

PREZENTACJA DYNAMIKI STĘŻENIA FOSFORU CAŁKOWITEGO W JEZIORACH REPEROWYCH W POLSCE W LATACH 2000–2008 ZA POMOCĄ SYGNATUR ANIMOWANYCH

PAWEŁ CYBULSKI

Zakład Kartografii i Geomatyki, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego,
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Dziegielewa 27, 61-680 Poznań

Abstract: The article focuses on how cartographic visualization of physical and geographical phenomena which were the results of the “Report on the state of the environment in Poland 2008” relates to the changes of concentration of total phosphorus in the benchmark lakes in the years 2000–2008. Environmental assessment based on the size and the dynamics of the concentration of the biogenic elements. Presentation of the data that are time-variable must also be designed in a way to reveal the nature of these changes and allow the user to understand them. Questionnaire surveys were conducted to assess the effectiveness and the appropriateness of the use of the animation in the cartographic presentation of the point phenomena that refers to changes in natural environment.

Keywords: cartographic animation, phosphorus concentration, benchmark lakes, rotating signature

WSTĘP

Stan środowiska przyrodniczego i jego ocena w ostatnich latach stały się przedmiotem studiów, badań naukowych oraz wielu opracowań praktycznych (Bródka, Medyńska-Gulij, Kaczmarek 2010). Duże znaczenie w dokumentowaniu oceny oraz zmian stanu środowiska mają wizualizacje kartograficzne, które najczęściej są składnikiem dokumentacji, podczas gdy metody prezentacji przestrzennego rozmieszczenia i zmian w czasie są podstawą do zrozumienia postępującej antropopresji.

Coraz większe zainteresowanie problemami związanymi z zanieczyszczeniem środowiska przyrodniczego wynika również ze wstąpienia Polski do Unii Europejskiej i inwestycjami o naturze ekologicznej. Jednym z dokumentów, który dokonuje analizy stanu środowiska w kraju jest Raport o stanie środowiska w Polsce 2008 sporządzony przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Prezentuje on jakość środowiska przyrodniczego w Polsce, wskazując zarówno skutki społeczno-gospodarcze degradacji, jak i kierunki możliwego zapobiegania oraz poprawy jakości środowiska przyrodniczego. W raporcie zostały także

przedstawione sposoby statycznego wizualizowania cech obiektów fizyczno-geograficznych, czyli jezior reperowych oraz ich charakterystyk – stężeń pierwiastków biogennych (Bródka, Medyńska-Gulij, Kaczmarek 2010).

Jednym ze wskaźników świadczącym o zanieczyszczeniu jest stan ekologiczny jezior. Choiński (2008) podaje, iż jeziora w Polsce są głównie zbiornikami eutroficznymi i podlegają procesowi starzenia się, a więc zarastania i gromadzenia się pierwiastków chemicznych. Jest to oczywiście naturalny cykl życia jezior wynikający z nieustannej denudacji zmierzającej do wyrównywania powierzchni Ziemi. Jednak eutrofizacja jest nie tylko działaniem naturalnym, lecz również efektem działalności społeczno-gospodarczej człowieka. Do zarastania jezior przyczyniają się przede wszystkim związki biogenne zbudowane z fosforu, azotu i węgla (Kajak 2001). Jeziora, szczególnie w stanie eutroficznym, mają pewne stężenia tych pierwiastków oraz charakteryzują się ich dopływem. Dostarczanie ich jest jednak stosunkowo stałe i podlega niewielkim wahaniom w ciągu roku (Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 2010). Zmienność tych stężeń jest przedmiotem zainteresowania monitoringu, nad którym nadzór w Polsce sprawuje Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej. W celu badania i oceny stanu jezior w Polsce wyodrębnił on tak zwane jeziora reperowe, w których co roku mierzone są stężenia wybranych pierwiastków chemicznych (m.in. fosforu). We wspomnianym Raporcie o stanie środowiska w Polsce 2008 przedstawiono zmiany stężenia fosforu całkowitego w postaci tabelarycznej (w mg/l) w jeziorach reperowych w Polsce w latach 2000–2008 (Raport o stanie..., 2010).

W geografii, a szczególnie w kartografii, istotne jest ujmowanie zjawiska w przestrzeni oraz, co okazuje się coraz bardziej ważne w odniesieniu do zmian w czasie (Dorling 1992). Przedstawianie zjawisk, które mają charakter czasowo-przestrzenny, zarówno danych statystycznych, jak i danych przyrodniczych, wymaga nieco innego podejścia niż prezentacja statyczna do tej pory stosowana w różnych opracowaniach drukowanych. Technologia komputerowa pozwoliła na wykorzystanie metod animowanych w prezentacji danych, ale również wniosła nowe problemy związane z metodologią ich przedstawiania. Szczególnie w metodzie animacji rozwinęły się sposoby prezentacji danych punktowych, za pomocą których można prezentować dynamikę stężeń fosforu całkowitego w jeziorach reperowych. Animacja zyskała szczególne uznanie w środowisku internetowym i interaktywnym, jeśli chodzi o prezentację zmian danych w czasie, przejść pomiędzy stanami, przeglądanie przestrzeni w trzech wymiarach czy zwrócenie uwagi użytkownika (Kowalski 2006). Właśnie dynamika stężeń fosforu całkowitego w jeziorach reperowych w latach 2000–2008 jest interesującym tematem, zarówno pod kątem ochrony środowiska, ale również z punktu widzenia rozmieszczenia (przestrzennego i czasowego) zanieczyszczeń. Wizualizacja zmian czasowo-przestrzennych pozwala na pełniejsze zrozumienie problemów zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego, co może przyczynić się do jego lepszej ochrony.

CEL BADAŃ

Kartograficzna prezentacja zjawisk fizyczno-geograficznych może odbywać się za pomocą sygnatur punktowych prezentujących rozmieszczenie w przestrzeni. Również dynamikę można przedstawić przy użyciu serii map statycznych. Jednak lepszym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie sygnatur dynamicznych, które będą podlegać zmienności, pozostawiając tło zjawiska niezmiennym. Problemem staje się jednak postrzeganie przez użytkownika zmian zachodzących w trakcie trwania animacji. Jeśli odbiorca mapy dysponuje nieograniczonym czasem analizy, to problem postrzegania staje się nieistotny. Mając jednak pewne ograniczenie czasowe, przekaz kartograficzny musi być w stanie dostarczyć informację do użytkownika w sposób jak najbardziej precyzyjny i jednoznaczny. Dlatego użycie animowanych sygnatur obrotowych może służyć takiemu przekazywaniu informacji. Celem tych badań jest ocena stosowności użycia i efektywności animowanych sygnatur obrotowych do prezentacji zjawisk fizyczno-geograficznych związanych z dynamiką stężenia fosforu całkowitego w jeziorach reperowych w latach 2000–2008. Ocena stosowności ma służyć zasadności użycia obrotowych symboli kartograficznych do prezentacji danych o charakterze punktowym w skali całego kraju. Natomiast ocena efektywności posłuży do oszacowania wpływu, jaki animowane symbole wywierają na poprawność odczytywania treści kartograficznej dotyczącej stężeń fosforu w wybranych jeziorach reperowych.

PRZEDMIOT I OBSZAR BADAŃ

Znaczące miejsce jezior w ocenie jakości środowiska, ich podatność na zmiany oraz rosnące zainteresowanie problemami ekologii krajobrazu sugerują lepsze poznanie mechanizmów stojących za dynamiką stężeń takich pierwiastków biogenicznych, jak fosfor (Kudelska, Cydzik, Soszka 1994). Dlatego posługując się Raportem o stanie środowiska w Polsce 2008, przygotowanym przez GIOŚ, wybrano właśnie jeden z czynników (fosfor) służących do klasyfikacji ekologicznej jezior. Za obszar badań przyjęto te jeziora reperowe, które w owym raporcie zostały wykazane i dla których pomiary stężeń fosforu całkowitego zostały wykonane. Fosfor był podawany w miligramach na litr [mg/l] dla jezior: Śremskie, Tarnowskie, Krąpsko Długie, Jasień Południowy, Jegocin, Wukśniki, Wigierskie Długie oraz Białe Włodawskie. Pomiary przeprowadzono w każdym roku od 2000 do 2008 włącznie (Raport o stanie..., 2010).

Najwięcej jezior reperowych ujętych w raporcie znajdowało się w województwie warmińsko-mazurskim (jeziora Jegocin, Wukśniki i Wigierkie Długie). Dwa z jezior występowały w województwie wielkopolskim (jeziora Śremskie oraz Krąpsko Długie) Najdalej na zachód wysunięte było Jezioro Tarnowskie,

natomiast najdalej na wschód Jezioro Białe Włodawskie. Jezioro Jasień Północny położone jest w województwie pomorskim na Pojezierzu Bytowskim (Jańczak 1996).

Przedmiotem badań było użycie sygnatur obrotowych w animacji kartograficznej dynamiki stężeń fosforu całkowitego w latach 2000–2008. Ocenie podlegała zarówno stosowność wykorzystania sygnatur obrotowych w prezentacji tego typu zjawisk oraz efektywność zastosowanej metody w przekazywaniu informacji czasowo-przestrzennych o charakterze fizyczno-geograficznym.

METODY BADAŃ

Zjawisko fizyczno-geograficzne, którym były zmiany stężenia fosforu całkowitego w jeziorach reperowych Polski, potraktowane zostało jak zjawisko punktowe i zaprezentowane w skali percepcji całego kraju. Ze względu na ujęcie w raporcie nie tylko ram przestrzennych, ale także czasowych mechanizmu zaprezentowano go dynamicznie przy użyciu oprogramowania komputerowego.

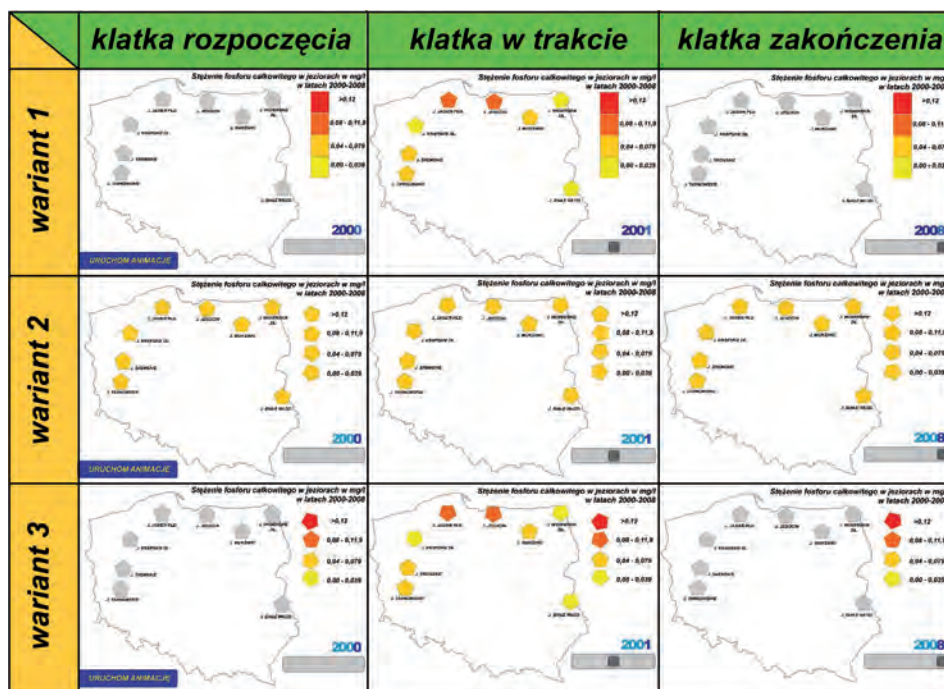
Główną metodą otrzymania oceny zasadności użycia sygnatur dynamicznych oraz oceny efektywności przekazywania informacji przestrzennych była ankieta. Jest ona pośrednim źródłem zbierania informacji i doskonale sprawdza się zarówno w badaniach nad mapami statycznymi, jak i animowanymi. Zawierała cztery pytania, które odnosiły się do przestrzeni, czasu oraz zmienności prezentowanych zjawisk:

- 1) W którym jeziorze stężenie fosforu było największe w trakcie trwania animacji?
- 2) W którym jeziorze stężenie fosforu pozostało stałe?
- 3) W którym roku wystąpiło największe stężenie fosforu w jeziorach (całościowo)?
- 4) W których jeziorach (wschodnich czy zachodnich) stężenie fosforu ogólnie było wyższe?

Odpowiedzi zostały przesłane przez użytkowników drogą internetową po obejrzeniu animacji. Zadane pytania dotyczyły treści mapy, która została sporządzona za pomocą metod kartograficznych – głównie metody sygnaturowej. Prezentuje ona w sposób graficzny zjawisko fizyczno-geograficzne występujące w określonej przestrzeni (Medyńska-Gulij 2012). Ze względu na fakt, iż dane dotyczące stężeń fosforu w Raportie o stanie środowiska w Polsce 2008 były przedstawione w charakterze danych dynamicznych, do prezentacji ich zmienności zastosowano zmienne złożone (Żyszkowska, Spallek, Borowicz 2012). Dynamikę na mapie zaznaczono za pomocą kolorów oraz celem wzmocnienia zastosowano orientację. Wykorzystano także zmienne dynamiczne, to jest długość trwania (DiBiase 1992) oraz sposób przejścia (Dukaczewski 2008), które

są podstawą tworzenia animacji. Animacje sporządzono na komputerze przy użyciu oprogramowania *Adobe Flash Professional CS 5.5* i umieszczono w Internecie na stronie <www.carto-portal.strefa.pl>. Na rycinie 1 przedstawiono wszystkie wykorzystane w eksperymencie animacje. Dwie pierwsze prezentują dynamikę za pomocą wyłącznie jednej zmiennej graficznej i zmiennych dynamicznych. Wariant trzeci przedstawia zmiany stężenia fosforu w jeziorach reperowych za pomocą dwóch zmiennych graficznych (kolor i orientacja) oraz zmiennych dynamicznych.

Przyjęte zostały trzy warianty animacji. W pierwszym wariacie wartości stężenia fosforu były ujęte w cztery przedziały klasowe o kolorystyce skojarzeniowej (żółty – niskie stężenia, czerwony – wysokie stężenia), aby przyspieszyć proces percepcji. Jak podaje Medyńska-Gulij (2012), kolor czerwony sugeruje zagrożenie (wysokie wartości), natomiast żółty stany ostrzegawcze (generalnie niższe wartości). W drugim wariacie wykorzystano tylko zmianę orientacji poprzez obrót wokół własnej osi. Sygnatura była figurą geometryczną (pięciokątem), dzięki czemu użytkownik mógł dostrzec prędkość obrotu. Właśnie prędkość obrotu wokół własnej osi wskazywała wartości stężenia fosforu w jeziorach reperowych (wysoka prędkość obrotu – wysokie stężenie, niska



Ryc. 1. Wszystkie warianty animacji w wybranych klatkach

Fig. 1. All variants in the selected frames of animation

prędkość obrotu – niskie stężenie). Kierunek obrotu był jednak ten sam – zgodnie z ruchem wskazówek zegara (Zhang, Hu, Zhang 2001). Trzeci wariant był złożeniem dwóch prostych zmiennych w zmienną złożoną – czyli połączenia koloru oraz orientacji w celu wzmocnienia prezentacji dynamiki stężeń fosforu w jeziorach reperowych. Na rycinie 2 przedstawiono zastosowane zmienne graficzne (kolor, orientacja) oraz zmienne dynamiczne (szybkość obrotu, sposób przejścia) wykorzystane w kartograficznej metodzie prezentacji.

Każdy z uczestników mógł powtórzyć animację, jeśli nie był pewny swojej odpowiedzi. Użytkownicy byli również proszeni o niekontaktowanie się pomiędzy sobą w trakcie trwania eksperymentu. Uczestnikami badania byli studenci pierwszego roku geografii na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, w przedziałach wiekowych 15–19 oraz 20–29 lat. Każdy z trzech wariantów obejrzało 14 os., co razem stanowiło próbę 42 os. Po udzieleniu odpowiedzi i wysłaniu przez wszystkich formularza z odpowiedziami przystąpiono do analizy wyników.

Ocenę stosowności użycia sygnatur obrotowych do prezentacji dynamiki stężeń fosforu całkowitego w jeziorach reperowych w latach 2000–2008 oparto na średniej arytmetycznej punktacji 0–1, przy czym 1 otrzymywała odpowiedź

zmienna graficzna	wariant 1	wariant 2	wariant 3
kolor			
orientacja			
zmienna dynamiczna	wariant 1	wariant 2	wariant 3
szybkość obrotu (<i>speed of rotation</i>)	 0 fps	 3 6 9 12 fps fps fps fps	 3 6 9 12 fps fps fps fps
sposób przejścia (<i>way of transition</i>)	skokowy (<i>step</i>)	płynny, ciągły (<i>continuous</i>)	płynny, ciągły (<i>continuous</i>)

Ryc. 2. Zmienne graficzne oraz zmienne dynamiczne zastosowane w animacji zmienności stężeń fosforu w jeziorach reperowych

Fig. 2. Graphic variables and dynamic variables used in the animation of phosphorus variability in benchmark lakes

poprawna, a 0 odpowiedź błędna. Każde pytanie (1–4) w każdym wariancie (1–3) otrzymało ocenę, co pozwoliło ocenić zarówno stosowność użycia prostych zmiennych (zmiana koloru, zmiana orientacji), jak również zmiennych złożonych (zmiana koloru i zmiana orientacji) z wykorzystaniem zmiennych dynamicznych. Ocena dla każdego wariantu była opisana następującym wzorem:

$$\bar{X}_1 = \frac{\sum x_1}{n_1} ; \quad \bar{X}_2 = \frac{\sum x_2}{n_2} ; \quad \bar{X}_3 = \frac{\sum x_3}{n_3} ; \quad \bar{X}_4 = \frac{\sum x_4}{n_4} ;$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{\sum Y_1}{n_1} ; \dots ; \quad \bar{Y}_4 = \frac{\sum Y_4}{n_4} ;$$

$$\bar{Z}_1 = \frac{\sum z_1}{n_1} ; \dots ; \quad \bar{Z}_4 = \frac{\sum z_4}{n_4} ;$$

gdzie:

X_n – odpowiedź użytkownika na n -te pytanie w pierwszym wariancie,

Y_n – odpowiedź użytkownika na n -te pytanie w drugim wariancie,

Z_n – odpowiedź użytkownika na n -te pytanie w trzecim wariancie,

n – liczba uczestników w n -tym wariancie.

Ocenę efektywności oparto na uśrednionych arytmetycznie czterech odpowiedzi dla każdego z wariantów. Pozwoliło to na ocenę w skali od 0 do 1 każdego zaprojektowanego wariantu animacji w sposób następujący:

$$\bar{X}_S = \frac{\sum \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \bar{X}_4}{4} ; \quad \bar{Y}_S = \frac{\sum \bar{Y}_1 \bar{Y}_2 \bar{Y}_3 \bar{Y}_4}{4} ; \quad \bar{Z}_S = \frac{\sum \bar{Z}_1 \bar{Z}_2 \bar{Z}_3 \bar{Z}_4}{4} ;$$

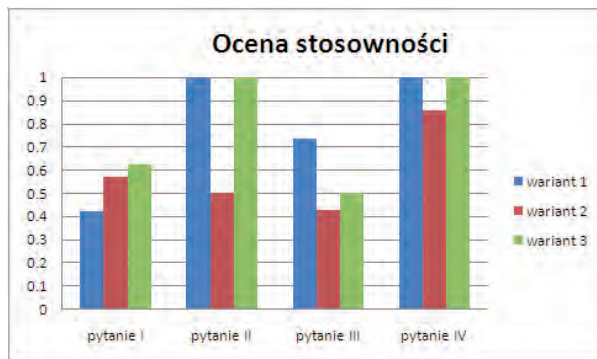
Formularze z odpowiedziami uczestników eksperymentu przesłano pocztą internetową do autora tuż po zakończeniu badania.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań opracowano w postaci wykresów słupkowych. Osobno przedstawiono wyniki oceny stosowności wykorzystania dynamicznych sygnatur obrotowych oraz wyniki oceny przydatności dynamicznych sygnatur obrotowych do prezentacji zjawisk fizyczno-geograficznych w ujęciu czasowym.

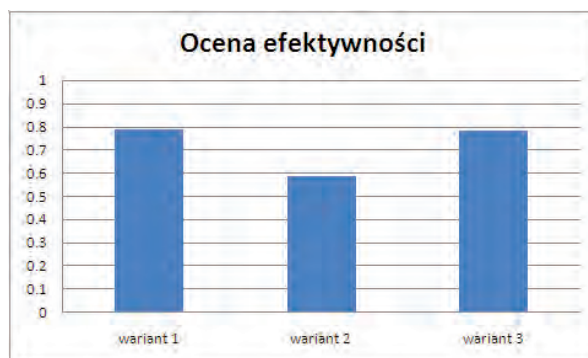
Z wykresu oceny stosowności użycia dynamicznych sygnatur wynika, iż wysokie oceny otrzymał wariant pierwszy – wyróżniał się najwyższym wskaźnikiem. Stwierdzono więc, że animowane serie czasowe, w których dynamizowany jest kolor, są poprawną formą prezentacji danych fizyczno-geograficznych w ujęciu czasowym. Wariant drugi, w którym dynamizowana była orientacja, otrzymał najniższą średnią, zatem jego użycie do przedstawień dynamicznych jest nieodpowiednie. Wariant trzeci był również wysoko oceniony. Otrzymał wyższą notę od wariantu pierwszego w pierwszym pytaniu, natomiast niższą w przypadku pytania trzeciego. W pytaniu drugim i czwartym otrzymał taką samą ocenę, jak wariant pierwszy. Stwierdzono więc, że stosowanie w trakcie zmiany animacji zmiany koloru oraz zmiany orientacji do prezentacji dynamiki stężeń fosforu jest jak najbardziej poprawne.

Za pomocą wykresu oceny efektywności przedstawiono statystykę dotyczącą trzech wariantów animacji w przekazywaniu informacji przestrzenno-czasowej.



Ryc. 3. Wykres oceny stosowności użycia sygnatur obrotowych

Fig. 3. Chart of assess the appropriateness of the use of rotating signatures



Ryc. 4. Wykres oceny efektywności sygnatur obrotowych

Fig. 4. Chart of assess the effectiveness of rotating signatures

Zarówno wariant pierwszy, jak i wariant trzeci otrzymały niemalże identyczne oceny (odpowiednio 0,789 i 0,781), natomiast wariant drugi, który dynamizował tylko orientację, okazał się najmniej efektywny i powodował najwięcej błędnych odpowiedzi.

PODSUMOWANIE

Stosowność wykorzystania techniki animacji daje dobre rezultaty w procesie wizualizacji zjawisk dla obiektów punktowych. Ciekawym rozwiązaniem, wzbudzającym zainteresowanie użytkownika, okazała się prezentacja stężenia fosforu całkowitego w jeziorach reperowych w latach 2000–2008. Jednak użyteczność pewnych metod mapowania wciąż jest pod znakiem zapytania. Z powyższych badań wynika, iż informacja o zjawiskach fizyczno-geograficznych, takich jak dynamika stężeń fosforu całkowitego w jeziorach, może być skutecznie przekazywana za pomocą dynamicznych (animowanych) zmiennych złożonych (kolor i orientacja). Wykorzystanie kilku zmiennych graficznych i zmiennych dynamicznych (szybkość obrotu, sposób przejścia czy długość trwania pojedynczego obrazu animacji) może pozytywnie wpływać na przekazywanie informacji o środowisku w ujęciu czasowym. Rotacja wywołana animacją obrotu sygnatur połączona z prezentacją zjawiska za pomocą koloru wzmacnia percepcję odbiorcy takiej mapy. Przedstawiona metoda prezentacji punktowych, ale zarazem dynamicznych danych fizyczno-geograficznych może posłużyć do zwrócenia uwagi użytkownika animacji kartograficznej na pewne zjawiska, które za pomocą zmiennych prostych (jedna zmienna graficzna) są trudne do uchwycenia.

LITERATURA

- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z. 2010: *Hydrologia ogólna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Bródka S., Medyńska-Gulij B., Kaczmarek L. 2010: *Projekty oceny środowiska przyrodniczego w technologii GIS*, [w:] S. Bródka (red.), *Praktyczne aspekty ocen środowiska przyrodniczego*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 247–330.
- Choiński A. 2008: *Limnologia fizyczna Polski*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Dorling D. 1992: *Stretching Space and Splicing Time: From Cartographic Animation to Interactive Visualization*, *Cartography and Geographic Information Systems*, 12, 4, 215–227.
- DiBiase D. 1992: *Animation and the role of map design in scientific visualization*, *Cartography and Geographic Information Systems*, 19, 4, 201–214.
- Dukaczewski D. 2008: *Metody projektowania prostych i złożonych czasowych animacji kartograficznych*, *Roczniki Geomatyki*, 6, 6, 25–46.
- Jańczak J. 1996: *Atlas jezior Polski*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Kajak Z. 2001: *Hydrobiologia – Limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

- Kowalski P. 2006: *Problem funkcjonalności prezentacji kartograficznych w internetowych serwisach informacyjnych*, Materiały XXXI Ogólnopolskiej Konferencji Kartograficznej.
- Kudelska D., Cydzik D., Soszka H. 1994: *Wtyczne monitoringu podstawowego jezior*, OIKOS, Warszawa.
- Medyńska-Gulij B. 2012: *Kartografia i geowizualizacja*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Raport o stanie środowiska w Polsce 2008, 2010: Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 1–124.
- Zhang J., Hu W., Zhang Y. 2001: *Study on the dynamic graphic symbols in quantitative map*, Geo-Information Science, 1, 77–80.
- Żyszkowska W., Spallek W., Borowicz D. 2012: *Kartografia tematyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.