

UNIWERSYTET WARSZAWSKI

Wydział Geografii i Studiów Regionalnych

Ewa Wilk

**Modelowanie przestrzennego rozmieszczenia
wyrobów azbestowych w Polsce
i oszacowanie kosztów ich usunięcia**

AUTOREFERAT

Rozprawa doktorska
przygotowana pod kierunkiem:
dr. hab. Bogdana Zagajewskiego
dr Małgorzaty Krówczyńskiej
Zakład Geoinformatyki, Kartografii i Teledetekcji

Warszawa 2017

1. Wstęp

Azbest to uwodnione glinokrzemiany żelazowo-magnezowe; pod względem mineralogicznym wyróżnia się azbesty: chryzotyłowe oraz amfibolowe (Hendry 1965). Azbesty chryzotyłowe charakteryzuje wysoka sprężystość, stosunkowo krótkie włókna, podatne na tkanie, odporność na wysoką temperaturę i ścieranie, a także niska przewodność cieplna i elektryczna (Thompson, Mason 2002; Virta 2002), natomiast azbesty amfibolowe są odporne na działanie kwasów i zasad (Lowers, Meeker 2002). Ze względu na swoje unikalne właściwości azbest znalazł szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu i gospodarki (Virta 2006). Głównym odbiorcą azbestu był przemysł budowlany, wytwarzający produkty azbestowo-cementowe. Stanowią one ponad 80% obecnie użytkowanych wyrobów, w przeważającej mierze pokryć dachowych i okładzin elewacyjnych (Collegium Ramazzini 2010). Ze względu na chorobotwórcze działanie azbestu, w 1997 r. w Polsce wprowadzono zakaz produkcji wyrobów zawierających azbest¹, a ich bezpieczne użytkowanie dopuszczono do końca 2032 r.²

Dotychczas nie podjęto próby oszacowania ilości użytkowanych wyrobów azbestowych w danym kraju, a opracowywane modele statystyczne są wykorzystywane do określania ryzyka zachorowania na choroby azbestozależne, np. międzybłoniaka opłucnej (Peto i in. 1995) czy raka płuc (Nelson, Kelsey 2002) na podstawie ilości azbestu zużytego w produkcji w przeliczeniu na liczbę mieszkańców kraju.

Wobec braku kompletnych danych o ilości wyrobów azbestowo-cementowych użytkowanych w Polsce, w ramach pracy podjęte zostały badania nad przestrzennym modelowaniem ilości wykorzystywanych wyrobów tego rodzaju. Mając na uwadze fakt, że prowadzenie badań terenowych jest procesem kosztownym i pracochłonnym, a modele statystyczne mogą stanowić wsparcie w szacowaniu ilości wyrobów azbestowo-cementowych, wykorzystano nadzorowaną metodę uczenia maszynowego (lasów losowych – *Random Forest*, Breiman 2001), skutecznie stosowaną w innych dyscyplinach naukowych. Na podstawie wyników prac terenowych w 160 gminach w Polsce, hipotezą badawczą było stwierdzenie, że dostępne informacje społeczno-ekonomiczne, uwarunkowania historyczne zabudowy i miejsc produkcji wyrobów azbestowo-cementowych w Polsce oraz mapy pokrycia terenu w odniesieniu do powierzchni zajętej przez zabudowę pozwalają na oszacowanie ilości wykorzystywanych wyrobów azbestowo-cementowych w gminach, a następnie na tej podstawie na szacunki kosztów ich eliminacji ze środowiska. Wstępne wyniki badań z wykorzystaniem danych o powierzchni zabudowanej z projektów Corine

¹ Na mocy ustawy z dnia 19 czerwca 1997 r. o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest, Dz.U. 1997, Nr 101, poz. 628, z późn. zm.

² Na podstawie rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 13 grudnia 2010 r. w sprawie wymagań w zakresie wykorzystywania wyrobów zawierających azbest oraz wykorzystywania i oczyszczania instalacji lub urządzeń, w których były lub są wykorzystywane wyroby zawierające azbest, Dz.U. z 2011 r., nr 8, poz. 31.

Land Cover i Soil Sealing Layer wykazały, że im większa rozdzielczość przestrzenna danych o pokryciu terenu, tym lepsze dopasowanie opracowanego modelu (Wilk i in. 2017).

2. Obszar i obiekt badań

Badania objęły terytorium całej Polski, tj. 2478 gmin³, z których 303 to gminy miejskie, 621 to gminy miejsko-wiejskie, a 1555 to gminy wiejskie. Miasta, tj. 303 gmin miejskich i 616 miast w granicach gmin miejsko-wiejskich, zajmują powierzchnię 2 181 275 ha, co stanowi 7% całkowitej powierzchni kraju. Tereny wiejskie obejmują 2175 jednostek o łącznej powierzchni 29 086 692 ha, stanowiących 93% obszaru Polski (GUS, 2016). Ponad 49% ludności Polski zamieszkuje w gminach miejskich, 28% w gminach wiejskich, a pozostałe 23% w miejsko-wiejskich. W gminach miejskich, miejsko-wiejskich oraz wiejskich występują różnice pod względem rodzaju zabudowy, gęstości zaludnienia oraz wielkości obszarów zabudowanych, co ma zarówno podłoże historyczne (Plit 2015), jak i jest wynikiem obowiązujących w przeszłości systemów gospodarowania. Istotny wpływ na krajobraz kulturowy, strukturę i sposób użytkowania terenu w Polsce miały uwarunkowania historyczne, w tym przynależność obecnych terytoriów gmin do trzech zaborów.

Przedmiotem badań w niniejszej pracy są wybrane wyroby azbestowo-cementowe, tj. pokrycia dachowe i okładziny elewacyjne, wykonane z płyt azbestowo-cementowych falistych i płaskich. Rodzaj zabudowy i wielkość powierzchni zabudowanej w każdej gminie ma istotny wpływ na szacowanie ilości wyrobów azbestowo-cementowych, dlatego w trakcie podjętych badań pozyskano Bazę Danych Obiektów Topograficznych i wyekstrahowano z niej dane o powierzchni zabudowanej, uzupełniając zestawy danych odpowiednio z warstw BDOT10k: pokrycie terenu oraz budynki, budowle i urządzenia.

3. Metodyka badań

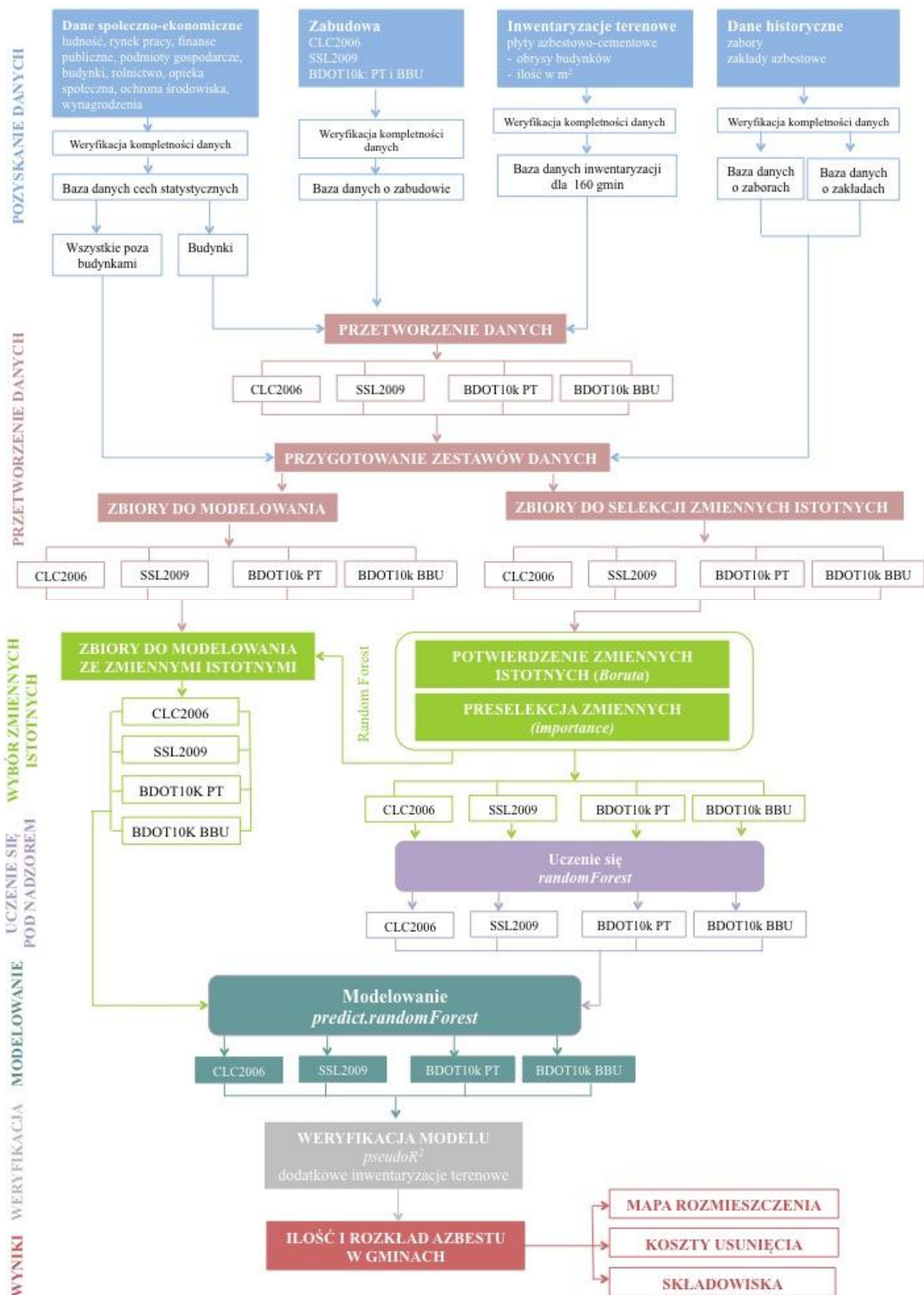
Postępowanie badawcze, mające na celu modelowanie i oszacowanie ilości wykorzystywanych wyrobów azbestowo-cementowych zostało przeprowadzone w siedmiu głównych etapach, tj. pozyskanie i przetworzenie danych, wybór zmiennych istotnych, uczenie pod nadzorem, modelowanie przestrzennego rozmieszczenia wyrobów azbestowych, weryfikacja uzyskanych wyników i analiza otrzymanych wyników modelowania (ryc. 1).

3.1. Pozyskanie danych

Pierwszym etapem badań było zgromadzenie i uporządkowanie następujących danych:

- a) terenowych, dotyczących wykorzystywania wyrobów azbestowo-cementowych, które zostały zebrane w trakcie spisów z natury w 160 gminach w całej Polsce;

³ Zgodnie z ustawą z dnia 24 lipca 1998 r. o wprowadzeniu zasadniczego trójstopniowego podziału terytorialnego państwa, jednostkami podziału terytorialnego państwa są: województwa, powiaty i gminy, Dz.U. z 1998 r., nr 96 poz. 603, z późn. zm.



Ryc. 1. Schemat badań

- b) o sytuacji społeczno-ekonomicznej gmin z Banku Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego, tj. ludność, rynek pracy, finanse publiczne, podmioty gospodarcze, budynki, rolnictwo, opieka społeczna, stan i ochrona środowiska oraz wynagrodzenia i świadczenia społeczne; łącznie dla każdej gminy zebrano, przeanalizowano i uporządkowano 192 zmienne objaśniające;
- c) o powierzchni zabudowy pozyskanych z baz danych o różnej rozdzielczości przestrzennej, od najbardziej zgeneralizowanej (Corine Land Cover 2006; CLC2006), poprzez bardziej szczegółowe (Soil Sealing Layer 2009, SSL2009 i Baza Danych Obiektów Topograficznych kategoria klas obiektów „pokrycie terenu” i klasy obiektów „zabudowa”; BDOT10k PT) do pojedynczego budynku (Baza Danych Obiektów Topograficznych kategoria klas obiektów „budynki, budowle i urządzenia” i klasy obiektów „budynki”; BDOT10k BBU);
- d) o uwarunkowaniach historycznych pozyskane z projektu Mosaic⁴;
- e) o zakładach stosujących azbest w produkcji oraz składowiskach, przyjmujących odpady zawierające azbest, w wyniku badań ankietowych, wywiadów bezpośrednich i wizyt na miejscu.

3.2. Przetworzenie danych

Badania były prowadzone w środowisku R (R Core Team 2014). Opracowana baza danych cech statystycznych została podzielona na dwie grupy: budynki i pozostałe cechy. Cechy dotyczące budynków zostały przeliczone względem powierzchni zabudowy, zebranej w bazie danych o zabudowie. Analogicznej procedurze podlegały dane z inwentaryzacji terenowych, tj. zostały przeliczone względem powierzchni zabudowy. Pozostałe cechy nie podlegały odrębnym przetworzeniom. W wyniku zastosowania procedury uzyskano cztery odrębne zestawy danych, tj. CLC2006, SSL2009, BDOT10k PT i BDOT10k BBU, obejmujące:

- a) zbiory do modelowania (2478 gmin), zawierające dane o sytuacji społeczno-ekonomicznej, uwarunkowaniach historycznych, powierzchni zabudowanej i zakładach azbestowych;
- b) zbiory do selekcji zmiennych istotnych (160 gmin) z wynikami inwentaryzacji terenowych.

W wyniku wykonanych obliczeń uzyskano zbiór 41 zmiennych objaśniających, który został wykorzystany w dalszych badaniach i obejmował zmienne z następujących grup: społeczno-ekonomiczne (ludność, budynki, finanse publiczne, rolnictwo, rynek pracy), uwarunkowania historyczne zabudowy i miejsc produkcji wyrobów azbestowo-cementowych w Polsce oraz dane o zabudowie z map pokrycia terenu.

⁴ Projekt Mosaic realizowany przez Towarzystwo Maxa Plancka i dotyczący podziału administracyjnego Niemiec dla 1910 r. i 1930 r. (MPIDR and CGG 2011) oraz Austro-Węgier dla 1910 r. (MPIDR and CGG 2012).

3.3. Wybór zmiennych istotnych

Wybór zmiennych istotnych został przeprowadzony metodą lasów losowych, będącą zaawansowaną metodą uczenia nadzorowanego. Wykorzystano zbiór narzędzi zawartych w pakiecie *randomForest* (Liaw 2015). Zmienne istotne były wybierane odrębnie dla każdego z 4 zbiorów uczących się pod nadzorem. Każdy zbiór uczący składał się ze 160 wierszy, odpowiadających gminom, w których prowadzone były badania terenowe oraz z 42 kolumn, tj. zmiennej objaśnianej, czyli ilości zinwentaryzowanych wyrobów azbestowo-cementowych w 160 gminach (wyrażonych w m² na 1 ha zabudowy) i 41 zmiennych objaśniających. Do określenia istotności zmiennych wykorzystano funkcję *importance*. Uzyskane wyniki zostały zweryfikowane i potwierdzone za pomocą algorytmu *Boruta* (Kursa, Rudnicki 2010).

3.4. Uczenie pod nadzorem

Proces uczenia się pod nadzorem został przeprowadzony dla każdego zbioru uczącego się oddzielnie (CLC2006, SSL2009, BDOT10k PT i BDOT10k BBU). Zastosowano funkcję *randomForest* (Liaw, Wiener 2002), wykorzystującą teorię lasów losowych Breimana (2001). Próba ucząca się została podzielona na 2 części, z których jedna (2/3) została wykorzystana do określania zależności i predykcji zmiennej objaśnianej na podstawie zestawu zmiennych objaśniających, a druga (1/3) stanowiła podstawę do określenia miary jakości dopasowania modelu.

3.5. Modelowanie

Wyniki zbiorów uczących się pod nadzorem zostały następnie wykorzystane do modelowania ilości wyrobów azbestowo-cementowych w uprzednio opracowanych zbiorach danych do modelowania dla 2478 gmin. Predykcja ilości wykorzystywanych wyrobów azbestowo-cementowych w poszczególnych gminach w Polsce została wykonana w pakiecie *randomForest* z wykorzystaniem funkcji *predict*, umożliwiającej określenie wartości zmiennej objaśnianej na podstawie obserwacji należących do zbioru uczącego się (Liaw 2015) w poszczególnych gminach, tj. odpowiednio CLC2006, SSL2009 i BDOT10k PT oraz BDOT10k BBU.

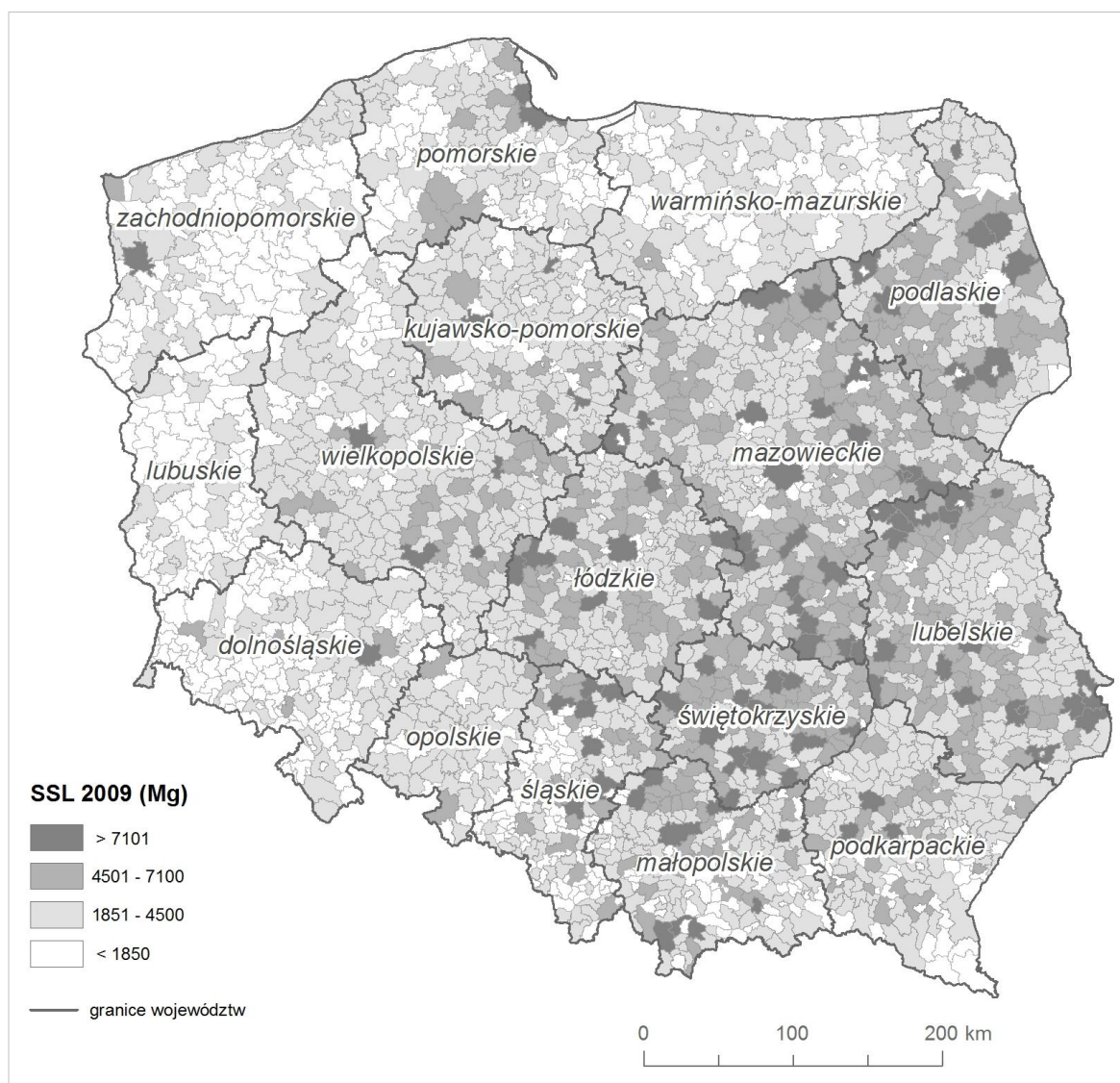
3.6. Weryfikacja

Miarę jakości i dopasowania opracowanego modelu stanowi parametr *pseudo-R²* (Liaw, Wiener 2002). Dodatkowa weryfikacja wyników uzyskanych dla opracowanego modelu została wykonana na podstawie wyników badań terenowych przeprowadzonych w 2016 r. w 17 gminach. Zostały one odniesione do wyników predykcji, uzyskanych dla modelu o najwyższej wartości parametru *pseudo-R²* (tj. SSL2009), który podlegał dalszym badaniom i analizom jako najlepiej obrazujący wykorzystanie wyrobów azbestowo-cementowych w gminach w Polsce.

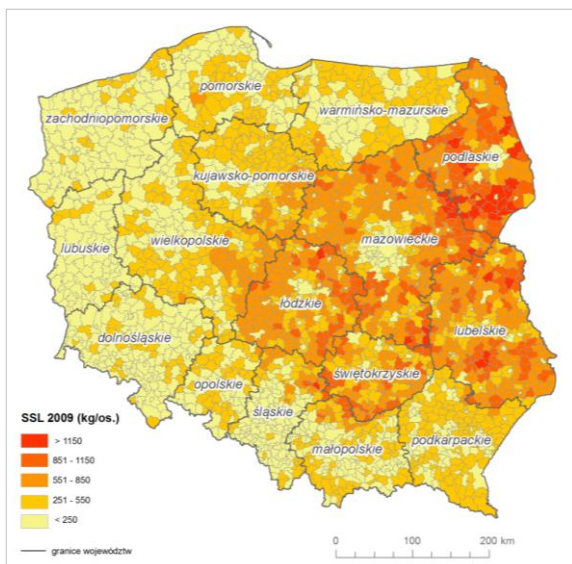
4. Uzyskane wyniki

Przestrzenne modelowanie ilości wyrobów azbestowo-cementowych metodą lasów losowych dla 4 zestawów danych (CLC2006, SSL2009, BDOT10k PT, BDOT10k BBU) wykazało

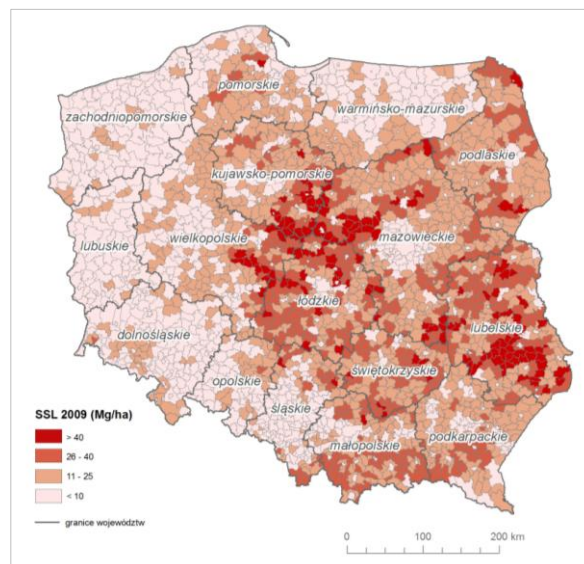
wykorzystywanie od 7,6 mln Mg do 9,3 mln Mg tych wyrobów. Wartości miary dopasowania opracowanego modelu $pseudo-R^2$ wahały się od 54,05% do 75,85%, a najwyższą wartość uzyskano dla zestawu danych SSL2009, w którym oszacowana ilość wyrobów azbestowo-cementowych wynosi 7,8 mln Mg. Najwięcej wyrobów azbestowo-cementowych, tj. 18% całkowitej oszacowanej ilości przypada na województwo mazowieckie, następnie na lubelskie (12%), a potem łódzkie i wielkopolskie (każde z 9% udziałem). W województwach małopolskim, podlaskim, świętokrzyskim, podkarpackim i śląskim udział oszacowanej ilości wykorzystywanych wyrobów azbestowo-cementowych zawiera się w przedziale 6-7%, o jeden punkt procentowy mniej, tj. 5% udział ma kujawsko-pomorskie, a 2-3% - dolnośląskie, pomorskie, warmińsko-mazurskie, zachodniopomorskie i opolskie. Najniższym udziałem (1%) charakteryzuje się województwo lubuskie (ryc. 2).



Ryc. 2. Wyniki przestrzennego modelowania ilości wykorzystywanych wyrobów azbestowo-cementowych w Polsce w zestawie SSL2009. Opracowanie własne.



Ryc. 3. Wyniki modelowania ilości wykorzystywanych wyrobów azbestowo-cementowych w gminach w przeliczeniu na mieszkańca w zestawie danych SSL2009. Opracowanie własne.



Ryc. 4. Wyniki modelowania ilości wykorzystywanych wyrobów azbestowo-cementowych w gminach w przeliczeniu na jednostkę powierzchni zabudowanej w zestawie danych SSL2009. Opracowanie własne.

Wyniki szacowania ilości pozostających w użytkowaniu wyrobów azbestowo-cementowych w przeliczeniu na mieszkańca wskazują, że średnio na jednego mieszkańca Polski przypada 202 kg wyrobów, a najwięcej tych wyrobów użytkowanych jest w gminach wiejskich (ryc. 3). Natomiast wyniki modelowania ilości wyrobów azbestowych w przeliczeniu na jednostkę powierzchni zabudowanej według danych SSL 2009 wskazują, że średnio na hektar takiej powierzchni przypada 9 Mg tych wyrobów (ryc. 4), z tego najwięcej na województwo lubelskie (ponad 18 Mg).

4.1. Wyniki weryfikacji opracowanego modelu

Najwyższą wartość parametru $pseudo-R^2$ (75,85%) uzyskano dla zestawu danych SSL2009. Wyniki uzyskane w procesie modelowania zestawu danych SSL2009 zostały porównane z danymi z prac terenowych w 160 gminach. Uzyskano wynik miary dopasowania modelu, wyrażony wartością współczynnika determinacji R^2 na poziomie 94%. Dodatkowa weryfikacja modelu na podstawie wyników badań terenowych przeprowadzonych w 2016 r. w 17 gminach z obszaru całej Polski pozwoliła na uzyskanie współczynnika determinacji R^2 na poziomie 75,17%.

Uzyskane wyniki modelowania dla zestawu SSL2009 zostały dodatkowo porównane z danymi zebranymi w bazie azbestowej, czyli krajowym rejestrze wyrobów zawierających azbest. Według stanu na 31 grudnia 2016 r. w bazie azbestowej zgromadzono dane, dotyczące 5,5 mln Mg wykorzystywanych wyrobów, tj. o 2,3 mln Mg mniej niż oszacowano w modelu.

4.2. Oszacowanie kosztów usuwania wyrobów azbestowo-cementowych

Do oszacowania całkowitych kosztów usuwania użytkowanych wyrobów azbestowo-cementowych przyjęto koszty demontażu, transportu i składowania odpadów na uprawnionych składowiskach. Przyjęto, że koszty usuwania wyrobów azbestowo-cementowych powinny

kształtować się na poziomie nie wyższym niż przyjęte maksymalne wartości dofinansowania udzielanego gminom przez wojewódzkie fundusze ochrony środowiska i gospodarki wodnej. Łączne oszacowane koszty usuwania wyrobów azbestowo-cementowych wynoszą 6,4 mld zł, przy maksymalnej wartości dofinansowania prowadzenia prac przez wojewódzkie fundusze ochrony środowiska i gospodarki wodnej, z tego 20% przypada na województwo mazowieckie, a 12% na lubelskie.

5. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie baz danych: *Corine Land Cover*, *Soil Sealing Layer* i *Bazy Danych Obiektów Topograficznych* opracowano 4 zestawy, tj. CLC2006, SSL2009, BDOT10k PT i BDOT10k BBU, z których najwyższą wartość miary dopasowania *pseudo-R²*, względem danych pozyskanych w terenie, otrzymano dla zestawu SSL2009 i wyniosła ona 75,85%. Uzyskane wyniki modelowania wskazują, że optymalne do szacowania ilości wyrobów azbestowo-cementowych w gminach są dane o wielkości powierzchni zabudowanej pozyskane z projektu *Soil Sealing Layer* (SSL2009), zaś zmienne istotne w procesie modelowania ilości wykorzystywanych wyrobów azbestowo-cementowych to 29 cech z 7 grup: a) ludność: *odsetek mieszkańców powyżej 65 roku życia, współczynnik feminizacji oraz migracje wewnętrzne i zagraniczne*; b) budynki: *liczba budynków, powierzchnia użytkowa budynków, struktura wiekowa budynków*; c) rolnictwo: *liczba gospodarstw domowych, liczba gospodarstw rolnych, udział gospodarstw rolnych o powierzchni do 1 ha oraz powyżej 15 ha, odsetek gospodarstw rolnych z dochodem z emerytury i renty, udział pozostałych użytków rolnych oraz łąk i pastwisk w powierzchni gminy*; d) finanse publiczne: *subwencja ogólna na mieszkańca*; e) rynek pracy: *liczba bezrobotnych zarejestrowanych*; f) zakłady azbestowe: *liczba zakładów produkujących wyroby azbestowe w promieniu 100 km od centroidu gminy*; g) uwarunkowania historyczne: *przynależność do zaboru austriackiego, pruskiego i rosyjskiego oraz tzw. „ziem odzyskanych”*.

W pracy:

- opracowano metodykę łączenia danych pochodzących z wielu źródeł i modelowania przestrzennego rozmieszczenia wyrobów azbestowo-cementowych; jest to oryginalna metoda oszacowania ilości wyrobów w całym kraju z wykorzystaniem teorii lasów losowych w odniesieniu do cech i zmiennych, charakteryzujących jednostki samorządu terytorialnego; model ten został zweryfikowany na podstawie danych pozyskanych w terenie na obszarze 160 gmin w Polsce;
- bazując na opracowanym modelu SSL2009 obliczono, że w Polsce wykorzystywanych jest 7,8 mln Mg płyt azbestowo-cementowych falistych i płaskich, stanowiących pokrycia dachowe i okładziny elewacyjne budynków; model ten pozwolił na zaprezentowanie mapy rozmieszczenia wyrobów azbestowych w Polsce oraz oszacowanie kosztów ich usunięcia,

a także niezbędnych pojemności składowisk do przyjęcia odpadów zawierających azbest, powstałych w procesie ich usuwania; wyliczone koszty całego procesu wynoszą od 2,1 do 6,4 mld zł i są niższe o prawie 34 mld zł od szacunków, zawartych w *Programie Oczyszczania Kraju z Azbestu na lata 2009-2032*;

- oszacowana na podstawie uzyskanych wyników modelowania niezbędna pojemność składowisk do przyjęcia odpadów powstałych z usuwania wyrobów, okazała się o około 6 mln m³ większa od tej, którą obecnie dysponują składowiska; tyle więc brakuje, aby mogło nastąpić bezpieczne dla zdrowia ludności i jakości środowiska usunięcie azbestu.

Podsumowując, założone w pracy cele aplikacyjne i poznawcze zostały zrealizowane oraz potwierdzono zakładaną hipotezę badawczą, że dostępne informacje społeczno-ekonomiczne, uwarunkowania historyczne zabudowy i produkcji wyrobów azbestowo-cementowych w Polsce oraz mapy pokrycia terenu w odniesieniu do powierzchni zajętej przez zabudowę pozwalają na oszacowanie ilości wykorzystywanych wyrobów azbestowo-cementowych w gminach z dokładnością około 80% w stosunku do inwentaryzacji terenowej. Na podstawie uzyskanych wyników określono realne szacunki kosztów eliminacji wyrobów azbestowych ze środowiska.

6. Podziękowania

Najserdeczniejsze słowa podziękowania składam moim Promotorom za ich pozytywne podejście i nieustającą wiarę w powodzenie prac. Dziękuję Zespołowi WGS84 Polska Sp. z o.o. za udostępnienie danych do modelowania, a za jego pośrednictwem wszystkim zaangażowanym w zbieranie danych w terenie i opracowanie wyników. Dziękuję moim współpracownikom za cierpliwość, wyrozumiałość i wszelką pomoc. Szczególne słowa podziękowania kieruję do dr Piotra Pabjanka i dr Piotra Mędrzyckiego za możliwość konsultacji wyników i zastosowanej metody. Dziękuję pracownikom Ministerstwa Gospodarki (ob. Ministerstwa Rozwoju), w szczególności śp. Tomaszowi Bryzkowi za ciągle przeświadczenie, że możliwe jest opracowanie jednej bazy danych, w której będą zgromadzone wszystkie informacje o azbecie w Polsce oraz Izabeli Drelich-Sikorskiej i Monice Krasuskiej za wspieranie tych prac. Szczere podziękowania składam koleżankom i kolegom z Zakładu, którzy z serdecznością podchodzili do moich badań. Rodzinie, bliskim i przyjaciołom serdecznie dziękuję za okazaną mi cierpliwość, wyrozumiałość i wspieranie mnie w przygotowaniu tej pracy.

7. Cytowana literatura

Baza azbestowa, www.bazaazbestowa.gov.pl, dostępne: 31 grudnia 2016 r.

Baza Danych Obiektów Topograficznych BDOT10k, udostępniona przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej.

Breiman L, 2001. Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5-32.

CLC2006, Corine Land Cover (CLC), <http://clc.gios.gov.pl/>, dostępne: 15 marca 2014 r.

- Collegium Ramazzini, 2010. Asbestos is still with us: repeat call for a universal ban. *Odontology*, 98, 97-101.
- Główny Urząd Statystyczny, www.stat.gov.pl, dostępne: 10 marca 2014 r.
- GUS, 2016. *Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2016 r.*, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa.
- Hendry N., 1965. The Geology, Occurrences, and Major Uses of Asbestos. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 132, 12-21.
- Kursa M.B., Rudnicki W.R., 2010. Feature selection with the Boruta package. *Journal of Statistical Software*, 36 (11), 1-13.
- Liaw A., 2015. Package 'randomForest'. Breiman and Cutler's Random Forests for Classification and Regression, <https://cran.r-project.org/web/packages/randomForest/randomForest.pdf>.
- Liaw A., Wiener M., 2002. Classification and Regression by randomForest. *R News* 2, (3), 18-22.
- Lowers H., Meeker G., 2002. Tabulation of Asbestos-Related Terminology. Open-File Report 02-458, dostępne: <http://pubs.usgs.gov/of/2002/ofr-02-458/OFR-02-458-508.pdf>.
- MPIDR [Max Planck Institute for Demographic Research] and CGG [Chair for Geodesy and Geoinformatics, University of Rostock], 2012. *MPIDR Population History GIS Collection* (slightly modified version of a GIS-File by Rumpler and Seger 2010) – Rostock: Rumpler, H. and Seger, M. 2010: Die Habsburgermonarchie 1848-1918. Band IX: Soziale Strukturen. 2. Teilband: *Die Gesellschaft der Habsburgermonarchie im Kartenbild. Verwaltungs-, Sozial- und Infrastrukturen. Nach dem Zensus von 1910*, Wien.
- MPIDR [Max Planck Institute for Demographic Research] and CGG [Chair for Geodesy and Geoinformatics, University of Rostock], 2011. *MPIDR Population History GIS Collection* (partly based on Hubatsch and Klein 1975 ff.) – Rostock. Hubatsch W. and T. Klein (eds.) 1975 ff., *Grundriß der deutschen Verwaltungsgeschichte*, Marburg.
- Nelson H.H., Kelsey K.T., 2002. The molecular epidemiology of asbestos and tobacco in lung cancer. *Oncogene*, 21 (48), 7284-7288.
- Peto J., Hodgson J.T., Matthews F.E., Jones J.R., 1995. Continuing increase in mesothelioma mortality in Britain, *Lancet*, 345 (8949), 535-539.
- Plit J., 2015. Regionalizacja współczesnych krajobrazów historyczno-kulturowych Polski, *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego*, 27/2015, 79-94.
- R Core Team, 2014. R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria, <http://www.R-project.org/>.
- SSL2009, Soil Sealing Layer, Copernicus Land Monitoring Service, <http://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/imperviousness-2009/view>, dostępne: 15 marca 2014 r.
- Thompson S., Mason E., 2002. Asbestos: Mineral and fibers. *Chemical Health And Safety*, 9 (4), 21-23.
- Virta R., 2002. *Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses*. Open-File Report 02-149, dostępne: pubs.usgs.gov/of/2002/of02-149/.
- Virta R., 2006. *Worldwide asbestos supply and consumption trends from 1900 through 2003*, U.S. Geological Survey Circular 1298, dostępne: <http://pubs.usgs.gov/circ/2006/1298/c1298.pdf>.
- Wilk E., Krówczyńska M., Pabjanek P., Mędrzycki P., 2017. Estimation of the amount of asbestos-cement roofing in Poland, *Waste Management & Research*, 35 (5), 491-499.