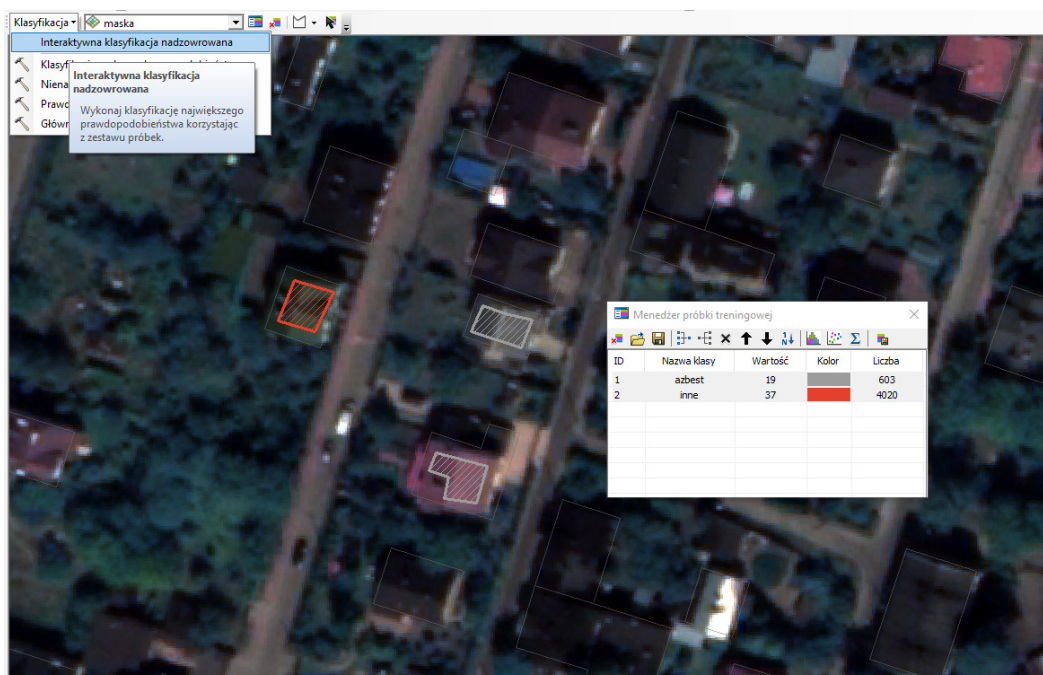
Ryc. 3. Baza Azbestowa - zestawienie statystyczne (<https://www.bazaazbestowa.gov.pl>)

Fig. 3. The Asbestos Database – statistical summary (<https://www.bazaazbestowa.gov.pl>)



Ryc. 4. Wycięty obraz warstwą wektorową obrysów budynków

Fig. 4. An image cut out with a vector layer of building outlines



Ryc. 5. Przygotowanie próbek treningowych
Fig. 5. A preparation of training samples



Ryc. 6 Scena z serwisu StreetView Google.
Fig. 6. A scene from Google StreetView Service

treningowych. W tym przykładzie zdecydowano się na wydzielenie dwóch kategorii pokryć dachowych – azbestowe oraz pozostałe.

Przy wyborze próbek treningowych pomocny był wyostrozony obraz przygotowany wcześniej w procesie panchsharpeningu.. W tym przypadku użyto metody wyostrozienia panchromatycznego IHS, aby otrzymać fuzję zobrazowań multispektralnych z obrazem panchromatycznym o wyższej rozdzielczości terenowej. Szczególną uwagę zwrócono na wybór próbek pokryć cementowo – azbestowych. Wyznaczano poligony z tym pokryciem dachu z obiektów sprawdzonych w terenie. Wspomagano się również serwisem StreetView, jeśli sceny w tym serwisie na to pozwalały.

Do utworzenia pól treningowych dla pozostałych materiałów pokrycia dachów, starano się wybrać wystarczająco liczną i różnorodną próbę reprezentacyjną. Po utworzeniu pól treningowych przeprowadzono proces klasyfikacji nadzorowanej metodą maksymalnego podobieństwa. W literaturze można znaleźć potwierdzenie, co do zasadności zastosowania tego typu metody kla-

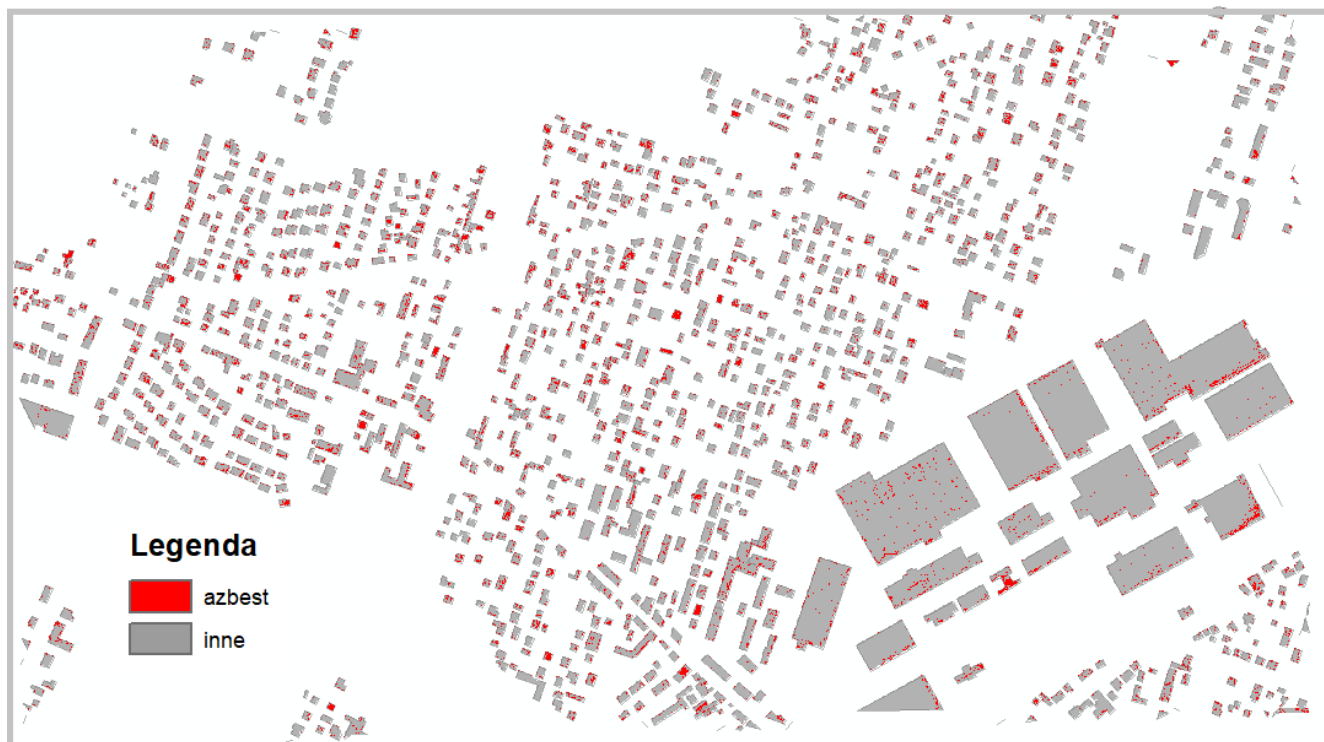
syfikacji przy próbie wykrycia cementowo-azbestowych pokryć dachowych (Katarzyna Osińska – Skotak, 2014).

Wyniki klasyfikacji w pierwszej ocenie są zadowalające. Widoczny jest efekt „pieprzu i soli”, czyli zawartości w danej klasie pikseli z innej klasy. Można zaobserwować również problem pikseli brzegowych, pikseli reprezentujące okna dachowe, czy inne elementy występujące na dachach, które dają w efekcie błędną klasę pokrycia dachowego. W niektórych przypadkach, zauważalny jest również nieznaczny wpływ kształtu dachu na wynik klasyfikacji. W celu zredukowania problemu występowania dwóch klas w obrębie jednego dachu, zastosowano filtrację majority 3x3, która wybiera wartości najczęściej występujące w obrębie okna filtra. Filtr analizuje wartość 8 pikseli otaczających dany piksel i na podstawie tego wybiera dla niego wartość.

Analiza wyników

Zastosowanie filtra majority 3x3 ułatwiło interpretację wyniku klasyfikacji nadzorowanej. Wynik inwentaryzacji wraz z porównaniem z Bazą Azbestową przedstawiono w formie graficznej na rysunku poniżej.

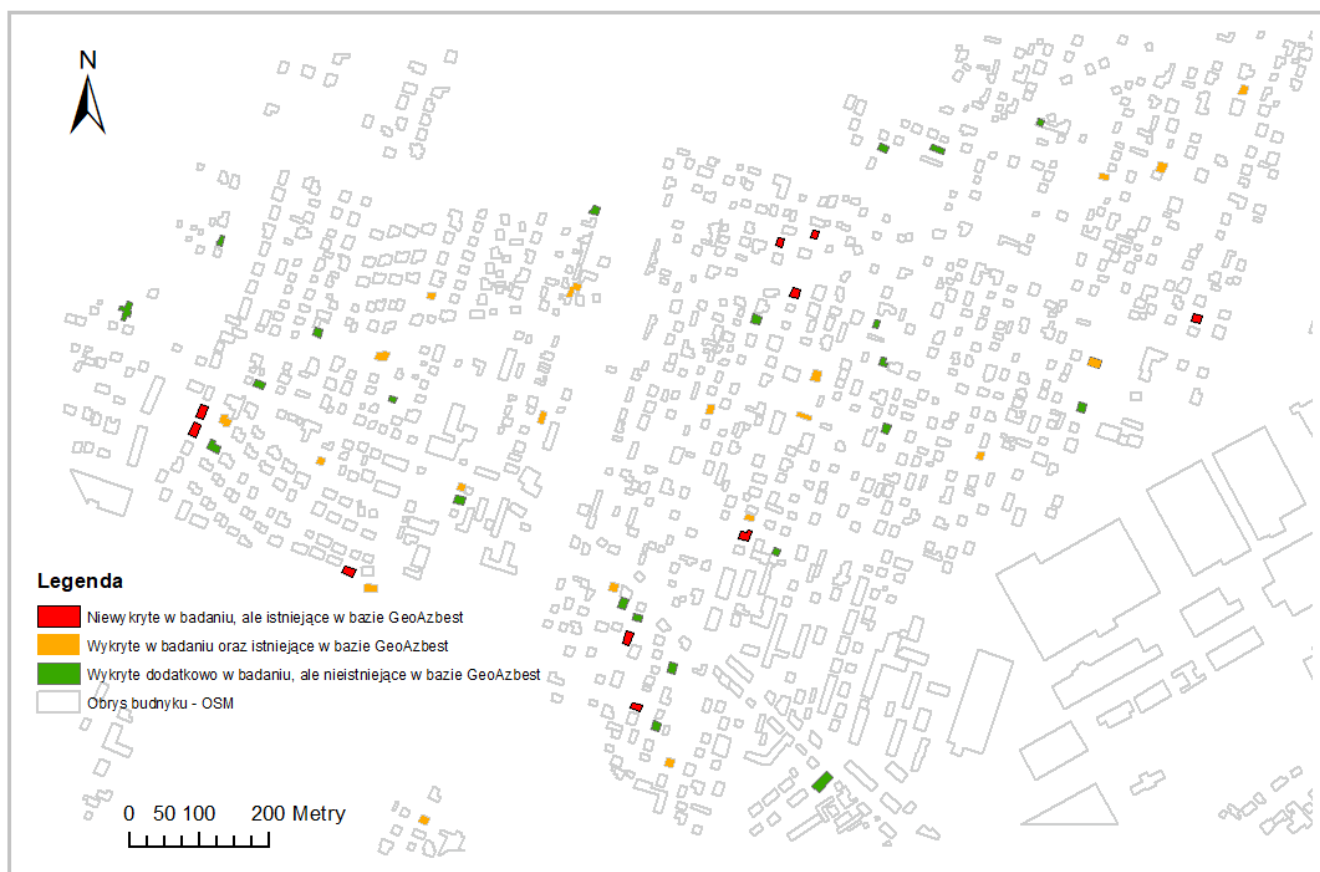
W wyniku zastosowania teledetekcyjnych technik inwentaryzacji cementowo – azbestowych pokryć dachowych otrzymano 43 prawidłowych wykryć obiektów na terenie dzielnicy Żbików. Dużym zaskoczeniem jest fakt, że na danym terenie w bazie azbestowej GeoAzbest znajduje się tylko 30 takich obiektów. Dla wszystkich dodatkowych wykryć została przeprowadzona kontrola w terenie.



Ryc. 7. Wynik klasyfikacji nadzorowanej metodą maksymalnego podobieństwa
Fig. 7. The result of a supervised classification by the maximum similarity method



Ryc. 8. Wynik klasyfikacji nadzorowanej metodą maksymalnego podobieństwa po zastosowaniu filtracji MAJORITY 3x3
Fig. 8. The result of supervised classification by maximum similarity method using MAJORITY 3x3 filtering



Ryc. 9. Wynik inwentaryzacji cementowo – azbestowych pokryć dachowych z zastosowaniem technik teledetekcyjnych względem bazy GeoAzbest

Fig. 9. The result of the inventory of asbestos-cement roofs' cover using remote sensing techniques in relation to the GeoAzbest database

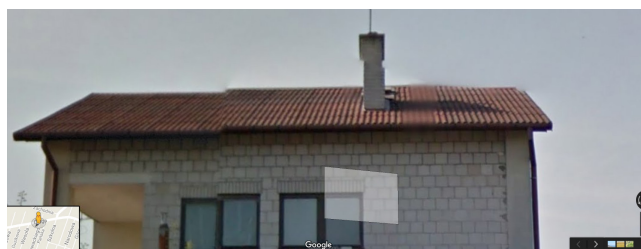
Tab. 2. Porównanie wyników z bazą azbestową GeoAzbest

Tab. 2. The comparison of the detection results with national Asbestos Database GeoAzbest

	ilość obiektów (the number of objects)
baza GeoAzbest	30
GeoAzbest – wykryte (detected)	20
GeoAzbest – niewykryte (not detected)	10
Wykryte dodatkowo (additionally detected)	23

Również dużym zaskoczeniem jest liczba obiektów niewykrytych, a znajdujących się w bazie GeoAzbest – jest to 10 niewykrytych obiektów. Po sprawdzeniu w terenie niewykrytych pokryć dachowych okazało się, że dachy w większości tych przypadków zostały pomalowane czerwoną farbą.

Zdarzyły się również przypadki błędnego wykrycia. Na badanym terenie było to 7 przypadków, z czego najczęściej pomyłek zanotowano w przypadku blachy koloru zielonego oraz pokrycia bitumicznego. Różnice pomiędzy odbiciami spektralnymi dla kanałów zarejestrowanych przez sensor satelity WorldView-2 widoczne na krzywej odbicia na wykresie poniżej. Wyraźnie widać, iż niewykryte dachy eternitowe, które znajdują się w bazie GeoAzbest charakteryzują się wyższym odbiciem dla



Ryc. 10. Scena z serwisu StreetView Google.

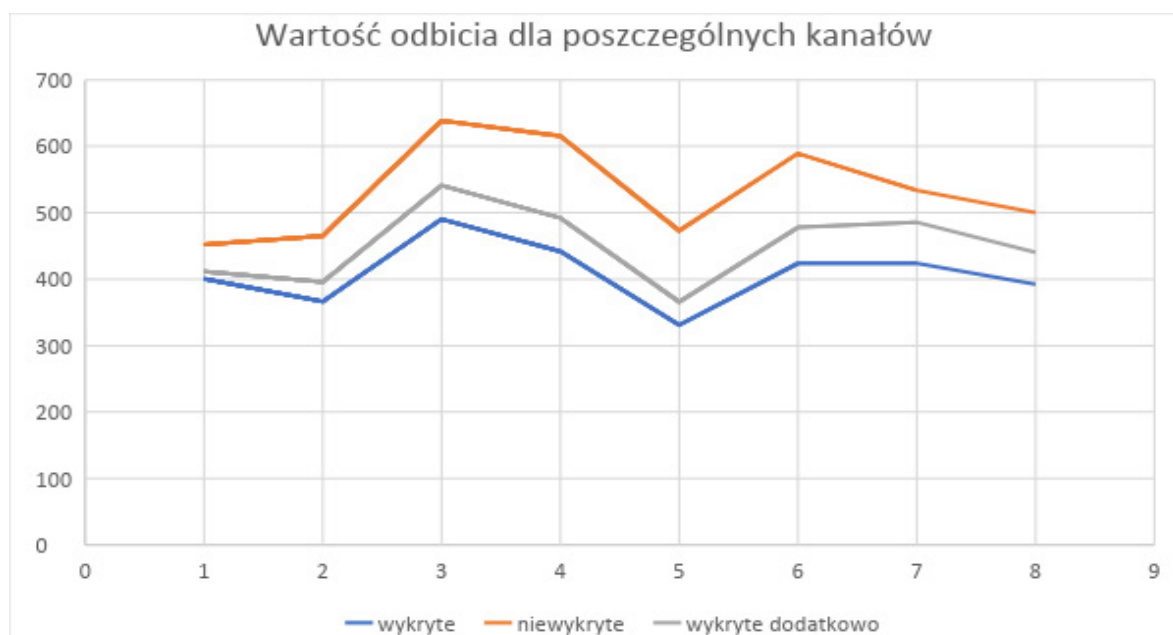
Fig. 10. The scene from Google StreetView Service

każdego kanału. Badanie wykonano na próbie czterech obiektów z każdej. Wartość odbicia dla poszczególnych kanałów

Ocena dokładności wyników klasyfikacji nadzorowanej została przeprowadzona przez porównanie z danymi zweryfikowanymi w terenie. Oceny dokładności dokonano w podejściu obiektowym, czyli dokonano analizy klasy dominującej danego dachu. Na analizowanym terenie znajdowało się 1214 pokryć dachowych.

Ocena dokładności przeprowadzonej klasyfikacji wykazała wysoką dokładność całkowitą na poziomie 98,6%. Rzeczywista zgodność (zgodność obserwowana skorygowana o zgodność losową) wyrażona współczynnikiem kappą wyniosła 0,83. Również dokładności producenta oraz użytkownika dla azbestu są na wysokim poziomie

Reflection value for specific channels



Ryc. 11. Wartość odbicia spektralnego dla poszczególnych kanałów dla pokryć cementowo-azbestowych, które zostały wykryte, niewykryte oraz dodatkowo wykryte względem bazy GeoAzbest

Fig. 11 The value of a spectral reflection for specific channels for asbestos-cement roofings which were detected, not detected and additionally detected in comparison with the national Asbestos Database GeoAzbest

ponad 80%. Podobne wyniki oceny dokładności zostały uzyskane w innych opracowaniach dotyczących detekcji azbestu (Katarzyna Osińska – Skotak, 2014).

W wyniku zastosowania teledetekcyjnych metod łącznie wykryto ok 4359 m² powierzchni dachów cementowo-azbestowych znajdujących się już w bezie Geo-

Tab. 2. Ocena dokładności klasyfikacji – podejście obiektowe

Tab. 2. Assessment of classification accuracy - object-oriented approach

		Wynik klasyfikacji Classification result			
		liczba wykryć number of detections			suma sum
		azbest asbestos	inne other		
Dane porównawcze comparative data	liczba wykryć number of detections	azbest asbestos	43	10	53
		inne other	7	1154	1161
		suma sum	50	1164	1214
Dokładność całkowita Overall accuracy		98,60%			
Współczynnik kappa Kappa coefficient		0,83			
Dokładność producenta – azbest Producer's accuracy -asbestos		81,13%			
Dokładność użytkownika - azbest User's accuracy – asbestos		86,00%			

Azbest, zaś nie wykryto 1623 m² tychże powierzchni. Metoda zastosowana w niniejszej pracy pozwoliła na wykrycie dodatkowo 3484 m² powierzchni niezainwentaryzowanej w bazie geoazbest. Licząc więc najbardziej pesymistyczną wersję w dzielnicy Żbików należy usunąć 9466 m² powierzchni dachowej. Wykorzystując współczynnik przeliczania powierzchni dachowych z płyt cementowo-azbestowych z metrów kwadratowych na tony wynoszący 0,013 t na każdy 1 m² dachu otrzymujemy ponad 128 ton szkodliwego materiału do usunięcia. Koszt usunięcia, przewiezienia i unieszkodliwienia 1 tony eternitu wynosi ok 1400 zł (Urząd Miasta Pruszków, 2009). Łączny koszt usunięcia azbestu w dzielnicy Żbików szacowany jest na niespełna 180 000 zł. Suma ta nie uwzględnia konieczności zastąpienia usuniętego pokrycia dachowego nowym.

Na stan dzisiejszy do końca 2032 roku należy usunąć 128 ton materiału, tak więc przez 14 lat średniorocznie należy pozbywać się dachów z 4 budynków o łącznej masie 9,14 ton. Taki proces wymagałby zabezpieczenia w budżecie sumy 12 800 zł w każdym roku doliczając koszty zastąpienia pokryć innym materiałem.

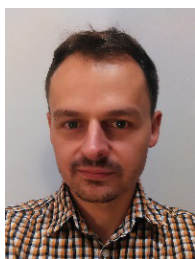
Podsumowanie

Inwentaryzacja cementowo – azbestowych pokryć dachowych za pomocą technik teledetekcyjnych wykazała dużą dokładność (powyżej 80%). Potwierdziła się skuteczność opisywana w innych pracach dotyczących inwentaryzacji tego typu obiektów. Mimo, że wysokorozdzielczy i wielokanałowy satelita WorldView-2 nie rejestruje najlepszego zakresu fali dla wykrycia pokryć azbestowych, to i tak wynik takiej detekcji jest zadowalający. Analiza wyniku objęła również porównanie inwentaryzacji na wybranym terenie z danymi umieszczonymi w bazie azbestowej Ministerstwa Przemysłu, Handlu i Turystyki, prowadzonej przez jednostki samo-

rządowe. Zostały zaobserwowane duże rozbieżności, co do ilości zainwentaryzowanych obiektów. Wykryto dużo dodatkowych obiektów nieuwzględnionych w krajowej bazie azbestowej. Przy zastosowaniu tej technologii należy mieć na uwadze, że może wystąpić problem z detekcją barwionych azbestowych pokryć dachowych. Zastosowana w tej pracy technika wykryć obiektów zawierających azbest może być dobrym rozwiązaniem dla weryfikacji kompletności inwentaryzacji zleczanych przez samorządy oraz może prowadzić do znaczącego przyspieszenia inwentaryzacji terenowych.

Literatura

- Azbest w otoczeniu – czym jest i dlaczego należy go usunąć? Materiały dla nauczycieli*, 2016, Ministerstwo Przemysłu, Handlu i Turystyki
- BASSANI C., CAVALLI R. M., CAVALCANTE F., CUOMO V., PALOMBO A., PASCUCCI S., PIGNATTI S., *Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data* w Remote Sensing of Environment, 109 (2007), 2007
- KWIATEK J., LIJEWSKI T., *Leksykon Miast Polskich*, 1998, wyd. MUZA SA
- MACIOŁEK H., ZIELIŃSKA A., DOMARECKI T., 2012, *Oddziaływanie azbestu na środowisko przyrodnicze i organizm człowieka*, Górnośląska Wyższa Szkoła Pedagogiczna im. Kardynała Augusta Hłonda
- OSIŃSKA-SKOTAK K., *Zastosowanie technik teledetekcyjnych do inwentaryzacji cementowo-azbestowych pokryć dachowych* w Teledetekcja Środowiska Tom 51 (2014/2), 2014, Polskie Towarzystwo Geograficzne, Oddział Teledetekcji i Geoinformatyki
- Program Oczyszczania Kraju z Azbestu na lata 2009-2032.*, 2010, Ministerstwo Gospodarki
- Plan usuwania wyrobów zawierających azbest z terenu Miasta Pruszkowa*, 2009, wyd. Urząd Miasta Pruszków, WGS84 Polska Sp. z o.o.
- <https://www.bazaazbestowa.gov.pl>
- <http://www.igik.edu.pl/pl/a/WorldView-2>
- <https://www.landinfo.com/satellite-imagery-pricing.html>



Mgr inż. Łukasz ŚCISŁOWSKI – absolwent m.in. Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej oraz studiów podyplomowych Geoinformacja na Wydziale Nauk Geograficznych, Matematyki i Informatyki Uniwersytetu Łódzkiego. E-mail: lu.scislowski@gmail.com



Mgr inż. Adam BIELECKI – uzyskał tytuł inżyniera na kierunku Gospodarka Przestrzenna specjalność Planowanie Przestrzenne na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej, zaś tytuł magistra na Wydziale Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego. Absolwent studiów podyplomowych na kierunku Geoinformatyka w ochronie środowiska i planowaniu przestrzennym na Uniwersytecie Warszawskim. Od 2016 roku doktorant w Zakładzie Geoinformacji Instytutu Geografii Miast i Regionów Wydziału Nauk Geograficznych UŁ. Główne zainteresowania badawcze to detekcja roślinności w mieście i ich wpływ na życie mieszkańców.

Adres: Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji, ul. Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź. E-mail: adam_biel@o2.pl

Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji, ul. Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź. E-mail: adam_biel@o2.pl