

Ewa Niewiadomska¹
Małgorzata Kowalska²
Elżbieta Czech¹
Michał Skrzypek¹

ZASTOSOWANIE CYFROWYCH MAP ADMINISTRACYJNYCH W WIZUALIZACJI DANYCH EPIDEMIOLOGICZNYCH

DIGITAL ADMINISTRATIVE MAPS – A TOOL FOR VISUALIZATION OF EPIDEMIOLOGICAL DATA

¹ Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach / Medical University of Silesia, Katowice, Poland
Zakład Biostatystyki, Wydział Zdrowia Publicznego, Bytom / Department of Biostatistics, Faculty of Public Health, Bytom

² Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach / Medical University of Silesia, Katowice, Poland
Katedra i Zakład Epidemiologii, Wydział Lekarski / Department of Epidemiology, Faculty of Medicine

STRESZCZENIE

Wstęp: Celem pracy jest przedstawienie metod wizualizacji danych epidemiologicznych z użyciem map konturowych, które uwzględniają podział administracyjny Polski. **Materiał i metody:** W artykule przedstawiono możliwość prezentowania danych, które dotyczą obserwacji epidemiologicznych, w układzie geograficznym, ograniczonym do poziomu administracyjnego kraju, województwa i powiatu. Wydają się one istotne w procesie rozpoznania i podjęcia właściwych działań profilaktycznych ukierunkowanych na zmniejszenie ryzyka występowania chorób i poprawę stanu zdrowia populacji. Zaprezentowano narzędzia i techniki dostępne w systemie informacji geograficznej ArcGIS i pakiecie statystycznym R. **Wyniki:** W pracy zamieszczono własne następujące dane: 1) współczynnik umieralności specyficznej z powodu chorób układu oddechowego ogółem w Polsce w 2010 r. w oparciu o dane Głównego Urzędu Statystycznego w Warszawie (z wykorzystaniem aplikacji statystycznej R); 2) uśrednione za okres 2006–2010 współczynniki rejestrowanej zapadalności na sarkoidozę w populacji osób po 19. roku życia w województwie śląskim (z wykorzystaniem systemu informacji geograficznej ArcGIS); 3) liczbę stwierdzonych przez lekarza zachorowań na choroby układu oddechowego u dzieci zamieszkałych w Legnicy w 2009 r. z uwzględnieniem miejsca zamieszkania dziecka (przy wykorzystaniu map wielowarstwowych systemu informacji geograficznej ArcGIS). **Wnioski:** Wymienione i opisane w pracy narzędzia dają możliwości wizualizacji wyników badań, znacznie podwyższają atrakcyjność odbywanych szkoleń, podnoszą umiejętności, a także kompetencje studentów i słuchaczy szkoleń. Med. Pr. 2013;64(4):533–539

Słowa kluczowe: mapy, system informacji geograficznej GIS, program ArcGIS, pakiet R, epidemiologia środowiskowa

ABSTRACT

Background: The aim of the study is to present the methods for visualization of epidemiological data using digital contour maps that take into account administrative division of Poland. **Materials and Methods:** The possibility of epidemiological data visualization in a geographical order, limited to the administrative level of the country, voivodeships and poviats (counties), are presented. They are crucial for the process of identifying and undertaking adequate prophylactic activities directed towards decreasing the risk and improving the population's health. This paper presents tools and techniques available in Geographic Information System ArcGIS and statistical software package R. **Results:** The work includes our own data reflecting: 1) the values of specific mortality rates due to respiratory diseases, Poland, 2010, based on the Central Statistical Office data, using the R statistical software package; 2) the averaged registered incidence rates of sarcoidosis in 2006–2010 for the population aged 19+ in the Silesian voivodeship, using Geographic Information System ArcGIS; and 3) the number of children with diagnosed respiratory diseases in the city of Legnica in 2009, taking into account their place of residence, using layered maps in Geographic Information System ArcGIS. **Conclusions:** The tools presented and described in this paper make it possible to visualize the results of research, to increase attractiveness of courses for students, as well as to enhance the skills and competence of students and participants of courses. Med Pr 2013;64(4):533–539

Key words: maps, geographic information system GIS, software ArcGIS, package R, environmental epidemiology

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Ewa Niewiadomska, Zakład Biostatystyki,
Wydział Zdrowia Publicznego, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach,
ul. Piekarska 18, 41-902 Bytom, e-mail: e.j.niewiadomska@gmail.com
Nadesłano: 13 czerwca 2013, zatwierdzono: 1 października 2013

WSTĘP

Po raz pierwszy z map w epidemiologii korzystał John Snow i dotyczyło to rozmieszczenia terytorialnego zachorowań na cholera w Londynie (1). Zastosowana procedura mapowania przyczyniła się do zlokalizowania źródła zakażeń i do opanowania epidemii.

Obecnie do raportowania sytuacji zdrowotnej ludności w poszczególnych państwach i/lub głównych jednostkach administracyjnych poszczególnych krajów wykorzystuje się tzw. wtórne dane epidemiologiczne, które są gromadzone we właściwych bazach danych. Rozwój i dostępność przestrzennych technik analitycznych, bazujących na komputerowych systemach informacji przestrzennej (geographic information system – GIS), umożliwia wizualizację danych epidemiologicznych. Sprawozdawczość dotycząca chorób, zwłaszcza zakaźnych, pozwala na prezentację rozmieszczenia geograficznego i skali nasilenia problemów zdrowotnych.

Ważnym narzędziem stały się informacyjne platformy internetowe (2) oraz elektroniczne raporty zawierające mapy Światowej Organizacji Zdrowia (World Health Organization – WHO) (3) oraz Amerykańskiego Centrum Kontroli i Prewencji (Centers for Disease Control and Prevention – CDC) (4,5). W obliczu podejmowanych działań w zakresie zdrowia publicznego jest to niezbędny sposób monitorowania stanu zdrowia populacji. Jest on istotny w procesie rozpoznania i po-

dejmowania właściwych działań profilaktycznych, ukierunkowanych na zmniejszenie ryzyka i poprawę stanu zdrowia populacji. Z tego powodu należałoby rozważyć wdrożenie tego typu działań również w lokalnych jednostkach administracyjnych.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie metod wizualizacji danych epidemiologicznych z użyciem map konturowych, które uwzględniają podział administracyjny, przy użyciu systemu informacji geograficznej ArcGIS i pakietu statystycznego R.

MATERIAŁ I METODY

Poniżej przedstawiono możliwość prezentowania danych, które dotyczą obserwacji epidemiologicznych, w układzie geograficznym. Uwzględniono w nim podział terytorialny według Nomenklatury Jednostek Terytorialnych do Celów Statystycznych (NTS), stosowany w procesie gromadzenia danych statystycznych przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) (6). W artykule wzięto również pod uwagę poziom podziału administracyjnego Polski NTS 2, który uwzględnia 16 województw oraz poziom lokalny NTS 4 dla województwa śląskiego uwzględniający powiaty i miasta na prawach powiatu (6).

Dane dotyczące problemów zdrowotnych populacji, dla których zastosowano metodę graficznej prezentacji, pochodzą z baz danych GUS-u (7) oraz Narodowego

Tabela 1. Nazwy procedur (komendy) oraz narzędzia programistyczne używane do tworzenia map w środowiskach R i ArcMAP
Table 1. Names of procedures (commands) and programming tools used to create maps in the R and ArcMAP environments

Procedury* Procedures*	Narzędzia* Tools*	
	środowisko R R environment	aplikacja ArcMAP ArcMAP application
Wczytanie danych numerycznych / Numerical data reading	read.csv()	Layers / Properties / Joins&Relates
Wczytanie warstw/elementów mapy / Shapefile data reading	readShapePoints() readShapeLines() readShapePoly() readShapeSpatial()	Layers
Rysowanie map / Map plotting	plot() text() legend()	Layers / Properties / Features
Prezentacja według skali barw / Presenting results in color scale	plot(colors)	Layers / Properties / Quantities
Prezentacja z zastosowaniem wykresów / Presenting results by means of plots	floating.pie() rect()	Layers / Properties / Charts / Pie Layers / Properties / Charts / Bar / Column

* Nazwy procedur oraz listy ich argumentów (przekazywanych parametrów) podano zgodnie z pisownią angielskiego oryginału oraz składni języków programowania / Names of procedures and lists of their arguments (parameters that are sent) are given in their original English forms and according to the syntax of programming languages.

Funduszu Zdrowia (NFZ) w Katowicach. Dodatkowo wykorzystano dane zebrane w trakcie badania kwestionariuszowego, którego celem była ocena częstości chorób układu oddechowego wśród dzieci zamieszkałych w Legnicy, oraz dane adresowe udostępnione przez Fundację na Rzecz Dzieci Zagłębia Miedziowego w Legnicy (8).

W niniejszym artykule zaprezentowano narzędzia i techniki z zakresu analizy przestrzennej, które są dostępne w pakiecie statystycznym R oraz systemie informacji geograficznej ArcGIS.

Pakiet R jest środowiskiem programistycznym, udostępnianym na zasadach wolnego i otwartego oprogramowania (General Public License – GPL), wykorzystywanym do obliczeń statystycznych i wizualizacji danych (9). Do generowania map i czytania danych geograficznych zadanych wektorowo stosowany jest pakiet *maptools* (10–12), wraz z dostępnymi procedurami do wczytywania i rysowania map (tab. 1).

ArcGIS jest pakietem aplikacji przeznaczonych do obsługi systemów informacji geograficznej GIS na licencji firmy ESRI Inc. (USA) (13). Do zarządzania zasobami danych przestrzennych i baz danych używana jest aplikacja ArcCatalog, natomiast do edycji map oraz analiz przestrzennych – aplikacja ArcMAP, wraz z dostępnymi narzędziami Layers do wczytywania warstw map oraz ich edycji (14,15).

Mapy konturowe Polski i województwa śląskiego w postaci plików SHP (Shapefile) oraz mapę topologiczną gminy Legnica pozyskano z geoportali, tj. portalu internetowych udostępniających dane geoprzestrzenne (16,17).

WYNIKI

Własne przykłady ilustrujące wykorzystanie komputerowych metod przetwarzania danych epidemiologicznych z wykorzystaniem programu ArcGIS oraz R przedstawiono poniżej.

Przykład 1. Graficzne opracowanie oficjalnych danych epidemiologicznych dotyczących współczynnika umieralności specyficznej z powodu chorób układu oddechowego ogółem w Polsce w 2010 r., w oparciu o dane GUS w Warszawie, według podziału administracyjnego NTS-2 (6,7,17). W roku 2010 w Polsce współczynnik umieralności specyficznej kształtował się w zakresie 34,4–103,7 na 100 tys. osób po 19. roku życia, przy czym najwyższa wartość dotyczyła województwa warmińsko-mazurskiego.

Do wygenerowania kartogramu przedstawionego na rycinie 1. zastosowano procedury programu R (tab. 1).



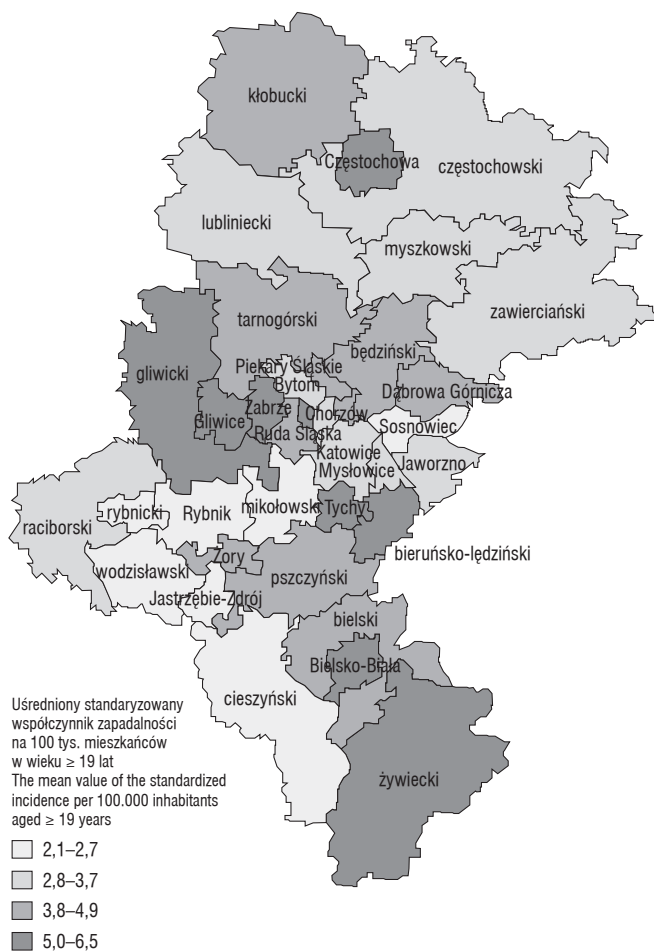
Ryc. 1. Wizualizacja oficjalnych danych epidemiologicznych dotyczących współczynnika umieralności specyficznej z powodu chorób układu oddechowego ogółem w Polsce, z podziałem na województwa, w 2010 r. (opracowanie własne według danych Banku Danych Lokalnych GUS w Warszawie)

Fig. 1. Visualization of official epidemiological data on specific mortality rates due to respiratory diseases in Poland, respecting a voivodeship division, in 2010 (our own data according to the Local Data Bank, Central Statistical Office in Warszawa)

Przykład 2. Wizualizacja danych epidemiologicznych prezentujących uśrednione za lata 2006–2010 standaryzowane współczynniki rejestrowanej zapadalności na sarkoidozę w populacji osób po 19. roku życia w województwie śląskim. Na mapie wyszczególniono powiaty o najwyższym współczynniku zachorowań na sarkoidozę.

Do wygenerowania kartogramu przedstawionego na rycinie 2. zastosowano narzędzia aplikacji ArcMap systemu informacji geograficznej ArcGIS (tab. 1). Warstwie konturów powiatów została przyporządkowana, w formie atrybutów, informacja numeryczna w postaci załączonego pliku programu MS Excel z obliczonymi wcześniej uśrednionymi standaryzowanymi współczynnikami zapadalności w poszczególnych powiatach.

Mapy dotyczące obowiązującego systemu administracyjnego według podziału NTS, czyli na województwa, są na ogół dostępne (16,17), dlatego prezentacja danych o zdrowiu w takim układzie terytorialnym jest możliwa. Problem pojawia się, kiedy przedmiotem obserwacji jest region, w odniesieniu do którego obowiązują



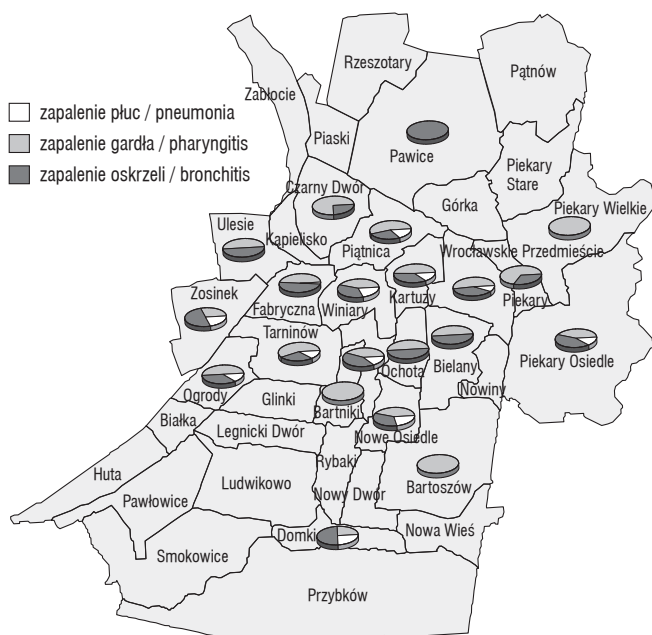
Ryc. 2. Wizualizacja danych epidemiologicznych opisujących usrednione w latach 2006–2010 standaryzowane współczynniki rejestrowanej zapadalności na sarkoidozę w populacji osób w wieku 19 i więcej lat w województwie śląskim z podziałem na powiaty

Fig. 2. Visualization of epidemiological data describing the averaged 2006–2010 standardized rates of registered incidence of sarcoidosis in the population aged 19 years and more, in the Silesian voivodeship, respecting a county division

je umowy podział. Przykładem może być nieoficjalny podział miasta Legnica na tzw. obręby. Omawiana sytuacja powoduje, że istnieje konieczność digitalizacji map kreskowych, która polega na zapisie zeskanowanej mapy papierowej w postaci cyfrowej. Następnie tworzy się warstwę informacyjną typu poligon oraz rektyfikuje zeskanowany obraz przy użyciu narzędzi EditMap, wyznaczając współrzędne punktów wieloboku „obrębu”. Dla tak przygotowanej mapy można już nanosić warstwy kolorów w przypadku jednej badanej cechy, ewentualnie można tworzyć mapy wielowarstwowe w przypadku wielu analizowanych cech (np. zachorowania na różne choroby układu oddechowego).

Przykład 3. Wizualizacja danych dotyczących liczby stwierdzonych przez lekarzy zachorowań na choroby

układu oddechowego u dzieci zamieszkałych w Legnicy w 2009 r., z uwzględnieniem miejsca (obrębu) zamieszkania dziecka. Warto odnotować, że we wszystkich badanych obrębach gminy Legnica najczęściej rozpoznawano zapalenie gardła i zapalenie oskrzeli. Do wygenerowania kartodiagramu strukturalnego kołowego przedstawionego na rycinie 3. zastosowano narzędzia aplikacji ArcMap systemu informacji geograficznej ArcGIS (tab. 1). Warstwie konturów obrębów przyporządkowana została, w formie atrybutów, informacja numeryczna dotycząca liczby rozpoznanych zachorowań ze strony układu oddechowego.



Ryc. 3. Wizualizacja wyników badań własnych dotyczących liczby stwierdzonych przez lekarza zachorowań na choroby układu oddechowego u dzieci zamieszkałych w Legnicy, z podziałem na obręby, w 2009 r.

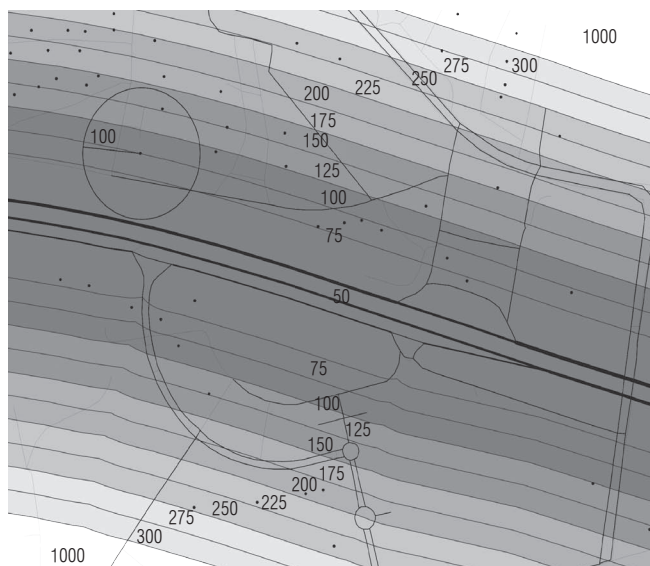
Fig. 3. Visualisation of our own study results describing the number of diagnosed respiratory diseases in children living in Legnica, respecting a precinct division, in 2009

Ponadto aplikacja ArcMap systemu informacji geograficznej ArcGIS daje możliwość prezentowania rozkładu przestrzennego zjawisk metodą kropkową (ryc. 4) oraz prowadzenia analiz przestrzennych z wykorzystaniem geokodowania i buforowania, przecinania i wyznaczania odległości. Pozwala to na wyznaczenie stref szlaków komunikacyjnych, które są obszarami podwyższonego ryzyka w badanym zakresie, w tym przypadku – występowania chorób układu oddechowego (ryc. 5).



Ryc. 4. Wizualizacja oficjalnych danych epidemiologicznych opisujących liczbę żywych urodzeń w największych miastach Polski w 2012 r. (opracowanie własne według danych Banku Danych Lokalnych GUS w Warszawie)

Fig. 4. Visualization of the number of live births in the largest cities of Poland, in 2012 (our own data according to the Local Data Bank, Central Statistical Office in Warszawa)



■ Miejsca zamieszkania dzieci / Children's place of residence
- Szlak komunikacyjny / Communication route

Ryc. 5. Fragment mapy przedstawiający strefę buforową (pasy o szerokości 50 lub 100 m) szlaku komunikacyjnego o natężeniu ruchu drogowego, który przekracza 90. percentyl, z punktami adresowymi dzieci

Fig. 5. The part of the map showing the buffer zone (belts 50 or 100 m wide) of communication route with road traffic volume over 90th percentile, including children's address points

OMÓWIENIE

Powszechne wprowadzenie technik informatycznych bazujących na systemach informacji geograficznej nastąpiło w latach 90., jednak dopiero ostatnie lata – dzięki większej przystępności interfejsu użytkownika (większa czytelność i łatwość obsługi) i dostępności związanej z wymaganiami sprzętowymi – przyniosły rozwój interdyscyplinarny (18). W epidemiologii zaczęto stosować elementy analizy przestrzennej w celu zlokalizowania miejsc o największym nasileniu problemów zdrowotnych populacji, a także do oceny relacji między miejscem zamieszkania i uwarunkowaniami środowiskowymi a występowaniem choroby lub jej objawów. Obecnie oprogramowanie GIS jest szeroko stosowane w nadzorze chorób zakaźnych (2,5) i pasożytniczych (19), w tym chorób przenoszonych drogą wodną (20), oraz innych problemów zdrowotnych uwarunkowanych środowiskowo (21,22).

Rezultaty i skuteczność stosowania metod przestrzennych przyczyniły się do powstania nurtu w naukach o zdrowiu – tzw. epidemiologii przestrzennej (spatial epidemiology) (23). Głównymi narzędziami są mapy chorób uwzględniające znane wskaźniki epidemiologiczne, analiza korelacji między czynnikami środowiskowymi a stanem zdrowia, a także analiza skupień badanych chorób (disease clusters). Wymiernym efektem badań prowadzonych w tym zakresie są raporty dotyczące terytorialnego zróżnicowania problemów zdrowotnych. Pełnią one rolę informacyjną, ponieważ pozwalają na identyfikację rejonów o prawdopodobnym najwyższym ryzyku zdrowotnym, a jednocześnie ukierunkowują na zakres działań prewencyjnych. Ponadto możliwe jest prowadzenie map ryzyka choroby dla wyodrębnionych regionów oraz budowanie modeli przestrzennych ryzyka zdrowotnego (24), przy czym najczęściej stosowaną w epidemiologii metodą estymacji geostatycznej jest kriging (25).

Za stosowaniem metod epidemiologii przestrzennej przemawia dostępność danych środowiskowych, demograficznych, danych z zakresu polityki zdrowotnej i ochrony środowiska oraz techniczne możliwości ich wizualizacji (26). Ważnym aspektem jest dostępność danych przestrzennych gromadzonych przez krajowe organy administracji (Państwowy Zasób Geodezyjny i Kartograficzny, organy jednostek samorządów terytorialnych), co regulowane jest Ustawą z dnia 4 marca 2010 r. o infrastrukturze informacji przestrzennej (27). Z kolei unijna dyrektywa INSPIRE (28) nakłada na dysponentów danych przestrzennych obowiązek spójnego podejścia

do kwestii wyszukiwania, przeglądania, pobierania i przekształcania danych przestrzennych. W oparciu o przedstawione regulacje prawne tworzone są aplikacje serwerowe, w tym geoportale (16,17), oraz serwisy mapowe WMS/WFS udostępniające mapy w postaci rastrowej lub wektorowej na podstawie zasobów jednostek samorządów terytorialnych (29). Dzięki temu dane geoprzestrzenne stają się powszechnie dostępne.

Bazowe zasoby geodezyjne i kartograficzne gromadzone są i udostępniane na mocy Ustawy z dnia 8 października 2010 r. o prawie geodezyjnym i kartograficznym (30) przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK) (31). Geodezyjna Baza Obiektów Topograficznych (GBDOT), Baza Danych Ogólnogeograficznych (BDO) oraz Państwowy Rejestr Granic Administracyjnych Kraju (PRG) są ważnym źródłem danych (w tym adresowych), które są wykorzystywane w analizach wpływu czynników środowiskowych w epidemiologii (szczególnie chorób zawodowych) i koordynacji przedsięwzięć w zakresie służby zdrowia (w tym działań ratowniczych i zarządzania kryzysowego).

Zasoby CODGiK zostały również wykorzystane w pracach Głównego Urzędu Statystycznego w ramach projektu GEOSTAT, którego celem była prezentacja danych spisowych dla Europy w ujednoczonej sieci gridów oraz opracowanie jednolitych metod, narzędzi i wytycznych dla zbiorów danych (32). Należy jednak wspomnieć o trudnościach w pozyskiwaniu baz danych dotyczących służby zdrowia, które zawierają dane adresowe, w celu prowadzenia analiz przyczynowo-skutkowych poprzez wprowadzenie systemu geokodów (geokodowanie).

Postęp informatyzacji w zakresie liczby i sposobu gromadzenia danych oraz możliwości analiz statystycznych z uwzględnieniem oceny przestrzennej przy wykorzystaniu systemu informacji geograficznej GIS zwiększa zakres badań środowiskowych. Tym bardziej, że pozwala na śledzenie sytuacji epidemiologicznej na poziomie lokalnym, uwzględniającym inne podziały administracyjne (np. niedostępne dotychczas dzielnicowe zróżnicowanie stanu zdrowia).

Ponadto rynek informatyczny dysponuje szeroką gamą narzędzi wykorzystujących GIS. Oprócz środowiska R i programu ArcGIS stosowane są również: pakiet Mapy programu Statistica (StatSoft, Polska) (33), program MapInfo (Professional, IMAGIS S.A., Polska) (34), pakiet M_Map środowiska MatLab (35), GeoMedia (Intergraph, USA) (36), program Grass GIS (OSGeo, GPL) oraz program Quantum GIS (OSGeo, GPL) (37,38). Niektóre z nich nie wymagają nakładów finansowych

(środowisko R, program Grass GIS, Quantum GIS), inne są dostępne na płatnej licencji, jednak korzystanie z każdego z nich musi być poprzedzone nabyciem odpowiednich umiejętności i kompetencji umożliwiających wiarygodną interpretację uzyskanych wyników.

Warto podkreślić, że wytyczne dotyczące kierunku rozwoju epidemiologii przestrzennej sugerują wdrożenie podstaw analizy przestrzennej do programu nauczania studentów kierunku zdrowie publiczne (18,23).

WNIOSKI

Wymienione i opisane w niniejszym artykule narzędzia dają możliwość wizualizowania wyników badań własnych w zakresie epidemiologii oraz graficznego prezentowania danych dostępnych w oficjalnych bazach danych według własnego scenariusza.

PIŚMIENNICTWO

1. John Snow Bicentenary: About John Snow [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://johnsnowbicentenary.lshtm.ac.uk>
2. HealthMap: Informacyjna platforma internetowa healthmap.org [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://healthmap.org/en>
3. World Health Organization: Global Health Observatory [cytowany 28 maja 2013]. Adres: http://www.who.int/gho/map_gallery/en
4. Centers for Disease Control and Prevention: Preliminary maps & data for 2013 [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://www.cdc.gov/ncidod/dvbid/westnile/surv&control.htm>
5. Centers for Disease Control and Prevention: Travelers' health [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://wwwnc.cdc.gov/travel/diseases>
6. Główny Urząd Statystyczny: Nomenklatura jednostek terytorialnych do celów statystycznych – NTS [cytowany 28 maja 2013]. Adres: http://www.stat.gov.pl/gus/5840_5955_PLK_HTML.htm
7. Główny Urząd Statystyczny: Bank danych lokalnych [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://www.stat.gov.pl/gus>
8. Fundacja na Rzecz Dzieci Zagłębia Miedziowego w Legnicy: O fundacji [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://fundacja.legnica.pl>
9. R Foundation: R Foundation for Statistical Computing [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://www.r-project.org>
10. R Foundation: Maptools: Tools for reading and handling spatial objects [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://cran.r-project.org/web/packages/maptools/maptools.pdf>

11. Kopczewska K., Kopczewski T., Wójcik P.: Metody ilościowe w R. Aplikacje ekonomiczne i finansowe. Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2009
12. Murrell P.: R Graphics. Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, FL (USA) 2006
13. ESRI: Platforma mapowa dla twojej instytucji [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://www.arcgis.com/about>
14. Crosier S., Booth B., Mitchell A.: Podstawy ArcGIS. ESRI, Redlands 2002
15. Booth B., Shaner J., Crosier S., Sanchez P., MacDonald A.: Edycja w ArcMap. ESRI, Redlands 2002
16. Główny Urząd Geodezji i Kartografii: Geoportal [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://maps.geoportal.gov.pl/webclient>
17. Geoportal: Mapy konturowe [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://www.mapykonturowe.pl>
18. Clarke K.C., McLafferty S.L., Tempalski B.J.: On epidemiology and geographic information systems: A review and discussion of future directions. *Emerg. Infect. Dis.* 1996;2:85–92, <http://dx.doi.org/10.3201/eid0202.960202>
19. Glass G.E., Schwartz B.S., Morgan J.M. III, Johnson D.T., Noy P.M., Israel E.: Environmental risk factors for Lyme disease identified with geographic information systems. *Am. J. Public Health* 1995;85:944–948, <http://dx.doi.org/10.2105/AJPH.85.7.944>
20. World Health Organization: The global eradication campaign [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://www.who.int/dracunculiasis/eradication/en>
21. Nuvolone D., della Maggiore R., Maio S., Fresco R., Baldacci S., Carrozzi L. i wsp.: Geographical information system and environmental epidemiology: A cross-sectional spatial analysis of the effects of traffic-related air pollution on population respiratory health. *Environ. Health* 2011;10:12
22. Skrzypek M., Zejda J.E., Kowalska M., Czech E.M.: Effect of residential proximity to traffic on respiratory disorders in school children in upper Silesian industrial zone, Poland. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2013;26(1):1–9, <http://dx.doi.org/10.2478/S13382-013-0078-2>
23. Elliott P., Wartenberg D.: Spatial epidemiology: Current approaches and future challenges. *Environ. Health Perspect.* 2004;112(9):998–1006, <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.6735>
24. Rytönen M.J.P.: Not all maps are equal: GIS and spatial analysis in epidemiology. *Int. J. Circumpolar Health* 2004;63(1):9–24, <http://dx.doi.org/10.3402/ijch.v63i1.17642>
25. Berke O.: Exploratory disease mapping: Kriging the spatial risk function from regional count data. *Int. J. Health Geogr.* 2004;3:18, <http://dx.doi.org/10.1186/1476-072X-3-18>
26. Adamek R., Adamek A.M., Orłowski J.: Wykorzystanie Systemu Informacji Przestrzennej – GIS w epidemiologii środowiskowej. *Nowiny Lek.* 2006;75(2):204–207
27. Ustawa z dnia 4 marca 2010 r. o infrastrukturze informacji przestrzennej. *DzU z 2010 r. nr 76, poz. 489*
28. Dyrektywa 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 marca 2007 r. ustanawiająca infrastrukturę informacji przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej (INSPIRE). *DzU UE L 108 z 2007 r.*
29. GIS-NET: Lista serwisów WMS [cytowany 14 września 2013]. Adres: <http://www.gis-net.pl>
30. Ustawa z dnia 8 października 2010 r. o prawie geodezyjnym i kartograficznym. *DzU z 2010 r. nr 193, poz. 1287*
31. Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej: Zasób [cytowany 14 września 2013]. Adres: <http://www.codgik.gov.pl/o-codgik.html>
32. Dygaszewicz J.: Spisy powszechne jako źródło danych do analiz geoprzestrzennych. *Arch. Fotogram. Kartogr. Teledetek.* 2012;23:91–100
33. StatSoft: Mapy w Statistica 10 [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://www.statsoft.pl/download/mapy.html>
34. MapInfo: Produkty [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://www.mapinfo.pl>
35. MatLab: Products & services [cytowany 28 maja 2013]. Adres: <http://www.mathworks.com>
36. GeoMedia: Products [cytowany 14 września 2013]. Adres: <http://geospatial.intergraph.com>
37. Grass GIS: Documentation [cytowany 14 września 2013]. Adres: <http://grass.osgeo.org>
38. Quantum GIS: Documentation [cytowany 14 września 2013]. Adres: <http://www.qgis.org>