

Zbigniew R. Boryśławski

Komputerowy system informacji przestrzennej dla ochrony środowiska naturalnego w zlewni Oławy

Aktywna ochrona środowiska przyrodniczego oraz podejmowanie optymalnych decyzji, w przypadkach nagłych i nieoczekiwanych zmian jego parametrów, narzuca konieczność stosowania najnowszych technologii umożliwiających natychmiastową ocenę zagrożeń i stanu zasobów naturalnych. Dla przykładu, pogarszający się stan jakości wód rzecznych [1] wymaga gromadzenia i przetwarzania dużej ilości różnorodnych informacji.

Systemy informacji geograficznej – GIS (*Geographic Information System*), dla których alternatywną nazwą są Systemy Informacji Przestrzennej (SIP), umożliwiają tworzenie, przechowywanie, prezentację oraz analizę danych odniesionych przestrzennie. Bazy danych i modele budowane przy pomocy GIS pozwalają na uchwycenie nowych, często niemożliwych dla standardowych metod, związków pomiędzy procesami i zjawiskami różnicowanymi w czasie lub przestrzeni. GIS jest technologią o wybitnie interdyscyplinarnym charakterze, łączącą najwyższej jakości sprzęt komputerowy, wyspecjalizowane oprogramowanie oraz wysoko kwalifikowany personel [2]. GIS znajduje bezpośrednie zastosowanie nie tylko w badaniach geograficznych, lecz stał się też wiodącą technologią w ochronie środowiska, zastępując częściowo metody tradycyjne [3-8].

Celem niniejszego artykułu było przedstawienie zasad modelu GIS, który został opracowany dla celów ochrony środowiska obszaru zlewni Oławy, ze szczególnym uwzględnieniem jakości wód powierzchniowych. Obszar ten nie został wybrany przypadkowo, bowiem Oława i jej dopływy stanowią jedno z podstawowych źródeł wody do picia dla mieszkańców aglomeracji wrocławskiej oraz dla Strzelina i Oławy, nie licząc mniejszych miejscowości. Badania wykazują, że środowisko przyrodnicze na obszarze zlewni Oławy jest wysoce zdegradowane, a sposoby użytkowania jej terenów negatywnie wpływają na jakość wód powierzchniowych [9].

Prace nad modelem GIS dla zlewni Oławy zostały sfinansowane przez Agencję Stanów Zjednoczonych ds. Międzynarodowego Rozwoju (*United States Agency for International Development*) oraz Komitet Badań Naukowych. Udział w badaniach biorą: Uniwersytet Wrocławski, Uniwersytet Stanowy Ohio (USA) oraz Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Oddział we Wrocławiu.

Podstawy GIS

Ponieważ technologia GIS nie jest jeszcze powszechnie znana, poniżej przedstawiono krótką charakterystykę przestrzennych systemów informacyjnych. Źródłem informacji dla GIS są mapy

topograficzne i tematyczne, zdjęcia lotnicze i satelitarne oraz systemy monitoringu [10,11]. Dane cyfrowe z map pozyskiwane są najczęściej poprzez ich ręczną digitalizację lub skanowanie. Zdjęcia satelitarne (np. Landsat TM, SPOT) mogą być bezpośrednio przenoszone do systemu komputerowego. Gromadzenie danych dla GIS jest procesem kosztownym. Ocenia się, że 80 % kosztów pochłania utworzenie bazy informacyjnej GIS [12]. Bardzo drogie jest też oprogramowanie komputerów oraz szkolenie personelu. Jednakże korzyści płynące z posiadania takiej bazy są dużo większe niż poniesione koszty.

Istnieją dwa podstawowe modele przechowywania danych w GIS, tj. model wektorowy i model rastrowy. W modelu wektorowym obiekty przestrzenne opisywane są za pomocą elementów geometrycznych, takich jak linie, punkty i wieloboki, a współrzędne elementów zapisywane są w postaci wektorów. Wzajemne powiązania pomiędzy elementami, nazywane topologią, pozwalają na precyzyjny opis dowolnego obiektu przestrzennego, np. zbiornika wodnego lub rzeki. W systemie wektorowym informacja stanowiąca podstawę przestrzennej bazy GIS jest najczęściej organizowana w postaci tzw. warstw tematycznych tworzących mapy cyfrowe, np. sieci hydrologicznej, sposobów użytkowania terenu, gleby i szaty roślinnej itp.

W modelu rastrowym dane przechowywane są w postaci pól o jednakowych rozmiarach, odpowiadających rozdzielczości mapy lub zdjęcia. Każdemu polu przypisywany jest atrybut w postaci cyfrowej, kodujący znaczenie tego pola. W ten sposób pola o jednakowej wartości atrybutu wyznaczają obiekty przestrzenne. Dokładność wyznaczenia granic obiektów zależy więc bezpośrednio od rozmiarów pola podstawowego i jest w zasadzie mniejsza niż w modelach wektorowych.

W obu modelach konieczne jest posługiwanie się komputerami o wielkiej mocy obliczeniowej, dysponującymi dużą pamięcią operacyjną i masową oraz wysoce wyspecjalizowanym oprogramowaniem.

GIS dla zlewni Oławy

Dane do utworzenia GIS dla zlewni Oławy stanowiły:

- zdjęcie satelitarne Landsat TM [190/91/07/08] o rozdzielczości 30 × 30 m,
- mapy topograficzne w skali 1:50.000,
- mapy glebowe w skali 1:25.000,
- wyniki analiz jakości wody w 13 przekrojach pomiarowo-kontrolnych,
- sposób zagospodarowania zlewni.

Na podstawie tych danych utworzono następujące cyfrowe warstwy tematyczne:

- cyfrowy model terenu,
- mapę gleb,
- mapę wykorzystania terenu,
- mapę sieci hydrologicznej,
- mapę sieci transportowej,
- mapę jakości wód Oławy.

Zdjęcie satelitarne stanowiło główne źródło do weryfikacji i aktualizacji istniejących, często nieaktualnych, map topograficznych i tematycznych. Do utworzenia GIS wykorzystano oprogramowanie firmy Environmental Systems Research Institute (USA) – PC ARC/INFO v.3.4D oraz ARC/INFO v.6.1.1 i ERDAS Imagine v.8.1, dla stacji roboczej SUN Sparc 2.

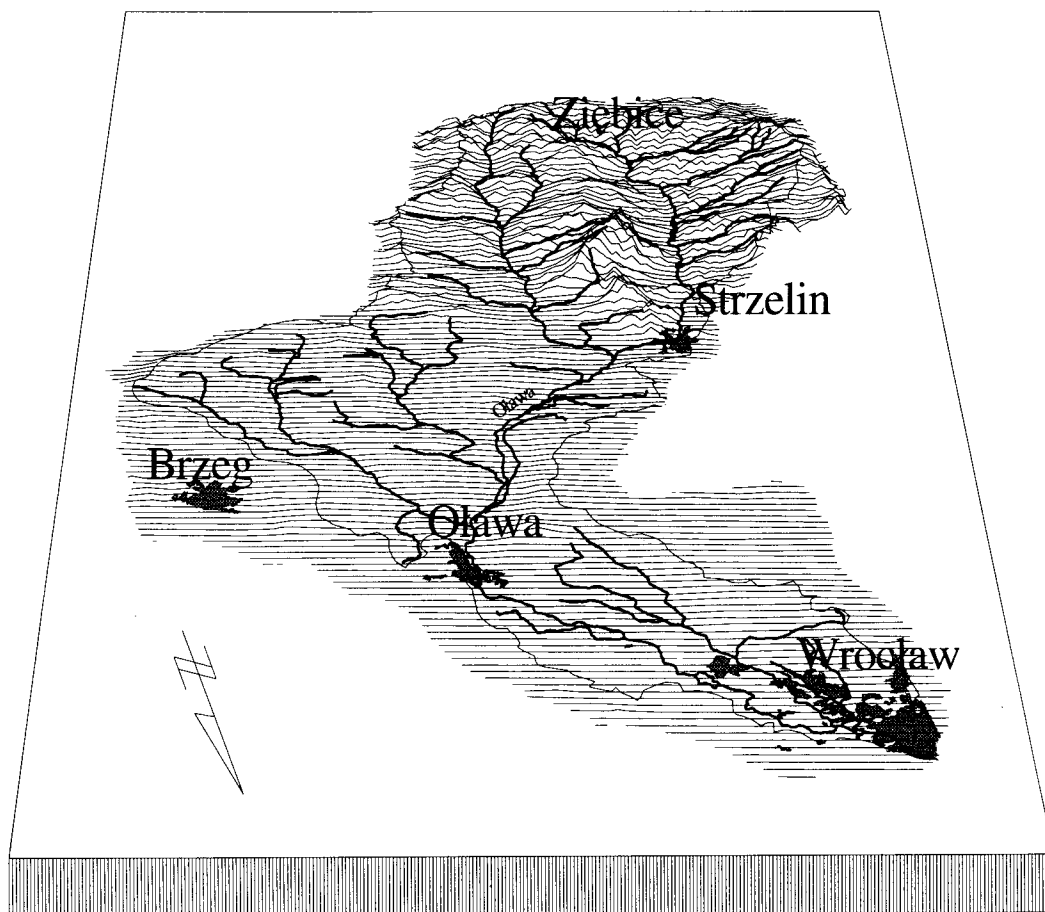
Wykorzystanie GIS

Skonstruowana baza GIS dla zlewni Oławy pozwala na analizę rzeczywistych i potencjalnych zagrożeń dla środowiska naturalnego. Jednocześnie GIS umożliwia też szybką prezentację stanu środowiska, np. jakości wód, tak dla fachowców, jak i dla opinii publicznej oraz natychmiastową aktualizację danych. Poniżej przedstawiono przykłady wykorzystania GIS dla badanego terenu.

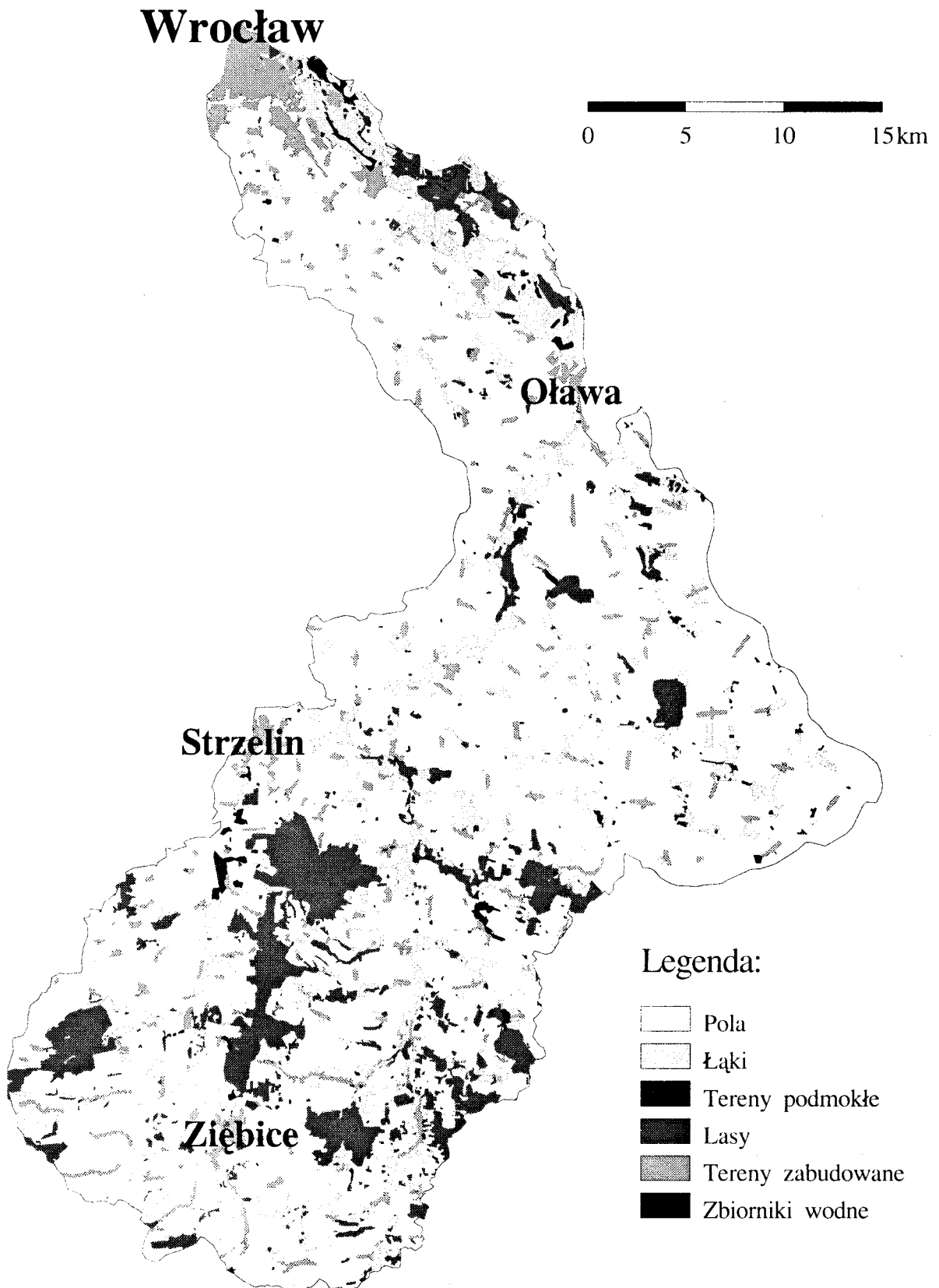
Rysunek 1 ilustruje cyfrowy model terenu dla zlewni. Północna część zlewni charakteryzuje się niewielkimi nachyleniami od 0 do 3°, natomiast w części południowej spadki terenu są dużo większe i dochodzą do 15°. Ukształtowanie terenu sprawia, że spływ powierzchniowy, decydujący o jakości wody, jest największy w górnym biegu rzeki, a zatem – przy intensywnej gospodarce – najbardziej groźny dla zanieczyszczenia wód Oławy.

Rysunek 2 pokazuje sposoby wykorzystania terenu w granicach zlewni na podstawie istniejących map topograficznych oraz sklasyfikowanego zdjęcia satelitarnego z satelity Landsat TM. Większość obszarów zlewni wykorzystywana jest dla potrzeb rolnictwa. Intensywna gospodarka rolna sprawia, że zanieczyszczenia obszarowe stanowią podstawową przyczynę złej jakości wód.

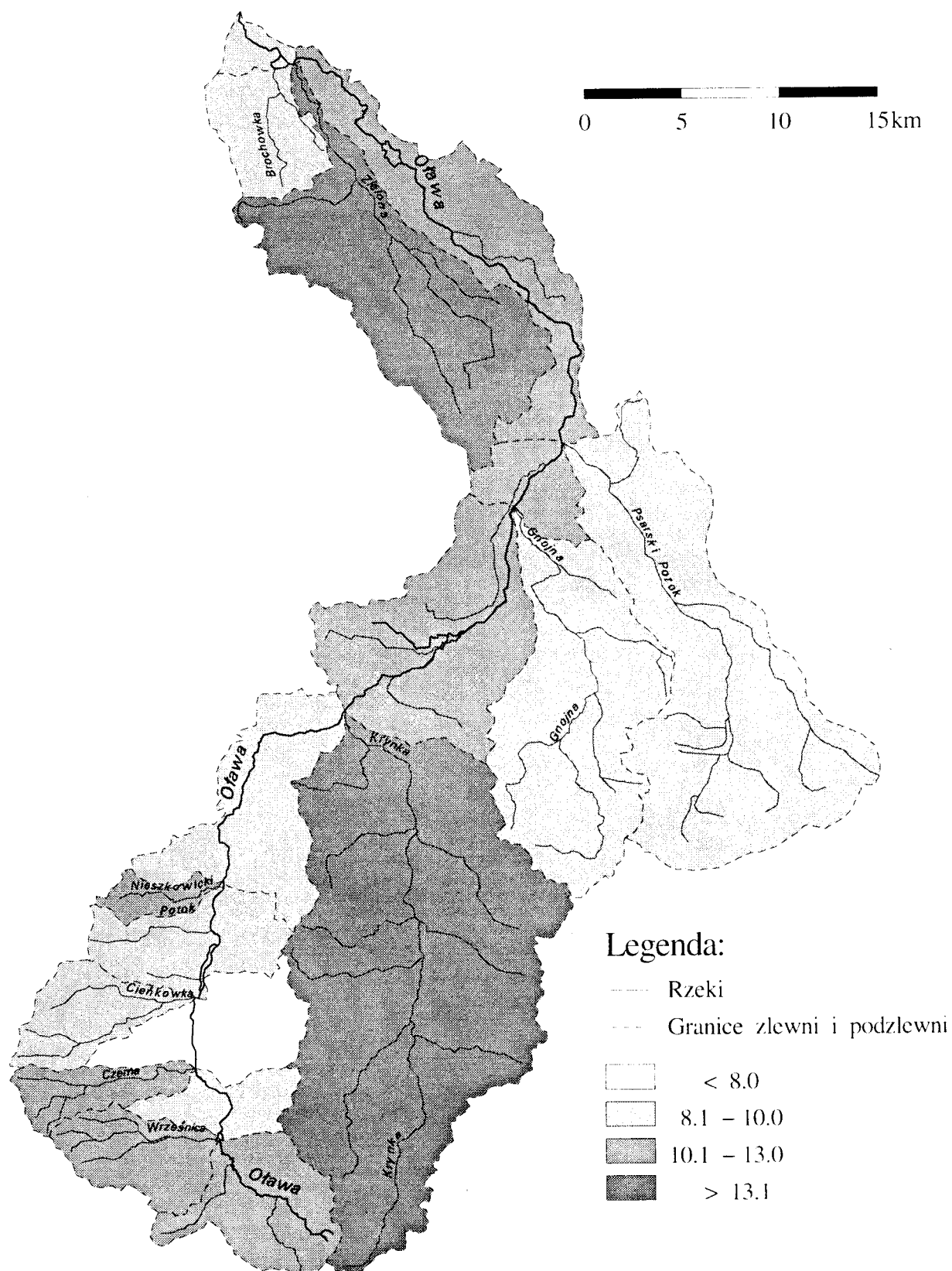
Mapa na rysunku 3 pokazuje obciążenie zlewni cząstkowych fosforem. Najwyższe zawartości tego pierwiastka notuje się dla zlewni cząstkowych Krynki i Zielonej. Podobnie jest w przypadku wskaźników obciążenia podzlewni azotem (rys.4). Wskaźniki te odzwierciedlają sposoby użytkowania terenów obu podzlewni. Tereny użytkowane rolniczo stanowią 70 % obszaru podzlewni Krynki i 87 % obszaru podzlewni Zielonej. Obszary o najniższych wskaźnikach obciążenia fosforem i azotem to zlewnia bezpośrednia od ujścia potoku Czerna do ujścia potoku Cieńkówka oraz cząstkowa zlewnia Cieńkówki. Obszar ziem użytkowanych rolniczo wynosi dla tych podzlewni odpowiednio 62% i 58%. Obie te podzlewnie charakteryzuje natomiast najwyższy stopień zalesienia dla wszystkich zlewni cząstkowych, odpowiednio 26% i 32%.

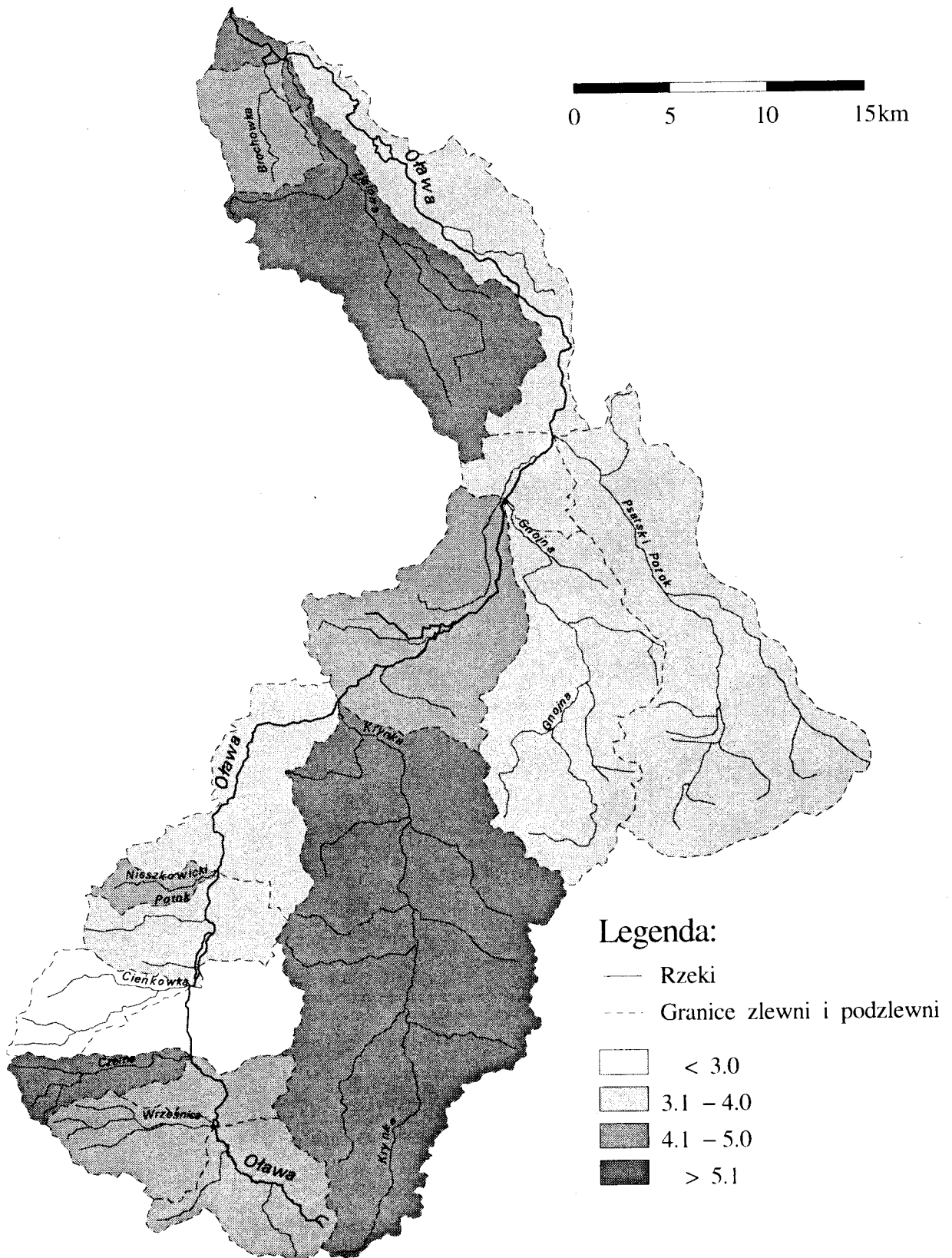


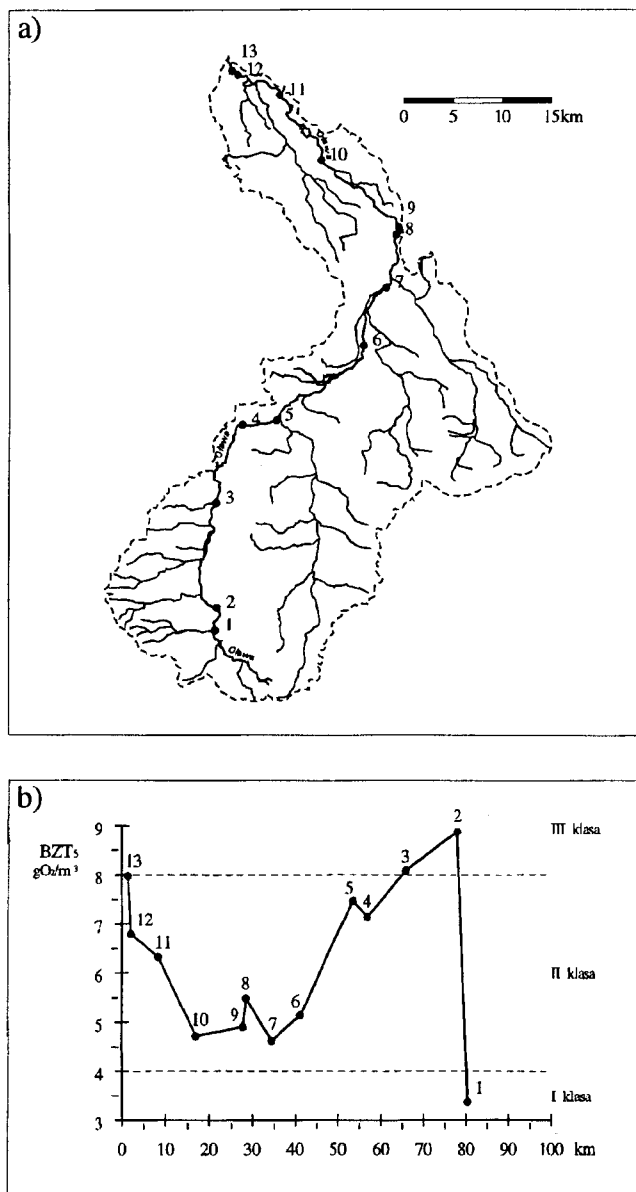
Rys. 1. Cyfrowy model terenu dla obszaru zlewni Oławy



Rys. 2. Mapa użytkowania terenów w zlewni Oławy

Ryc. 3. Obciążenie zlewni częściowych Oławy ładunkiem fosforu, tP/km²a

Rys. 4. Obciążenie zlewni cząstkowych Oławy ładunkiem azotu, tN/km²a



Rys. 5. (a) Rozmieszczenie stacji oceny jakości wód na terenie zlewni Oławy, (b) zmiany wartości BZT₅ wód Oławy (średnie wieloletnie, wg IMGW Wrocław)

Rysunek 5 jest przykładem wykorzystania GIS do wizualizacji obecnego stanu środowiska. Na rysunku 5a pokazano położenie stacji pomiarowo-kontrolnych, monitorujących stan jakości wód Oławy, natomiast rysunek 5b ilustruje zmiany BZT₅ wody w rzece, jednego z podstawowych wskaźników stanu jakości wody. Biorąc pod uwagę wartości BZT₅, jedynie na odcinku 11 km od źródeł rzeki wody Oławy spełniają warunki określone dla I klasy czystości, natomiast na pozostałym odcinku należą do II i III klasy. Zaletą wykorzystania GIS do prezentacji takich danych jest też możliwość bardzo szybkiego wprowadzenia aktualnej informacji pochodzącej z monitoringu jakości wód.

Jak wykazały badania, duży wpływ dla jakości wody ma użytkowanie terenu bezpośrednio graniczącego z ciekami [13]. Dlatego też poznanie warunków panujących na takich obszarach oraz wyznaczenie miejsc wymagających szczególnej ochrony ma

istotne znaczenie dla jakości wód. Jedną z podstawowych zalet GIS jest możliwość tzw. analizy buforowej. Na rysunku 6 przedstawiono mapę użytkowania terenów w obrębie pasa (bufora) o szerokości 300 m wokół głównych cieków zlewni.

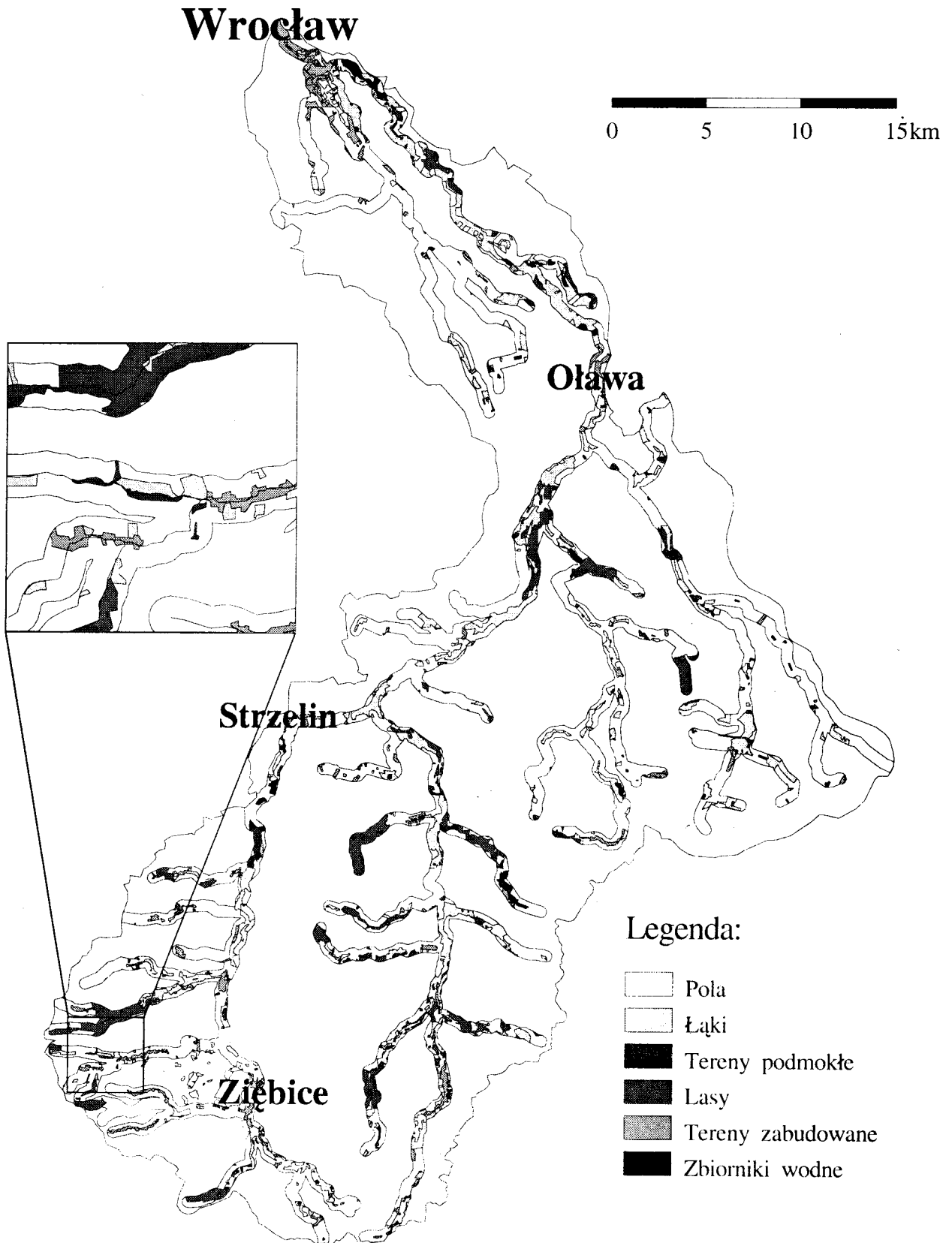
Z analizy tej mapy wynika, że największy obszar bufora stanowią pola uprawne (64%), powodujące silną eutrofizację wód, a 6% obszaru bufora to tereny graniczące z wioskami lub miastami. Ponieważ większość wiosek na terenie zlewni nie ma pełnosprawnych oczyszczalni ścieków [9], stanowią one dodatkowe źródła zanieczyszczeń. Lasy to 10% bufora, a najcenniejsza z punktu widzenia ochrony jakości wód roślinność łąkowa lub szuwarowa to jedynie niecałe 2% bufora. Taka struktura użytkowania terenu musi przynosić niekorzystne zmiany w jakości wód Oławy. Tereny wyznaczone buforem wymagają jak najszybszych działań ochronnych i zapobiegawczych. Resztki naturalnej szaty roślinnej powinny być bezwzględnie chronione, jako naturalne filtry dla zanieczyszczeń obszarowych. Należy też wyznaczyć tzw. korytarze ekologiczne łączące niezdegradowane jeszcze obszary. W miarę posiadanych funduszy, tereny przeznaczone pod uprawy powinny być wykupione, a przynajmniej przeznaczone na działalność rolniczą odbywającą się bez intensywnego nawożenia i stosowania środków ochrony roślin. W tym konkretnym przypadku, należałoby wykupić, względnie zmienić sposób użytkowania na obszarze o powierzchni 186 km², ponieważ taka jest wielkość ziem ornych na rozważanym terenie.

Podsumowanie

Baza GIS umożliwia szybką aktualizację i prezentację danych, co jest niezwykle istotne szczególnie przy informacjach dostarczanych z monitoringu ciągłego, które powinny być wykorzystane w bardzo krótkim czasie. Agencja Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (USEPA) podaje, że znaczna część danych pochodzących z monitoringu środowiska w USA pozostaje nie wykorzystana, ze względu na brak odpowiednich systemów do ich szybkiego i efektywnego przetwarzania [14]. Dlatego też od 1990 roku wprowadzono w Stanach Zjednoczonych projekt pod nazwą EMAP (*Environmental Monitoring and Assessment Program*), wykorzystujący GIS do przetwarzania i integracji danych pochodzących z monitoringu środowiska.

Konstrukcja GIS dla zlewni Oławy stwarza możliwości nowoczesnej, aktywnej działalności na rzecz poprawy stanu środowiska tego obszaru. GIS spełnia wszystkie warunki relacyjnych, otwartych baz danych, jest więc możliwe dołączenie nowej informacji, szczególnie, że zaprezentowana w tym artykule konkretna realizacja bazy GIS umożliwia import z większości istniejących baz, takich jak DBASE, TIGER i ORACLE. Możliwe jest też, przy względnie niewielkich kosztach, dołączanie aktualnej informacji o zmianach stanu środowiska przyrodniczego zlewni na podstawie zdjęć satelitarnych i lotniczych.

Podane przykłady wykorzystania GIS stanowią tylko niewielki fragment możliwości tej technologii. GIS stanowi też potężne narzędzie służące do modelowania procesów przyrodniczych [15]. Pozwala on na symulację wielu scenariuszy i prognozowanie różnych zmian, np. zmian jakości wody spowodowanych zwiększonym wpływem powierzchniowym [16]. GIS jest technologią, która wprowadza nową jakość do ochrony naturalnego środowiska człowieka.



Rys. 6. Obszary w obrębie bufora o szerokości 300 m wokół głównych cieków zlewni Olawy
(w powiększeniu bufor dla fragmentów zlewni częściowych Cierlikówki i Czerniej)

LITERATURA

1. M. MYŚIAK: Zmiany jakości wód rzecznych w Polsce w dwudziestopięciolecie 1964–1990. *Ochrona Środowiska*, 1994, nr 1(52), ss. 9-11.
2. P.A. BURROUGH: Principles of geographical information systems for land resources assesment. Oxford Science Publications, Oxford 1986.
3. D.F. MARBLE: Geographic information systems as a tool to assist in the preservation of biological diversity. A report for Office of the Technology assessment Congress of the United States, 1985 (maszynopis).
4. C.A. JOHNSTONE et.al: Geographic information systems for cumulative impact assesment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1988, Vol. 54, pp. 1609-1615.
5. L.B. JOHNSON: Analyzing spatial and temporal phenomena using geographic information systems. A review of ecological applications. *Landscape Ecology*, 1990, Vol. 4, pp. 31-41.
6. P.B. BRIDGEWATER: Landscape ecology, geographic information systems and nature conservation. In: *Landscape ecology and geographic information systems* [R.Haines-Young, D.R.Green, S.Cousin, Eds.] Taylor & Francis, London 1993, pp.23-36.
7. T. MERTZ: GIS targets agricultural non-point pollution. *GIS World*, April 1993, pp. 41-44.
8. A.Y. SMITH, R.J. BLACKWELL: Development of information data base for watershed monitoring. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1980, Vol. 46, pp. 1027-1038.
9. A. SZYJKOWSKI [red.]: *Kampania na rzecz odnowy biologicznej rzeki Oławy*. PTH, Wrocław 1993.
10. J. GAŹDZICKI: *Systemy informacji przestrzennej*. PPWK, Warszawa 1990.
11. P. WERNER: *Wprowadzenie do geograficznych systemów informacyjnych*. Uniwersytet Warszawski, Warszawa 1992.
12. ESRI: *ARC/INFO Data Model, Concepts & Key Terms*. Environmental Systems Research Institute, INC. Redlands 1991.
13. L.M. OSBORNE: Empirical relationship between land use/cover and stream water quality in an agricultural watershed. *Journal of Environmental Management*, 1988, Vol. 26, pp. 9-27.
14. United States Environmental Protection Agency: *Environmental monitoring and assesment program EPA/600/9-90/001*, Washington DC 1990.
15. M.F. GOODCHILD, B.O. PARK, L.T. STEYAERT [Eds.]: *Environmental Modeling with GIS*. Oxford University Press, New York 1993.
16. T.M. HEIDTKE, M.T. AUER: Application of a GIS-based nonpoint source nutrient loading model for assesment of land development scenarios and water quality in Owassco Lake, New York. *Wat. Sci. Tech.*, 1993, Vol. 28, pp. 595-604.

Computer-Based Spatial Information System for Nature Conservation in the Oława River Watershed

Effective improvement of river water quality requires continuous collection and processing of relevant information, so as to provide immediate assessment not only of environmental hazards, but also of environmental resources. This paper describes a computer-aided spatial information system (referred to as Geographic Information System, GIS) which is to store data on landscape and water quality in the Oława River Watershed. The primary objective of developing such a system was to enhance environment conservation in the area of interest. Regular cartographic records of topography,

pedology, hydrology and land use have been incorporated into the GIS in the form of separate data layers. Satellite imagery (Landsat TM) has been used for updating spatial information. In the paper particular consideration is given to the utility of the GIS in visualizing and displaying environmental data. The GIS model shows the relationships between nutrient loadings and land use type within the subwatersheds. It also allows identification of the areas that are critical to water quality. Discussed is also the potentiality of the GIS for environmental modelling.