

Zróźnicowanie spektralne dachowych pokryć azbestowo-cementowych

Spectral differentiation of asbestos-cement roofing

Małgorzata KRÓWCZYŃSKA

Ewa WILK

Piotr PABJANEK

Uniwersytetu Warszawski

Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych

Zakład Geoinformatyki, Kartografii i Teledetekcji

Gabriela OŁĘDZKA

Warszawski Uniwersytet Medyczny

Zakład Biologii Medycznej

Ewelina ROGULSKA

Abstract

Performed analysis of spectral signatures indicates that there is a possibility of discrimination of ACR from other roof coverings. The following optimal wavelengths were determined: 350-450 nm, 555-853 nm, 668-790 nm, 911-917 nm, 1000 nm, 1100-1340 nm, 1228-1311 nm, 1669-1725 nm, 1800 nm, 1830-1850 nm, 1925-1935 nm, 2060-2090 nm, 2500 nm, 2500 nm.

Results of the undertaken survey may support the selection of the adequate sensor for ACR discrimination, and classification process through the reduction of the number of bands in order to include bands with significant differences in spectral reflection between ACR and other roof coverings.

Key words: asbestos, asbestos-cement roofing, spectral differentiation, spectral curve

Słowa kluczowe: azbest, pokrycia dachowe azbestowo-cementowe, zróźnicowanie spektralne, krzywe spektralne

Asbestos-containing products are harmful to human health, therefore their use and production was banned in 55 countries, including European Union since January 1, 2005. Since asbestos-cement roofing account for 90% of asbestos used in the world today, an important issue is to use remote sensing data for asbestos identification and mapping. The objective of this study was to determine the possibilities of differentiation of asbestos-cement roofing (ACR) from other roof coverings used, on the basis of spectral signatures, and to select the most appropriate

wavelengths for classification purposes. Spectral signatures were measured under laboratory conditions with the use of ASD FieldSpec 3 (350-2500 nm) for 86 types of roof coverings used in Poland. Roofing coverings varied as to the composition material (metal sheet, ceramic, cement, asbestos-cement, roofing felt), coating (enamelled, lacquered, matt, clayed, polyester), colour, and shape (corrugated, flat). Samples of asbestos-cement roofing were collected during field visits and others were acquired from distributors of building construction materials.

Similarity matrix with Manhattan distance was calculated on the basis of reflectance rates in each band. Then spectral reflectance curves were grouped with the use of weighted pair-group method using arithmetic averages (WPGMA). Bands with maximum spectral difference of asbestos-cement flat and corrugated roofing from other roof coverings were determined. Due to the small size of the sample statistical tests were not used to confirm the significance of differences in the reflection in each band.

Performed analysis of spectral signatures indicates that there is a possibility of discrimination of ACR from

other roof coverings. The following optimal wavelengths were determined: 350-450 nm, 555-853 nm, 668-790 nm, 911-917 nm, 1000 nm, 1100-1340 nm, 1228-1311 nm, 1669-1725 nm, 1800 nm, 1830-1850 nm, 1925-1935 nm, 2060-2090 nm, 2500 nm, 2500 nm.

Results of the undertaken survey may support the selection of the adequate sensor for ACR discrimination, and classification process through the reduction of the number of bands in order to include bands with significant differences in spectral reflection between ACR and other roof coverings.

Wstęp

Azbest to ogólna nazwa nadana grupie minerałów naturalnie występujących w przyrodzie, stanowiących uwodnione glinokrzemiany żelazowo-magnezowe. Zostały one podzielone na dwie grupy: azbesty serpentynowe i azbesty amfibolowe (Hendry, 1965).

Zastosowania przemysłowe włókien azbestu wykorzystywały kombinację jego właściwości, tj. włóknistej struktury, wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, odporności na wysoką temperaturę i korozję, niską przewodność elektryczną oraz wysoki współczynnik tarcia (Virta, 2002). Na przełomie XIX i XX wieku azbest znalazł szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu m. in. jako: płyty i rury azbestowo-cementowe stosowane w budownictwie, materiały izolacyjne, przędze azbestowe, materiały cierne, okładziny hamulcowe, tkaniny ognioochronne, koce gaśnicze i wiele innych (Wilk i in., 2014). Do produkcji wyrobów azbestowych w Polsce wykorzystywano surowce importowane z terytorium byłego ZSRR, Australii, Kanady, Wielkiej Brytanii oraz Włoch (Siuta, 2001).

Większość wyrobów zawierających azbest wykorzystywaną w budownictwie stanowiły płyty azbestowo-cementowe faliste i płaskie (karo) o zawartości ok. 10-13% azbestu, tzw. eternitowe pokrycia dachowe, a także rury azbestowo-cementowe wykorzystywane w gospodarce wodno-ściekowej (Kuczumow, Nowak, 2013). Początek produkcji wyrobów azbestowych w Polsce datowany jest na 1907 r. i dotyczy Krakowskich Zakładach Eternitu w Krakowie. W roku 1909 rozpoczęto produkcję w Lubelskich Zakładach Eternitu w Lublinie, w latach 30-tych XX w. w Chrzanowskich Zakładach Eternitu w Górcie k. Chrzanowa, w latach 50-tych XX w. w Zawierciańskich Zakładach Eternitu w Ogrodzieńcu, w Zakładach Wyrobów Azbestowo-Cementowych w Szczucinie, w Zakładach Wyrobów Azbestowo-Cementowych w Wierzbicy, w latach 60-tych XX w. w Zakładach Azbestowo-Cementowych w Trzemesznie, a na początku lat 70-tych XX w. w Zakładach Wyrobów Azbestowo-Cementowych w Małkini (Wilk i in., 2014).

Pierwsze wzmianki o szkodliwym wpływie włókien azbestowych na zdrowie człowieka pojawiły się w literaturze medycznej w latach 30-tych XX w., jednak większość publikacji stwierdzających fakt rakotwórczego wpływu azbestu została opublikowana i powszechnie

uznana dopiero w latach 80-tych XX w. (Murray i in., 1990). Wdychanie respirabilnych włókien azbestowych powoduje negatywne skutki zdrowotne i jest przyczyną wielu chorób układu oddechowego w tym: raka płuca, międzybłoniaków opłucnej i otrzewnej, pylicy azbestowej (azbestozy), a także może znacznie zwiększyć ryzyko rozwoju nowotworów krtani, żołądka, okrężnicy i jajników (King i in., 2011; O'Reilly i in., 2007). Według Światowej Organizacji Zdrowia pomimo, wprowadzonego w 2005 r. zakazu stosowania azbestu w Unii Europejskiej, w krajach UE wykrywanych jest od 20 000 do 30 000 przypadków zachorowań na choroby azbestozależne, liczba ta może się zwiększyć, gdyż w wielu krajach zachorowania związane z azbestem nie są prawidłowo kwalifikowane. Według prognoz może ona wzrosnąć do 47.000 rocznie, a do 2030 r. ponad 300.000 obywateli UE prawdopodobnie umrze na międzybłoniaka opłucnej (EESC, 2015). W rezolucji Parlamentu Europejskiego z dnia 14 marca 2013 r. w sprawie azbestozależnych chorób zawodowych i perspektyw całkowitego wyeliminowania wciąż obecnego azbestu, wskazano, iż wszystkie rodzaje azbestu są niebezpieczne, a szkodliwy wpływ wdychanych włókien azbestu objawia się po upływie dziesięcioleci od narażenia na jego ekspozycję.

Na mocy ustawy z dnia 19 czerwca 1997 r. o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest wprowadzono w Polsce zakaz produkcji wyrobów zawierających azbest, a 28 września 1998 r. została zakończona produkcja płyt azbestowo-cementowych. Natomiast zgodnie z ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, azbest podlega sukcesywnej eliminacji, a sposób postępowania z eliminowanymi odpadami i termin ich bezpiecznego wyeliminowania ze środowiska został określony w ustawie z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach. Wykorzystywanie azbestu lub wyrobów zawierających azbest zostało dopuszczone w użytkowanych instalacjach lub urządzeniach nie dłużej niż do dnia 31 grudnia 2032 r. na podstawie rozporządzenia Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 23 października 2003 r. w sprawie wymagań w zakresie wykorzystywania i przemieszczania azbestu oraz wykorzystywania i oczyszczania instalacji lub urządzeń, w których był lub jest wykorzystywany azbest.

W 2002 r. został opracowany i przyjęty przez Radę Ministrów „Program usuwania azbestu i wyrobów zawierających azbest stosowanych na terytorium Polski”.

W 2009 r. uchwałą Rady Ministrów przyjęta została aktualizacja ww. programu pn. „Program Oczyszczania Kraju z Azbestu na lata 2009-2032”. W dokumentach tych określone zostały cele do realizacji w podziale na zadania legislacyjne, edukacyjno-informacyjne, dotyczące ochrony zdrowia oraz usuwania wyrobów zawierających azbest z obiektów budowlanych.

Polska jako jedyny kraj Unii Europejskiej, przyjęła i realizuje krajowy program usuwania azbestu (Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 14 marca 2013 r.). Wśród zadań do realizacji w programie zawarte zostało zadanie mające na celu usprawnienie monitoringu realizacji Programu. Na podstawie danych o imporcie azbestu i produkcji wyrobów zawierających azbest, oszacowano, iż w Polsce wykorzystywanych jest około 14,5 mln Mg wyrobów zawierających azbest. W bazie azbestowej, narzędziu do gromadzenia i przetwarzania informacji uzyskanych z inwentaryzacji wyrobów zawierających azbest, prowadzonej przez Ministerstwo Rozwoju, znajdują się informacje, iż do 2016 r. zostało zinwentaryzowanych ok. 5,5 mln Mg wyrobów azbestowych oraz usunięto prawie 0,5 mln Mg odpadów zawierających azbest (Krówczyńska i in., 2014). Pomimo podejmowanych działań brak jest pełnej informacji o ilości i miejscach wykorzystania wyrobów azbestowych. Z diagnozy stanu przedstawionej w „Programie Oczyszczania Kraju z Azbestu na lata 2009-2032” wynika, iż niedostatecznie zaawansowany jest stopień inwentaryzacji wyrobów azbestowych oraz brak jest pełnej informacji o ilości usuniętych wyrobów zawierających azbest.

Dynamiczny rozwój przemysłu kosmicznego sprawia, iż dane pozyskiwane z poziomu satelitarnego dostarczane są z coraz większą rozdzielczością czasową i spektralną, co sprawia, iż poszukuje się metod, które zautomatyzują proces wydzielania poszczególnych obiektów (Lewiński, 2006). W klasyfikacji przestrzeni miejskiej z wykorzystaniem różnych danych satelitarnych i różnych metod klasyfikacji, wydzielane były wśród różnych typów pokrycia terenu, także pokrycia dachowe (Demarchi i in., 2014; Heiden i in. 2007; Forzieri i in. 2012; Candade, 2004; Pal, Mather, 2003; Sohn, Rabello, 2002; Taha i in., 2014). Osiągnięte dokładności wynosiły od 50 do 90%.

Tereny miejskie charakteryzują się dużym zróżnicowaniem odbicia spektralnego z uwagi na fakt, iż jest to mieszanka różnych materiałów na małej przestrzeni, tj. asfaltu, betonu, roślinności, blachy (Iwaniak i in., 2002). Większość terenów pokrytych jest materiałami nieprzepuszczalnymi, których właściwości spektralne są podobne. Niemniej jednak obraz przestrzeni miejskiej składającej się zarówno z obszarów nieprzepuszczalnych, jak i naturalnych, charakteryzuje duża heterogeniczność obrazu, co sprawia, iż automatyczne klasyfikowanie pokrycia terenu obszarów miejskich nie zawsze daje zadowalające wyniki (Herold i in., 2003; Herold i in., 2004; Demarchi i in., 2014). Największe dokładności klasyfikacji są uzyskiwane dla danych charakteryzujących się zarówno wysoką rozdzielczością przestrzenną, jak i spektralną. Teledetekcja hiperspektralna pozwala

na pozyskanie ciągłych krzywych odbicia spektralnego w zakresie od 350 nm do 2500 nm, umożliwia wychwycenie nawet minimalnych różnic w odbiciu od poszczególnych obiektów i wyróżnienie badanego obiektu na analizowanym zobrazowaniu (Ben-Dor i in., 2001; Mohammed i in., 2005).

Badania teledetekcyjne dotyczące azbestu koncentrują się w większości na rozpoznawaniu pokryć azbestowo-cementowych w odniesieniu do ograniczonego katalogu pokryć dachowych (od jednego do kilku typów). Badania prowadzone są przede wszystkim na hiperspektralnych zdjęciach lotniczych (Fiumi i in., 2012; Fiumi i in., 2014; Frassy i in., 2013; Frassy i in., 2014; Szabó i in., 2012; Krówczyńska i in., 2016). Brakuje szczegółowych analiz krzywych spektralnych pokryć dachowych w celu określenia możliwości wydzielenia pokryć azbestowo-cementowych na zdjęciach hiperspektralnych i wielospektralnych. Jedynie w pracy Bassani i in. (2007) porównywanych jest 14 rodzajów krzywych spektralnych pokryć dachowych i 16 próbek pokryć azbestowo-cementowych w celu określenia możliwości wydzielenia stanu płyt azbestowo-cementowych oraz długości fali, dla której różnice pomiędzy badanymi pokryciami a azbestem chryzotylowym są największe.

Celem niniejszej pracy jest analiza krzywych odbicia spektralnego pokryć dachowych wykorzystywanych w Polsce oraz określenie, czy na podstawie analiz krzywych spektralnych możliwe jest praktyczne zastosowanie danych hiperspektralnych w rozróżnieniu i wydzieleniu powierzchni dachów pokrytych płytami azbestowo-cementowymi od pozostałych pokryć. Prezentowane analizy są wstępnymi wynikami badań, które mają na celu wskazanie, jakie cechy pokryć dachowych mają decydujący wpływ na kształt krzywej odbicia spektralnego oraz wskazanie długości fal, w których różnice odbicia spektralnego pomiędzy płytami azbestowo-cementowymi a badanymi pokryciami dachowymi są największe.

Metodyka

Analizie poddane zostały następujące grupy pokryć dachowych: dachówki cementowe, dachówki ceramiczne, blachy i blachodachówki, papy, płyty azbestowo-cementowe. Najliczniejszą grupę stanowiły blachy i blachodachówki, gdyż są one najpowszechniej stosowanym typem pokryć dachowych w Polsce (Ryc. 1). Nie badano pokryć miedzianych i wykonanych z drewna. Pokrycia były zróżnicowane pod kątem materiału, barwy oraz powłoki zabezpieczającej. W pracy używano wielocłonowych kodów dla pokryć, gdzie pierwsza litera oznacza materiał, drugi człon oznacza barwę, a trzeci człon dotyczy powłoki/zabezpieczenie (Tabela 1).

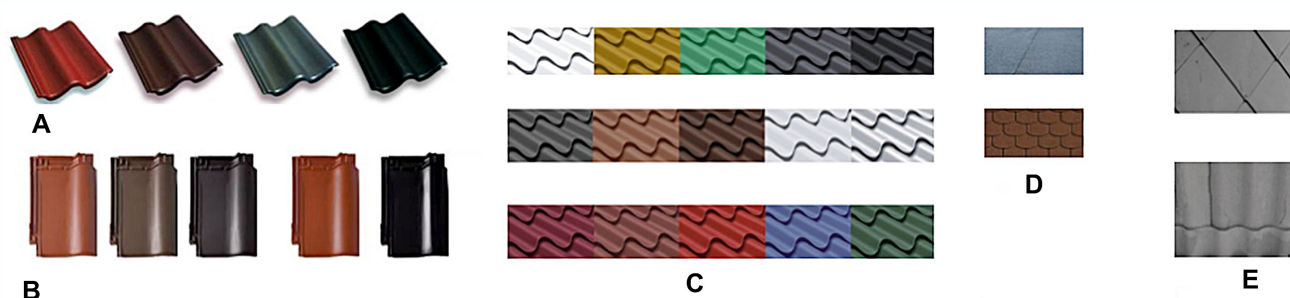
Pomiary wykonywane były za pomocą spektrometru hiperspektralnego ASD FieldSpec 4. Urządzenie było połączone z komputerem, na którym były zapisywane dane w programie ASD Pro View 6.0 do pliku tekstowego (ASCII) oraz docelowo w formacie *.xlsx. Pole pomiaru było na tyle małe, iż kształt pokrycia nie miał wpływu

Tabela 1. Zestawienie badanych typów pokryć z przyjętymi skrótami.

Table 1. Summary of the surveyed types of roof covering with abbreviations used.

Lp. O.n.	Typ pokrycia dachu (Type of the roofing)	Symbol
1	Dachówka cementowa lakierowana grafit (Cement roof tile varnished graphite)	T-Gy-L
2	Dachówka cementowa lakierowana brązowa (Cement roof tile varnished brown)	T-Br-L
3	Dachówka angobowana matowa barwiona czarna (Roof tile engobed matte coloured black)	C-Bk-C
4	Dachówka cementowa lakierowana ceglasta (Cement roof tile varnished brick-red)	T-Re-L
5	Dachówka angobowana miedziana (Roof tile engobed copper)	C-Or-C
6	Dachówka ceramiczna glazurowana czarna (Ceramic roof tile glazed black)	C-Bk-L
7	Dachówka karpiówka angobowana miedziana (Plain tile engobed copper)	C-Or-Cc
8	Dachówka Karpiówka naturalna (Natural plain tile)	C-Re-0c
9	Dachówka angobowana zielona (Roof tile engobed green)	C-Gn-C
10	Dachówka ceramiczna angobowana grafitowa (Ceramic tile engobed graphite)	C-Gy-C
11	Dachówka ceramiczna naturalna (Ceramic tile, natural)	C-Re-0
12	Papa czarna (Roofing paper, black)	B-Gy
13	Papa z lepikiem (Roofing paper with glue)	B-Bk
14	Azbest falisty (Corrugated asbestos-cement sheet)	A-Gyc
15	Blacha Poliester RR35 niebieska błysk (Metal sheet RR35 Polyester, blue flash)	M-BI-Pe
16	Blacha Poliester RR37 zielona błysk (Metal sheet RR35 Polyester, green flash)	M-Gn-Pe
17	Blacha Poliester RR750 brązowa błysk (Metal sheet RR750 Polyester, brown flash)	M-Or-Pe
18	Blacha Poliester RR887 ciemnobrązowa (Metal sheet RR887 Polyester, dark brown flash)	M-Bd-Pe
19	Blacha Pureks RR11 ciemnozielona (Metal sheet RR11 Pureks, dark green)	M-Gd-Px
20	Blacha Pureks RR23 grafitowa (Metal sheet RR23 Pureks, graphite)	M-Gy-Px
21	Blacha Pureks RR29 czerwona (Metal sheet RR29 Pureks, red)	M-Rd-Px
22	Blacha Pureks RR32 brązowa (Metal sheet RR32 Pureks, brown)	M-Br-Px
23	Blacha Pureks RR33 czarna (Metal sheet RR33 Pureks, black)	M-Bk-Px
24	Blacha Pureks RR750 pomarańczowa (Metal sheet RR750 Pureks, orange)	M-Or-Px
25	Blacha Pureks RR 887 brązowa (Metal sheet RR887 Pureks, brown)	M-Bd-Px
26	Blacha Puralmat RR29 zieleń (Metal sheet RR29 Puralmat, green)	M-Gd-Pr
27	Blacha Puralmat RR23 grafitowa (Metal sheet RR23 Puralmat, graphite)	M-Gy-Pr
28	Blacha Puralmat RR28 czerwona (Metal sheet RR28 Puralmat, red)	M-Re-Pr
29	Blacha Puralmat RR32 brązowa (Metal sheet RR32 Puralmat, brown)	M-Gs-Pr
30	Blacha Puralmat RR33 czarna (Metal sheet RR33 Puralmat, black)	M-Bk-Pr
31	Blacha Puralmat RR750 ceglasta (Metal sheet RR750 Puralmat, ochre)	M-Or-Pr
32	Blacha Puralmat RR779 fioletowa (Metal sheet RR779 Puralmat, violet)	M-Bd2-Pr
33	Blacha Puralmat RR798 czerwien (Metal sheet RR798 Puralmat, red)	M-Rd-Pr
34	Blacha Puralmat RR887 gorzka czekolada (Metal sheet RR887 Puralmat, bitter chocolate)	M-Bd-Pr
35	Blacha Puralmat wytłaczany RR22 jasnoszara (Metal sheet RR22 Puralmat, light grey, extruded)	M-Gl-Pr
36	Blacha Puralmat wytłaczany RR23 szara (Metal sheet RR23 Puralmat, grey, extruded)	M-Gs-Pr
37	Blacha Poliester zielony RR11 (Metal sheet RR11 Polyester, green)	M-Gd-Pe
38	Blacha Poliester szary RR23 (Metal sheet RR23 Polyester, grey)	M-Gy-Pe
39	Blacha Poliester RR29 czerwona (Metal sheet RR29 Polyester, red)	M-Rd-Pe
40	Blacha Poliester RR32 brązowa (Metal sheet RR32 Polyester, brown)	M-Gs-Pe
41	Blacha Poliester RR33 czarna (Metal sheet RR33 Polyester, black)	M-Bk-Pe
42	Płyta azbestowo-cementowa płaska (Asbestos cement flat sheet)	A-Gy
43	Dachówka cementowa (Cement roof tile)	T-Gy
44	Blacha Aluzynk, jasnoszara (Metal sheet Aluzynk, light grey)	M-Gl-Az
45	Blacha RAL9007, szara, połysk (Metal sheet RAL9007, grey sheen)	M-Gy-Sh

Lp. O.n.	Typ pokrycia dachu (Type of the roofing)	Symbol
46	Blacha RAL9006, jasnoszara, połysk (Metal sheet RAL9006, light grey sheen)	M-Gl-Sh
47	Blacha RAL8023, miedziana, połysk (Metal sheet RAL9007, ochre sheen)	M-Or-Sh
48	Blacha RAL1002, miodowa, połysk (Metal sheet RAL1002, honey sheen)	M-Hn-Sh
49	Blacha RAL1021, żółta, połysk (Metal sheet RAL1021, light grey sheen)	M-Yl-Sh
50	Blacha RAL6029, zielona, połysk (Metal sheet RAL6029, green, sheen)	M-Gn-Sh
51	Blacha RAL6005, ciemnozielona, połysk (Metal sheet RAL6005, dark green, sheen)	M-Gd-Sh
52	Blacha RAL5010, niebieska, połysk (Metal sheet RAL5010, blue, sheen)	M-Bl-Sh
53	Blacha RAL3016, czerwona, połysk (Metal sheet RAL3016, red, sheen)	M-Rc-Sh
54	Blacha OGOLD, drewno, połysk (Metal sheet OGOLD, wood, sheen)	M-Wo-Sh
55	Blacha CLOUDY ANTICATO, ciemne drewno, połysk (Metal sheet CLOUDY ANTICATO, dark wood, sheen)	M-Wd-Sh
56	Blacha RR028, bordowa, połysk (Metal sheet RR028, burgundy, sheen)	M-Rd-Sh
57	Blacha RR8004, brązowa, połysk (Metal sheet RR8004, brown, sheen)	M-Br-Sh
58	Blacha RAL8016, ciemnobrązowa, połysk (Metal sheet RAL8016, dark brown, sheen)	M-Bd-Sh
59	Blacha RAL8017, ciemnobrązowa, połysk (Metal sheet RR8017, dark brown, sheen)	M-Bd-Sh1
60	Blacha RR032, ciemnobrązowa, połysk (Metal sheet RR032, dark brown, sheen)	M-Bd-Sh2
61	Blacha RAL9005, czarna, połysk (Metal sheet RAL9005, black, sheen)	M-Bk-Sh
62	Blacha RAL7024, grafitowa, połysk (Metal sheet RAL7024, graphite, sheen)	M-Gy-Sh1
63	Blacha RAL7000, jasnoszara, połysk (Metal sheet RAL7000, light grey, sheen)	M-Gl-Sh1
64	Blacha RAL7035, jasnoszara, połysk (Metal sheet RAL7035, light grey, sheen)	M-Gl-Sh2
65	Blacha RAL9002, „brudna biel”, połysk (Metal sheet RAL9002, „dirty white”, sheen)	M-Wb-Sh
66	Blacha RAL9010, biała, połysk (Metal sheet RAL9010, white, sheen)	M-Wh-Sh
67	Blacha RR033, czarna, mat (Metal sheet RR033, black, mat)	M-Bk-Mt
68	Blacha RR023, grafitowa, mat (Metal sheet RR023, graphite, mat)	M-Gy-Mt
69	Blacha RAL8017, ciemnobrązowa, mat (Metal sheet RAL8017, dark brown, mat)	M-Bd-Mt
70	Blacha RR032, ciemnobrązowa, mat (Metal sheet RR032, dark brown, mat)	M-Bd-Mt1
71	Blacha RR750, brązowa, mat (Metal sheet RR750, brown, mat)	M-Br-Mt
72	Blacha RR028, bordowa, mat (Metal sheet RR028, burgundy, mat)	M-Rd-Mt
73	Blacha RR011, ciemnozielona, mat (Metal sheet RR011, dark green, mat)	M-Gd-Mt
74	Blacha RR033, czarna, mat grube ziarno (Metal sheet RR033, black, mat, coarse-grained)	M-Bk-Mt-Gz
75	Blacha RR023, grafitowa, mat grube ziarno (Metal sheet RR023, graphite, mat, coarse-grained)	M-Gy-Mt-Gz
76	Blacha RAL8017, ciemnobrązowa, mat grube ziarno (Metal sheet RAL8017, dark brown, mat, coarse-grained)	M-Bd-Mt-Gz
77	Blacha RR032, ciemnobrązowa, mat grube ziarno (Metal sheet RR032, black, mat, coarse-grained)	M-Bd-Mt-Gz1
78	Blacha RR750, brązowa, mat grube ziarno (Metal sheet RR750, brown, mat, coarse-grained)	M-Br-Mt-Gz
79	Blacha RR028, bordowa, mat grube ziarno (Metal sheet RR028, burgundy, mat, coarse-grained)	M-Rd-Mt-Gz
80	Blacha RR011, ciemnozielona, mat grube ziarno (Metal sheet RR011, dark green, mat, coarse-grained)	M-Gd-Mt-Gz
81	Blacha RR033, czarna, Purmat (Metal sheet RR033 Purmat, black)	M-Bk-Pr-Mt
82	Blacha RR023, grafitowa, Purmat (Metal sheet RR023 Purmat, graphite)	M-Gy-Pr-Mt
83	Blacha RAL8017, ciemnobrązowa, Purmat (Metal sheet RAL8017 Purmat, dark brown)	M-Bd-Pr-Mt
84	Blacha RR750, brązowa, Purmat (Metal sheet RR750 Purmat, brown)	M-Br-Pr-Mt
85	Blacha RR028, bordowa, Purmat (Metal sheet RR028 Purmat, burgundy)	M-Rd-Pr-Mt
86	Blacha RR011, ciemnozielona, Purmat (Metal sheet RR033 Purmat, dark green)	M-Gd-Pr-Mt



Ryc. 1 Przykładowe typy pokryć dachowych. A – Dachówki cementowe; B – Dachówki ceramiczne; C – Blachodachówki; D – Papy; E – Dachówki azbestowo-cementowe.

Fig. 1. Examples of roof coverings. A – Cement roof tiles; B – Ceramic roof tiles; C – Metal tile sheets; D – Tar papers; E – Asbestos-cement roof tiles.

na wielkość odbicia i nie został uwzględniony dalszych badaniach (pomiar wykonywany był z wysokości 10 cm). Światłowod znajdował się w statywie zamocowanym pod kątem 90° , zaś lampy halogenowe, będące imitacją światła słonecznego – pod kątem 135° .

Przed wykonaniem pomiarów dokonano optymalizacji czasu pomiaru, zależnego od liczby fotonów padających na detektor, wykonano kalibrację względem wzorca czerni (Dark Current), dzięki której zminimalizowano wpływ szumów powodowanych przez elektronikę urządzenia, oraz kalibrację względem wzorca bieli, który stanowiła płyta pokryta spektralnym (Kycko i in., 2013).

Zarejestrowane zostało promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie od 350 do 2500 nm. Pomiaru zostały wykonane w 10 seriach po 10 pomiarów dla każdego materiału.

Pomiary obejmowały 86 typów pokryć dachowych, wykonanych z 5 różnych materiałów: cementu, ceramiki, blachy, papy i eternitu (wyrób azbestowo-cementowy). Badania dotyczyły nowych pokryć dachowych, nie uwzględniono wpływu czynników atmosferycznych, które powodują modyfikację barwy, struktury (np. splekania), porośnięcie glonami, mchami i porostami. Łącznie wykonano pomiary dla 2 151 kanałów o długości fali od 350 nm do 2500 nm, których wyniki zaprezentowane zostały w postaci 86 krzywych odbicia spektralnego.

Pierwszym etapem analiz było uporządkowanie i pogrupowanie krzywych. Ze względu na znaczną liczbę obiektów, wykorzystano automatyczne algorytmy aglomeracyjne dostępne w programie statystycznym Statistica 12 (StatSoft, 2006). Na podstawie współczynników odbicia w poszczególnych kanałach obliczona została macierz podobieństwa, gdzie miarą podobieństwa była odległość miejska (Manhattan), gdyż miara ta tłumi wpływ pojedynczych dużych różnic (przypadków odstających). Następnie pogrupowano krzywe odbicia spektralnego metodą średnich połączeń ważonych (WPGMA). Metoda WPGMA może być stosowana, gdy występuje nierówna liczebność grup, co zostało stwierdzone w przypadku grupowania pokryć dachowych, gdzie dominowały blachy i blachodachówki (StatSoft, 2006).

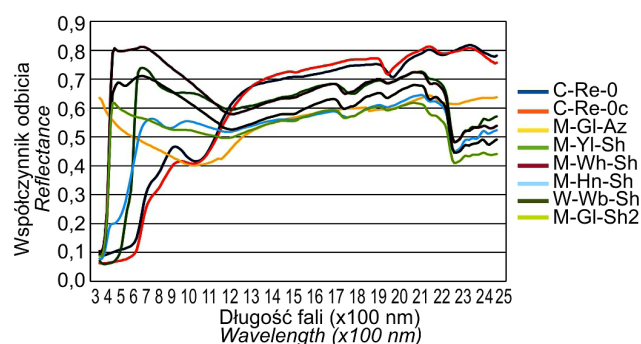
Wyznaczono kanały z maksymalną różnicą odbicia spektralnego płyt azbestowo-cementowych płaskich

i falistych w odniesieniu do pozostałych typów pokryć dachowych. W celu dokonania oceny możliwości rozróżnienia płyt azbestowych od pozostałych pokryć dachowych wskazano zakresy, gdzie wartość odbicia jest większa niż 10% wartości odbicia (0,1) w porównaniu z wartościami odbicia dla pokryć azbestowych oraz opracowano wykresy przedstawiające zakresy spektralne. Różnica ta powinna być wystarczająca do wydzielenia poszczególnych typów pokryć w większości rejestrujących sensorów. W przypadku sensorów o rozdzielczości 8 bitów różnica ta wynosi 25 odcieni szarości, a w przypadku obrazu 11 bitowego – 204 odcieni szarości. Tak duże zróżnicowanie tonalne powinno umożliwić wydzielenie poszczególnych typów pokryć w klasyfikacji. Ze względu na małą liczebność próby nie stosowano testów statystycznych dla potwierdzenia istotności różnic w odbiciu w poszczególnych kanałach.

Analiza krzywych spektralnych

Wydzielonych zostało 7 grup o podobnych wartościach odbicia i kształcie krzywej. W poszczególnych grupach znajdują się krzywe reprezentujące różne materiały, powłoki i kolory. Żadna z tych cech nie jest cechą dominującą.

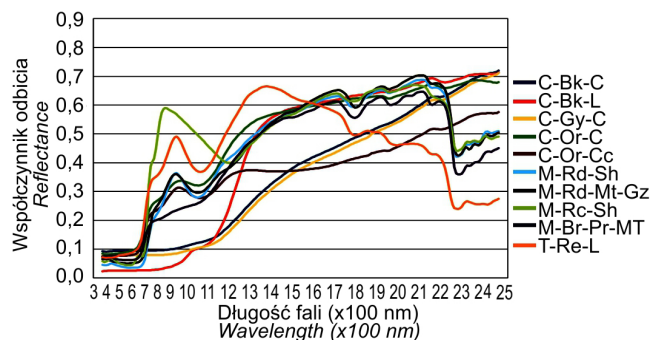
Grupa I – pokrycia ceramiczne w kolorze czerwonym i pokrycia blaszane w kolorach jasnych, z połyskiem o podobnym odbiciu w zakresie podczerwieni od 0,4 do 0,9 i znacznym zróżnicowaniu w zakresie widzialnym (Ryc. 2).



Ryc 2. Grupa I – krzywe spektralne o podobnych cechach.

Fig. 2. Group I – spectral curves with similar features.

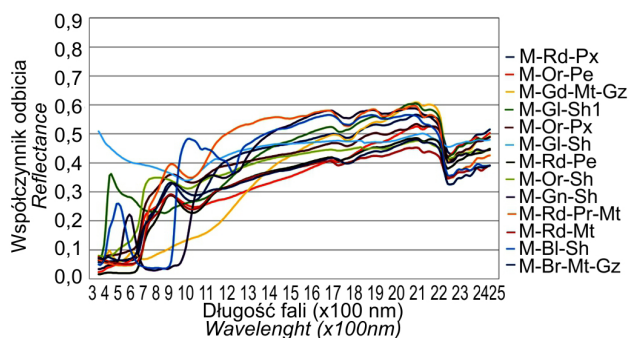
Grupa II – pokrycia ceramiczne, blaszane i cementowe o najwyższych wartościach odbicia w podczerwieni do 0,7. Pokrycia o barwie czerwonej mają piki w zakresie promieniowania czerwonego, dachówki ceramiczne barwione na ciemno mają obniżone odbicie w zakresie widzialnym. Całą grupę stanowią pokrycia w kolorach czerwonych, ceglanym, czarnym i grafitowym z różnymi powłokami zabezpieczającymi od ich braku poprzez glazurowaną, lakierowaną i angobowaną (Ryc. 3).



Ryc. 3. Grupa II – krzywe spektralne o podobnych cechach.

Fig. 3. Group II – spectral curves with similar features.

Grupa III – pokrycia blaszane o barwach: niebieskiej, szarej, zielonej, czerwonej, bordowej i brązowej z matowymi i błyszczącymi powłokami zabezpieczającymi. W tej grupie występują znaczne różnice w wielkości odbicia spektralnego między poszczególnymi typami pokryć w zakresie pomiędzy 350 a 900 nm (Ryc. 4). W zakresie tym występują liczne piki w odbiciu wielu typów pokryć dachowych.

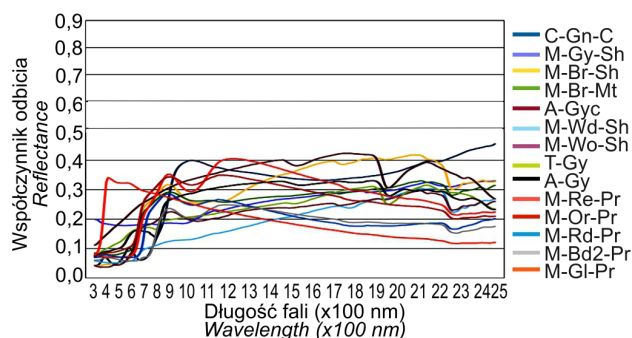


Ryc. 4. Grupa III – krzywe spektralne o podobnych cechach.

Fig. 4. Group III – spectral curves with similar features.

Grupa IV – pokrycia azbestowe, cementowe, blaszane i jedno pokrycie ceramiczne. Pokrycia w tej grupie są w różnych kolorach: zielone, czerwone, brązowe, fioletowe, szare, bordowe i brązowe. Jest to grupa o najbardziej zróżnicowanym kształcie krzywych w całym badanym zakresie z licznymi ekstremami i minimami w wielkości odbicia. Pokrycia cementowe i cementowo-azbestowe posiadają lokalne minimum w granicach 1920-1980 nm (Ryc. 5).

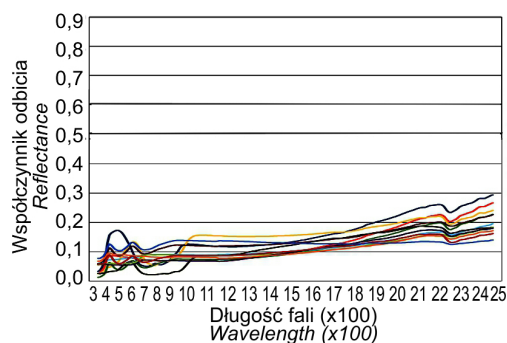
Grupa V – pokrycia blaszane o różnych kolorach i z przewagą powłok poliestrowych i polimerowych.



Ryc. 5. Grupa IV – krzywe spektralne o podobnych cechach.

Fig. 5. Group IV – spectral curves with similar features.

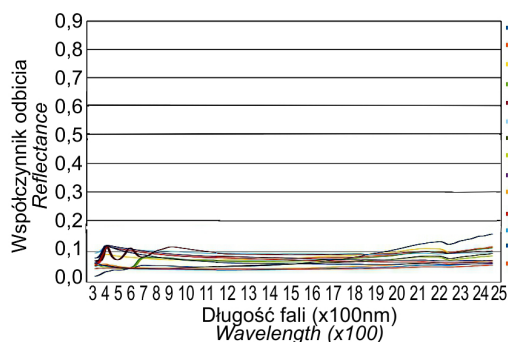
Największe zróżnicowanie w wielkości odbicia spektralnego mieści się w zakresie od 350 nm do 1000 nm, z lokalnym minimum w granicach 2250-2300nm. Odbicie w zakresie od 1000 do 2500 nm jest niskie i wyrównane, poza wspomnianym minimum lokalnym (Ryc. 6).



Ryc. 6. Grupa V – krzywe spektralne o podobnych cechach.

Fig. 6. Group V – spectral curves with similar features.

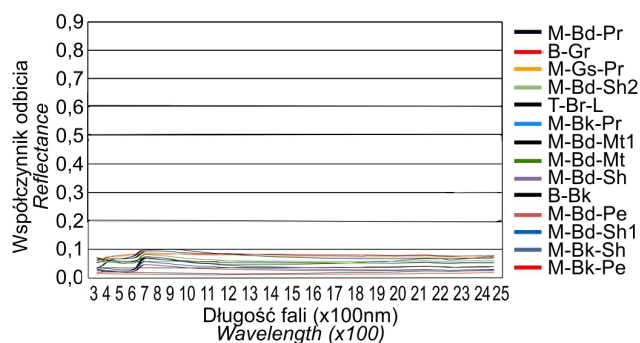
Grupa VI – pokrycia blaszane i pokrycia wykonane z cementu. Grupa ta charakteryzuje się pokryciami o ciemnych barwach i różnymi powłokami. Wielkości odbicia dla wszystkich typów pokryć są niskie od 0,01 do 0,16 i cechuje je znaczna zmienność w zakresach od 350 do 1100 nm oraz od 1800 do 2500 nm (lokalne piki) (Ryc. 7).



Ryc. 7. Grupa VI – krzywe spektralne o podobnych cechach.

Fig. 7. Group VI – spectral curves with similar features.

Grupa VII – pokrycia blaszane i bitumiczne (papy), przeważającym kolorem jest czarny; odbicie w całym badanym zakresie jest bardzo niskie i wyrównane, od 0,02



Ryc. 8. Grupa VII – krzywe spektralne o podobnych cechach.
Fig. 8. Group VII – spectral curves with similar features.

do 0,1 z maksimum lokalnym w zakresie 570-620 nm. Dominującą cechą jest kolor (Ryc. 8).

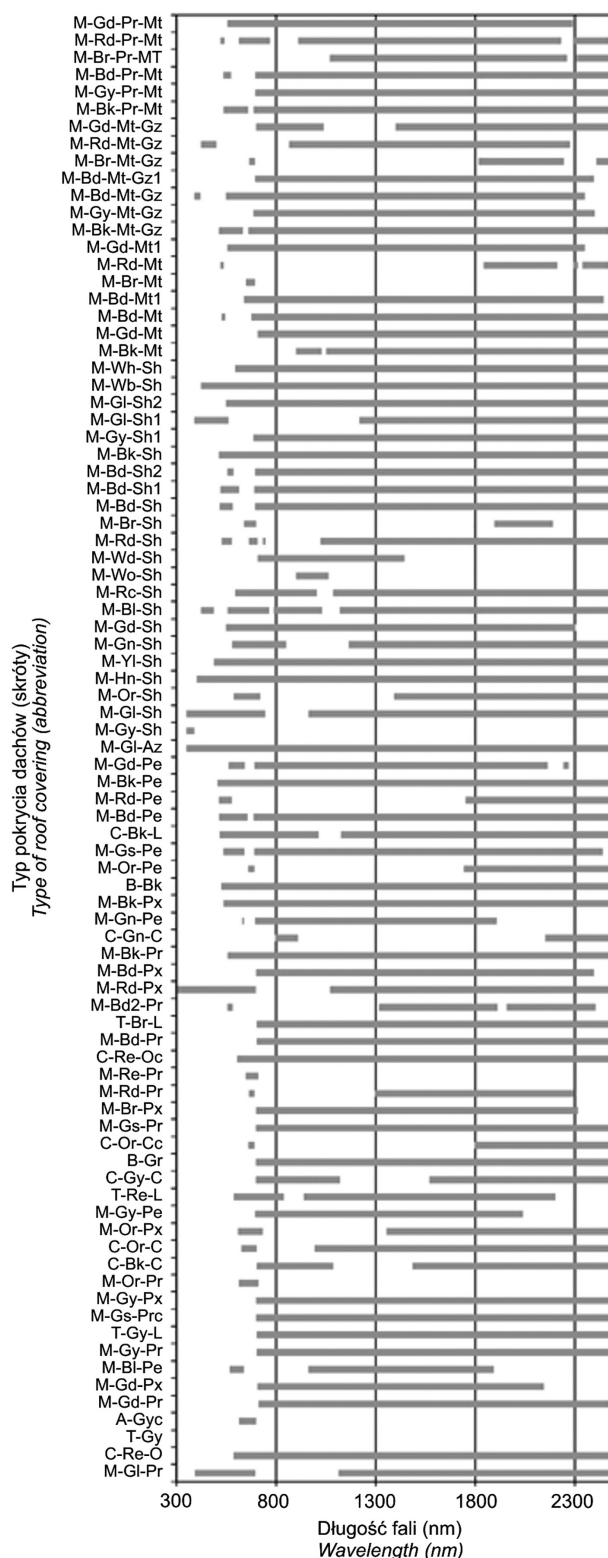
Z przeprowadzonych badań wynika, iż znaczący wpływ na kształt krzywych spektralnych pokryć dachowych mają zarówno barwa, materiał, jak i powłoka zabezpieczająca. Blachodachówki powlekane polimerami mają lokalne minimum w zakresie 2250-2300 nm, a w przypadku poliestru jest to 2267 nm. Pokrycia azbestowo-cementowe i naturalne cementowe, tj. bez powłoki powlekającej i bezbarwne posiadają lokalne minimum w granicach 1920-1980 nm.

Pokrycia azbestowo-cementowe (karo) – różnice w odbiciu spektralnym

Znaczące różnice w odbiciu spektralnym między płytami azbestowo-cementowymi płaskimi a większością blach występują prawie w całym mierzonym zakresie widma elektromagnetycznego (500-2500 nm). Jako znaczną różnicę uznano 10% wielkości odbicia. Dla grupy składającej się z: płyt azbestowo-cementowych falistych (A-Gy-C), blachy poliestrowej brązowej z połyskiem (M-Or-Pe), blachy puralmat czerwonej (M-Re-Pr) i blachy poliuretanowej brązowej (M-Gs-Pr), znaczącą różnicę współczynnika odbicia wynoszącą powyżej 0,1 wielkości odbicia, zanotowano jedynie w zakresie promieniowania widzialnego. Większość pokryć różnicuje się od pokryć azbestowo-cementowych płaskich w zakresie od 1500 do 2500 nm (Ryc. 9). Dla dachówki cementowej różnice w odbiciu są najniższe spośród wszystkich badanych pokryć i w całym zakresie badanego spektrum nie przekraczają 10 % wartości odbicia. Maksymalna różnica odbicia spektralnego blachy białej poliestrowej (M-Wh-Sh) od płyt azbestowo-cementowych falistych wynosi 0,71 dla długości fali 385 nm. Maksymalne różnice w odbiciu występują w zakresach 350-450 nm, 555-853 nm, 1228-1311 nm, 1669-1725 nm, 1800 nm, 1925-1935 nm, 2500 nm (Ryc. 10).

Pokrycia azbestowo-cementowe faliste – różnice w odbiciu spektralnym

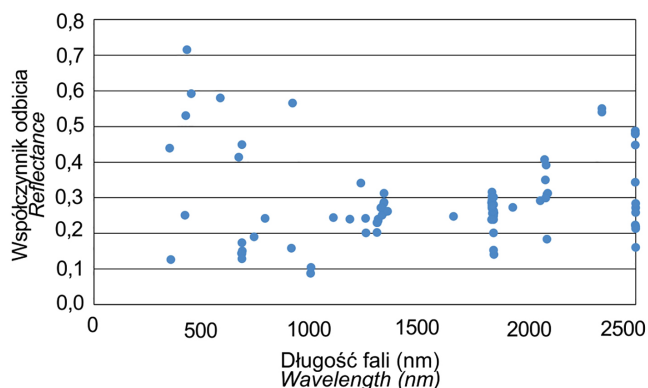
Znaczące różnice w odbiciu spektralnym między płytami azbestowo-cementowymi falistymi a większością



Ryc. 9. Różnice w wielkości odbicia spektralnego większe od 0,1 współczynnika odbicia pomiędzy pokryciem azbestowo-cementowym płaskim a pozostałymi pokryciami.

Fig. 9. Spectral reflectance difference value greater than 0.1 between asbestos-cement flat sheets and the other roof coverings.

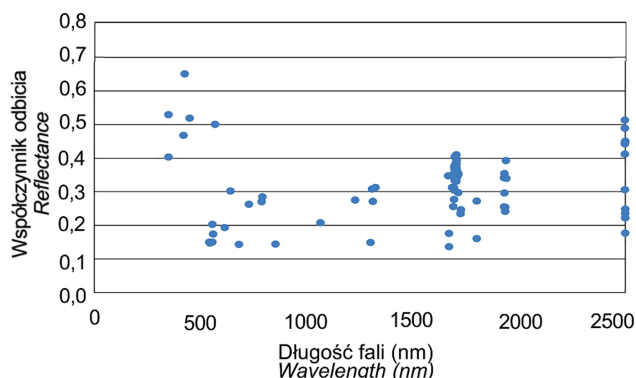
badanych pokryć występują w całym mierzonym zakresie widma elektromagnetycznego (350-2500 nm). Jedynie płyty azbestowo-cementowe płaskie (T-Gy-L) różnicują się o założoną wielkość odbicia tylko w zakresie



Ryc. 10. Zakresy promieniowania z największą różnicą odbicia spektralnego pomiędzy płytami azbestowo-cementowymi płaskimi a badanymi typami pokryć dachowych.

Fig. 10. Maximum spectral reflectance difference between asbestos-cement flat sheets and other roof coverings.

widma czerwonego (Ryc. 11). Maksymalna różnica odbicia spektralnego blachy białej poliestrowej (M-Wh-Sh) od płyt azbestowo-cementowych falistych wynosi 0,65 dla długości fali 425 nm. Maksymalne różnice w odbiciu grupują się w zakresach 350-450 nm, 668-790 nm, 911-917 nm, 1000 nm, 1100-1340 nm, 1830-1850 nm, 2060-2090 nm, 2500 nm (ryc. 12).

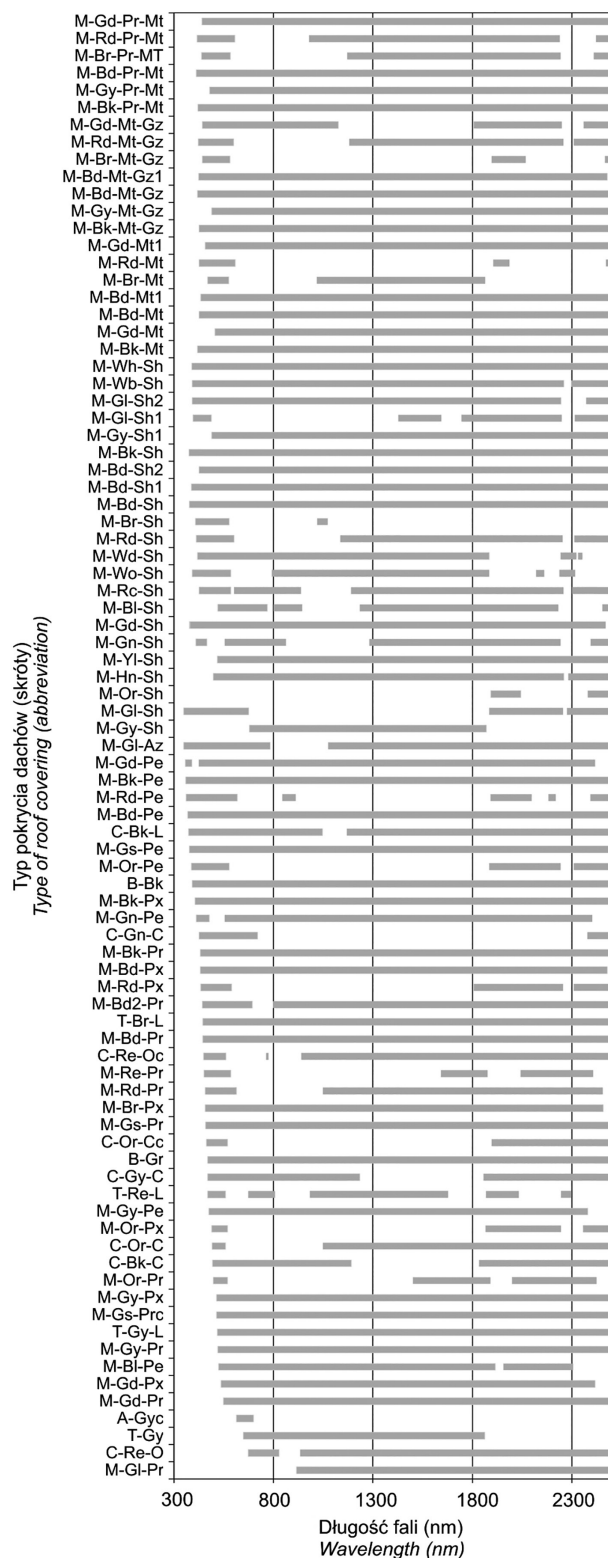


Ryc. 12. Zakresy promieniowania z największą różnicą odbicia spektralnego pomiędzy płytami azbestowo-cementowymi falistymi a badanymi typami pokryć dachowych.

Fig. 12. Maximum spectral reflectance difference between asbestos-cement corrugated sheets and other roof coverings.

Podsumowanie

Pokrycia dachowe charakteryzują się bardzo zróżnicowanymi właściwościami spektralnymi. Największe odbicie związane jest z pokryciami ceramicznymi i blaszanymi. Pokrycia blaszane o najwyższych wartościach odbicia w zakresie widzialnym to pokrycia dachowe o barwie białej i żółtej z połyskiem. Dla nich zanotowano wartości odbicia powyżej 0,7. Dla pokryć ceramicznych najwyższe odbicie zarejestrowano w zakresie bliskiej i średniej podczerwieni i dotyczy pokryć naturalnych w kolorze czerwonym, gdzie wartości odbicia wynosiły powyżej 0,7. Dużą grupę stanowią pokrycia o bardzo niskim odbiciu (0-0,15) w całym zakresie widma, tj. 350-2500 nm, tj. pokrycia bitu-



Ryc. 11. Różnice w wielkości odbicia spektralnego większe 0,1 współczynnika odbicia pomiędzy pokryciem azbestowo-cementowym falistym a pozostałymi pokryciami.

Fig. 11. Spectral reflectance greater than 0.1 between asbestos-cement corrugated sheets, and other roof coverings.

miczne (papa), blachy w ciemnych barwach i cementowe w ciemnych barwach. Wiele z badanych pokryć ma podobny kształt krzywej spektralnej (np. liczna grupa blachodachówek).

Nie ma klucza, według którego można byłoby jednoznacznie określić, która z cech posiada decydujący wpływ na wielkość odbicia spektralnego. W wielu przypadkach barwa ma determinujący wpływ na kształt krzywej spektralnej w zakresie światła widzialnego. Krzywe dwóch pokryć, różniących się barwą, z taką samą powłoką przyjmują podobny kształt w zakresie fal dłuższych. Krzywe o tej samej barwie wykazują zgodność w zakresie widzialnym, natomiast w zakresie fal 800-2500 nm dla pokryć o tej samej barwie, materiale, ale innej powłoce występują duże różnice.

Wiele pokryć różnicuje się w stosunku do pokryć azbestowo-cementowych dla fal dłuższych niż 1300 nm, co wskazuje, iż lepsze rezultaty do automatycznego wydzielenia wyrobów azbestowo-cementowych można uzyskać z wykorzystaniem danych hiperspektralnych. Badania dotyczące klasyfikacji wyrobów azbestowo-cementowych z wykorzystaniem danych hiperspektralnych prowadzili Fiumi i in. (2012, 2014), Frassy i in. (2013, 2014), Szabó i in. (2012), Krówczyńska i in. (2016). Wyniki analiz wskazują na możliwość wydzielenia pokryć azbestowo-cementowych na zdjęciach lotniczych hiperspektralnych MIVIS czy APEX z dokładnością od 50% do ponad 90%, w zależności od wielkości obiektu i zastosowanej metody.

Warto zwrócić uwagę na fakt, iż ponad 25 pokryć dachowych uzyskuje maksymalne różnice odbicia spektralnego z wyrobami azbestowymi w zakresie absorpcji wody, tj. 1750-1950 nm.

Podobny kształt krzywej spektralnej do pokryć azbestowo-cementowych ma dachówka cementowa. Jest to związane z tym, iż w dużej części wykonane są one z tego samego materiału, ponieważ w składzie pokryć azbestowo-cementowych ponad 80% stanowi cement jako materiał wiążący.

Wydzielenie wyrobów azbestowych spośród pozostałych materiałów stosowanych w pokryciach dachowych budynków na podstawie badań laboratoryjnych wydaje się być możliwe do wykonania, co potwierdzają analizy różnicy odbicia spektralnego. Po przeanalizowaniu krzywych odbicia spektralnego poszczególnych pokryć dachowych można wysunąć wniosek, iż nie ma cechy przewodniej typu materiał, kolor czy typ powłoki zabezpieczającej dany materiał jako cechy dominującej, co powinno być brane pod uwagę przy wydzieleniu grup do klasyfikacji i doborze metody klasyfikacji. Warto zwrócić uwagę na fakt, iż cecha przewodnia nie jest istotna dla wielu klasyfikatorów m.in. takich jak SVM czy SNNS.

W związku z tym, iż badania są na etapie pomiarów laboratoryjnych, nie zostały one odniesione bezpośrednio do żadnego konkretnego sensora. Wykonane badania dotyczą również fabrycznie nowych próbek pokryć dachowych (z wyjątkiem eternitu). Pokrycia z biegiem czasu mogą zmieniać swoje właściwości spektralne. Dodatkowo ze względu na fakt, iż dachy na budynkach są zwykle małych rozmiarów, konieczne jest stosowanie danych o dużej rozdzielczości przestrzennej (Krówczyńska in., 2016).

Niniejsza praca miała na celu wskazanie potencjalnych możliwości odróżnienia azbestu od pozostałych pokryć poprzez analizę krzywych spektralnych.

Z uzyskanych wstępnych wyników badań wynika, iż badane pokrycia powinny być możliwe do wydzielenia, nawet pokrycia dachowe wykonane z płyt azbestowo-cementowych falistych od płyt azbestowo-cementowych płaskich. Największy potencjał do dyskryminacji pokryć dachowych istnieje w następujących zakresach fal: 350-450 nm, 555-853 nm 668-790 nm, 911-917 nm, 1000 nm, 1100-1340 nm, 1228-1311 nm, 1669-1725 nm, 1800 nm, 1830-1850 nm, 1925-1935 nm, 2060-2090 nm, 2500 nm.

Wyniki badań zaprezentowane w literaturze potwierdzają możliwości wykorzystania teledetekcji hiperspektralnej jako narzędzia wspomagającego inwentaryzację azbestu oraz monitorowanie usuwania azbestowych pokryć dachowych. Z przeprowadzonych badań wynika, iż istnieje także potencjał w metodach teledetekcyjnych, gdyż pokrycia eternitowe różnicują się spektralnie od innych typów pokryć. Uzyskane informacje mogą wspomóc dobór sensora rejestrującego promieniowanie w zakresach spektralnych pod kątem zakresów optymalnych do dyskryminacji azbestu oraz w procesie klasyfikacji poprzez redukcję liczby kanałów z uwzględnieniem kanałów z istotnymi różnicami w odbiciu spektralnym pomiędzy pokryciami azbestowo-cementowymi i pozostałymi pokryciami dachowymi.

Literatura

- 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, T. 109, Nr. 3, s. 361-378.
- BEN-DOR E., LEVIN N., SAARONI H., 2001. *A spectral based recognition of the urban environment using the visible and near-infrared spectral region (0.4-1.1 μm). A case study over Tel-Aviv*. International Journal of Remote Sensing, Nr 22(11), s. 2193-2218.
- CANDADE N., 2004. *Multispectral classification of Landsat images: a comparison of support vector machine and neural network classifiers*. ASPRS Annual Conference Proceedings, Denver, Colorado.
- DEMARCHI L., CANTERS F., CARIOU C., LICCIARDI G., CHEUNG-WAI CHAN J., 2014. *Assessing the performance of two unsupervised dimensionality reduction techniques on hyperspectral APEX data for high resolution urban land-cover mapping*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Nr 87, s. 166-179.
- FIUMI L., CAMPOPIANO A., CASCIARDI S., RAMIRES D., 2012. *Method validation for the identification of asbestos-cement roofing*. Applied Geomatics, Nr 5, s. 55-64.
- FIUMI L., CONGEDO L., MEONI C., 2014. *Developing expeditious methodology for mapping asbestos-cement roof coverings over the territory of Lazio Region*. Applied Geomatics, Nr 6, s. 37-48.
- FORZIERI G., MOSER G., CATANI F., 2012. *Assessment of hyperspectral MIVIS sensor capability for heterogeneous landscape classification*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Nr 74, s. 175-184.
- FRASSY F., CANDIANI G., RUSMINI M., MAIANTI P., MARCHESI A., NODARI F.R., VIA G.D., ALBONICO C., GIANINETTO M., 2014. *Mapping Asbestos-Cement Roofing with Hyperspectral Remote Sensing over a Large Mountain*

- Region of the Italian Western Alps. Sensors, T. 14, Nr 9, s. 15900-15913.
- FRASSY F., DALLA VIA G., MAIANTI P., MARCHESI A., ROTA NODARI F., GIANINETTO M., 2013. *Minimum noise fraction transform for improving the classification of airborne hyperspectral data: Two case studies*. W: Proceedings of the 5th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing, Gainesville, FL, USA, s. 1-4.
- HEIDEN U., SEGL K., ROESSNER S., KAUFMANN H., 2007. *Determination of robust spectra features for identification of urban surface materials in hyperspectral remote sensing data*. Remote Sensing of Environment, Nr 111, s. 537-552.
- HENDRY N., 1965. *The Geology, Occurrences, and Major Uses of Asbestos*. Annals of the New York Academy of Sciences, Nr 132, s. 12-21.
- HEROLD M., GARDNER M., ROBERTS D., 2003. *Spectral resolution requirements for mapping urban areas*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Nr 41, s. 1907-1919.
- HEROLD M., ROBERTS D.A., GARDNER M.E., DENNISON P.E., 2004. *Spectrometry for urban area remote sensing – Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm*. Remote Sensing of Environment, Nr 91, s. 304-319.
- IWANIAK A., KRÓWCZYŃSKA M., PALUSZYŃSKI W., 2002. *Użycie sieci neuronowych do klasyfikacji obszarów miejskich na zdjęciach satelitarnych*. Acta Scientiarum Polonorum – Geodesia et Descriptio Terrarum, T. 1, Z. 1-2, s. 5-13.
- KING C., MAYES D., DORSEY D.A., 2011. *Benign asbestos-related pleural disease*. Dis. Mon., Nr 57, s. 27-39.
- KRÓWCZYŃSKA M., WILK E., PABJANEK P., ZAGAJEWSKI B., 2016. *Mapping asbestos-cement roofing with the use of APEX hyperspectral airborne imagery: Karpacz area, Poland*. Miscellanea Geographica – Regional Studies on Development, Nr 20, Z. 1, s. 41-46.
- KRÓWCZYŃSKA M., WILK E., ZAGAJEWSKI B., 2014. *The Electronic Spatial Information System – tools for the monitoring of asbestos in Poland*, Miscellanea Geographica – Regional Studies on Development, Nr 18, z. 2, s. 59-64.
- KUCZUMOW A., NOWAK J., 2013. *Azbest – właściwości, utylizacja. Zintegrowany system zarządzania unieszkodliwianiem azbestu w ujęciu systemowym*. Wydawnictwo „Dom Organizatora”, Toruń, ss. 123.
- KYCKO M., ZAGAJEWSKI B., PODBIELSKA K., BIŃKOWSKA A., 2013. *Wpływ geometrii źródło-promieniowania-roślina-detektor na wartość teledetekcyjnych wskaźników roślinności*. Teledetekcja Środowiska, Nr 49, s. 15-26.
- LEWIŃSKI S., 2006. *Rozpoznanie form pokrycia i użytkowania ziemi na zdjęciu satelitarnym LANDSAT ETM+ metodą klasyfikacji obiektowej*. Rocznik Geomatyki, T. IV, Z. 3, s. 140-150.
- MOHAMMED A., DORIGO W., HABERMEYER M., MUELLER A., SCHNEIDER T., 2005. *Characterization of Landcover Types by Classification and Parameter Retrieval using Hymap Imagery*. W: Proceedings of the 4th EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, s. 293-306.
- MURRAY R., 1990. *Asbestos: a chronology of its origins and health effects*. British Journal of Industrial Medicine, Nr 47, s. 361-365.
- O'REILLY K., MCLAUGHLIN A.M., BECKETT W.S., SIME P.J., 2007. *Asbestos-related lung disease*. Am. Fam. Physician, Nr 75(5), s. 683-688.
- PAL M., MATHER P.M., 2003. *Support Vector classifiers for Land Cover Classification*. W: Map India 2003 Image Processing & Interpretation.
- Program Oczyszczania Kraju z Azbestu na lata 2009-2032, uchwała Nr 39/2010 Rady Ministrów z dnia 15 marca 2010 r., dostępny: <http://www.mg.gov.pl/files/upload/8380/POKA.pdf>.
- Program usuwania azbestu i wyrobów zawierających azbest stosowanych na terytorium Polski, uchwała Rady Ministrów z 14 maja 2002 r., dostępny: https://www.mr.gov.pl/media/15234/Program_2002.pdf.
- Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 14 marca 2013 r. w sprawie azbestozależnych chorób zawodowych i perspektyw całkowitego wyeliminowania wciąż obecnego azbestu (2012/2065(INI)), P7_TA(2013)0093, <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A7-2013-0025+0+DOC+XML+V0//PL>
- SIUTA J., 2001. *Nie tylko w Szczucinie*. Ekoprofit, nr 2, s. 6-10.
- SOHN Y., REBELLO N.S., 2002. *Supervised and Unsupervised Spectral Angle Classifiers*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, T. 68, Nr 12, s. 1271-1280.
- SZABÓ S., BURAI P., KOVÁCS Z., SZABÓ G., KERÉNYI A., FAZEKAS I., PALÁDI M., BUDAY T. SZABÓ G., 2014. *Testing algorithms for the identification of asbestos roofing based on hyperspectral data*. Environmental Engineering and Management Journal, T. 143, Nr. 11, s. 2875-2880.
- STATSOFT, 2006. *Elektroniczny Podręcznik Statystyki (pl)*. Kraków, <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html>.
- TAHA L.G.E., SHAHIN A.A.A., 2014. *Improvement of SAM Land Cover Classification of Airborne Hyperspectral Data Using Expert System*. Open Journal Of Remote Sensing And Positioning, T. 1, Nr 1, s. 1-14.
- THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE (EESC) AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS (CoR), 2015. *Freeing Europe safely from asbestos*. 24 Jun 2015, Bruksela. dostępne: <http://www.eesc.europa.eu/?i=portal.en.events-and-activities-europe-asbestos-free>.
- Ustawa z dnia 19 czerwca 1997 r. o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest, Dz.U. z 2004 r. Nr 3, poz. 20, z późn. zm.
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz. U. z 2001 r., nr 62 poz. 627, z późn. zm.
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach, Dz. U. z 2001 r., nr 62 poz. 628, z późn. zm.
- VIRTA R., 2002. *Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses*. Open-File Report 02-149, dostępne: pubs.usgs.gov/of/2002/of02-149/.
- WILK E., KRÓWCZYŃSKA M., ZAGAJEWSKI B., 2014. *Asbestos manufacturing plants in Poland*, Miscellanea Geographica – Regional Studies on Development, Nr 18, Z. 2, s. 53-58.
- VIRTA R., 2002. *Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses*. Open-File Report 02-149, dostępne: pubs.usgs.gov/of/2002/of02-149/.
- WILK E., KRÓWCZYŃSKA M., ZAGAJEWSKI B., 2014. *Asbestos manufacturing plants in Poland*, Miscellanea Geographica – Regional Studies on Development, Nr 18, Z. 2, s. 53-58.



Dr Małgorzata KRÓWCZYŃSKA – adiunkt w Zakładzie Geoinformatyki, Kartografii i Teledetekcji Wydziału Geografii i i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Zajmuje się zastosowaniem teledetekcji i systemów informacji geograficznej do monitorowania procesu usuwania wyrobów azbestowych w Polsce, analizą użytkowania i pokrycia terenu, klasyfikacją przestrzeni miejskiej i analizą pokryć dachowych. E-mail: mkrowczynska@uw.edu.pl

Dr. KRÓWCZYŃSKA Małgorzata – Assistant Professor in the Department of Geoinformatics, Cartography and Remote Sensing, of the Faculty of Geography and Regional Studies at University of Warsaw. She is dealing with applying the remote sensing and geographic information systems make monitoring the process of clearing of asbestos products in Poland, analyzes use and land cover classification and analysis of the City and with analysis of roofings. E-mail: mkrowczynska@uw.edu.pl



Mgr Ewa WILK – ukończyła Akademię Ekonomiczną im. Karola Adamieckiego w Katowicach obecnie doktorantka w Zakładzie Geoinformatyki, Kartografii i Teledetekcji Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Zajmuje się analizą statystyczną, szacowaniem ilości wyrobów azbestowych, finansowaniem bezpiecznego eliminowania wyrobów azbestowych ze środowiska, gospodarką niskoemisyjną i oceną oddziaływania na środowisko. E-mail: ewa.wilk@student.uw.edu.pl

M.Sc. WILK Ewa – graduated from the Karol Adamicki University of Economics in Katowice. She is currently a PhD candidate in the Department of Geoinformatics, Cartography and Remote Sensing, of the Faculty of Geography and Regional Studies at University of Warsaw. She is dealing with statistical analysis, estimating the amount of asbestos products, financing of the safe elimination of asbestos from the environment, low-carbon economy and environmental impact assessment. E-mail: ewa.wilk@student.uw.edu.pl



Dr Piotr PABJANEK – adiunkt w Zakładzie Geoinformatyki, Kartografii i Teledetekcji Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Zajmuje się wykorzystaniem Systemów Informacji Geograficznej i teledetekcji w badaniach środowiska. E-mail: p.pabjanek@uw.edu.pl

Dr. PABJANEK Piotr – Assistant Professor in the Department of Geoinformatics, Cartography and Remote Sensing of the Faculty of Geography and Regional Studies at University of Warsaw. He is dealing with using information systems and remote sensing in environmental studies. E-mail: p.pabjanek@uw.edu.pl



Dr hab. Gabriela OLĘDZKA – Kierownik Zakładu Biologii Medycznej, Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego. W ramach prowadzonych projektów, zajmuje się wpływem czynników biotycznych i abiotycznych na ludzkie zdrowie. E-mail: gabriela.oledzka@wum.edu.pl

Dr professor. OLĘDZKA Gabriela – Head of the Department of Medical Biology, Medical University of Warsaw. As part of the project deals with the influence of biotic and abiotic factors on human health. E-mail: gabriela.oledzka@wum.edu.pl



Mgr Ewelina ROGULSKA – absolwentka Międzywydziałowych Studiów Ochrony Środowiska Uniwersytetu Warszawskiego. Interesuje się zastosowaniem teledetekcji w badaniach pokryć dachowych.

M. Sc. ROGULSKA Ewelina – a graduate of the Inter-Faculty Studies in Environmental Protection (MSOŚ) University of Warsaw. She is interested in applying the remote sensing in the study of roofing.