

Elżbieta Bajkiewicz-Grabowska

Zakład Hydrologii
Instytutu Nauk Fizycznogeograficznych
Uniwersytetu Warszawskiego
ul. Krakowskie Przedmieście 30
00—927 Warszawa

**Ocena naturalnej podatności
jezior na degradację
i rola zlewni w tym procesie**

Natural degradation ability
of lakes and the role of
drainage area in the process

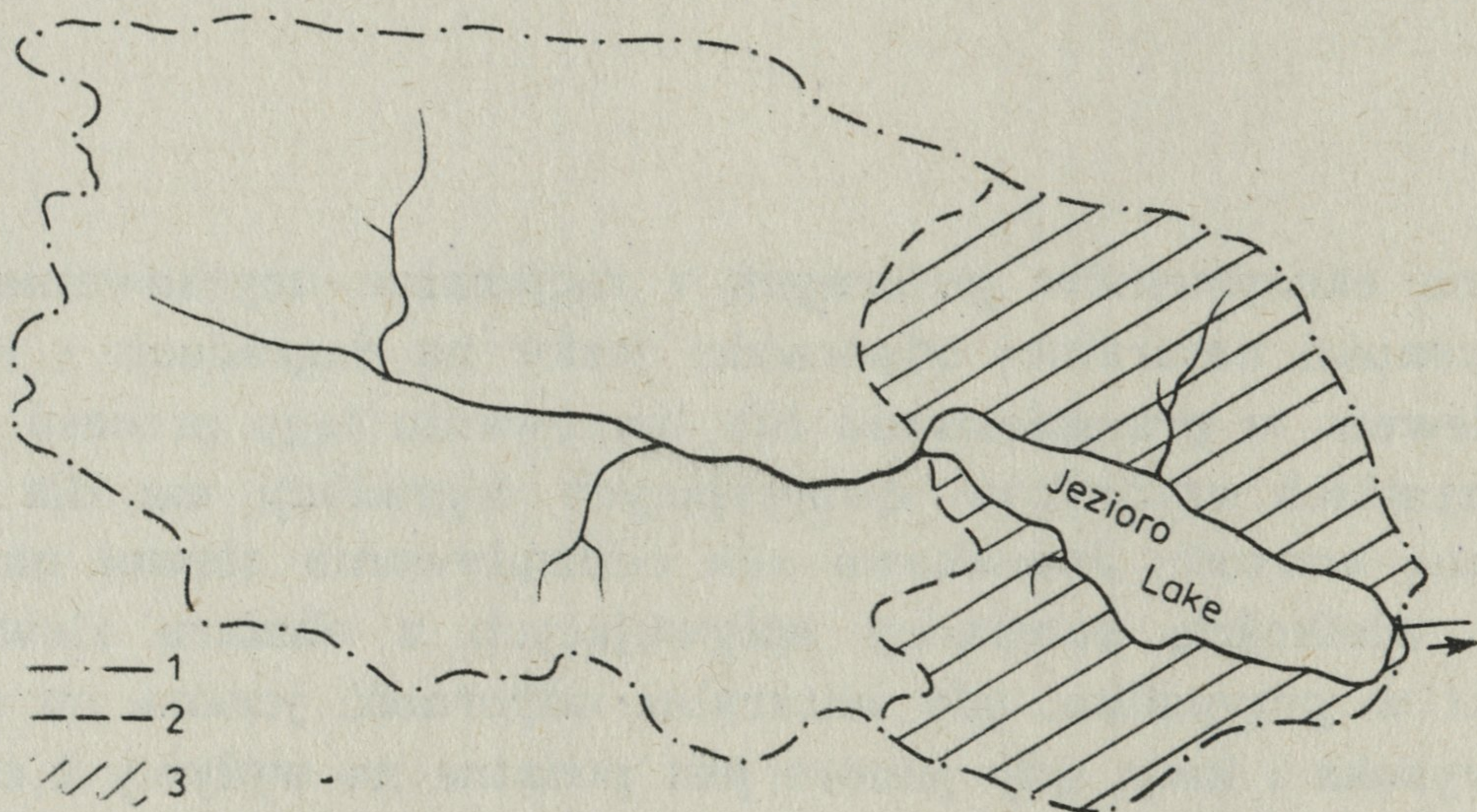
1. Wstęp

Ochrona ekosystemów jeziornych i racjonalne użytkowanie wymagają znajomości naturalnej odporności jezior na degradację i roli, jaką spełnia zlewnia w przyspieszaniu lub hamowaniu tego procesu. Wypadkowa wszystkich czynników sprzyjających degradacji ma dla każdego jeziora inną wartość. Jednakowa siła oddziaływania zlewni na jeziora, wyrażona wielkością substancji spływających z obszaru zlewni, daje inny efekt w przypadku, gdy naturalna odporność jeziora na degradację jest wysoka i inny, gdy jezioro jest podatne na wpływy z zewnątrz. I odwrotnie, przy tej samej kategorii podatności jezior na degradację należy spodziewać się różnic w ocenie stanu ich trofii, gdy zlewnie oddziałują na jeziora w różnym stopniu. Dlatego też należy indywidualnie rozpatrywać każdy system zlewnia-jezioro, by w odpowiedni sposób zapobiegać pogarszaniu jakości wód jeziora, a tym samym zmniejszaniu naturalnych zasobów wód czystych.

Ocena podatności jezior na degradację uwzględniająca cechy morfometryczne, hydrograficzne i zlewniowe stanowi jeden z elementów systemu oceny jakości jezior (SOJJ) (K u d e l s k a i in. 1983), którego propozycja była publikowana w „Wiadomościach Ekologicznych” (K u d e l s k a i in. 1981). Niezależnie od SOJJ opracowano system oceniający zlewnię jako dostawcę pierwiastków biofilnych do jeziora (B a j k i e w i c z - G r a b o w s k a 1981, 1983, 1985). Chcąc wykorzystać obydwa systemy w praktyce, np. przy ocenie stanu ekologicznego jezior, należy dokonać pewnej modyfikacji. W niektórych bowiem punktach obydwa systemy nakładają się: raz dana cecha uwzględniona jest w ocenie podatności jeziora na degradację a raz w ocenie zlewni jako dostawcy materii do jeziora. Słuszne zatem wydaje się zaproponowanie takiej oceny naturalnej podatności jezior na degradację, by pewne cechy pozwalały oceniać zlewnię jako dostawcę materii do zbiornika, a inne — odporność samego jeziora na wpływy z zewnątrz. Taką propozycję przedstawiam w niniejszej pracy jednocześnie prezentując wyniki tej oceny dla grupy wybranych jezior z obszaru Polski północno-wschodniej.

2. Metoda oceny

Wpływ zlewni na eutrofizację jeziora jest niewątpliwy. Trudno bowiem interpretować sytuację ekologiczną zbiornika bez odniesienia do jego lądowego otoczenia, które funkcjonuje stale jako dostawca różnych form materii, w tym również wnoszonej bezpośrednio lub pośrednio przez człowieka. Na jezioro oddziałuje jego zlewnia całkowita za pośrednictwem głównego dopływu tranzytowego (rys. 1). Z reguły wody



Rys. 1. Zlewnia jeziora

1 — granica całkowitej zlewni jeziora, 2 — granica oddzielająca zlewnię głównego dopływu, 3 — bezpośrednia zlewnia jeziora.

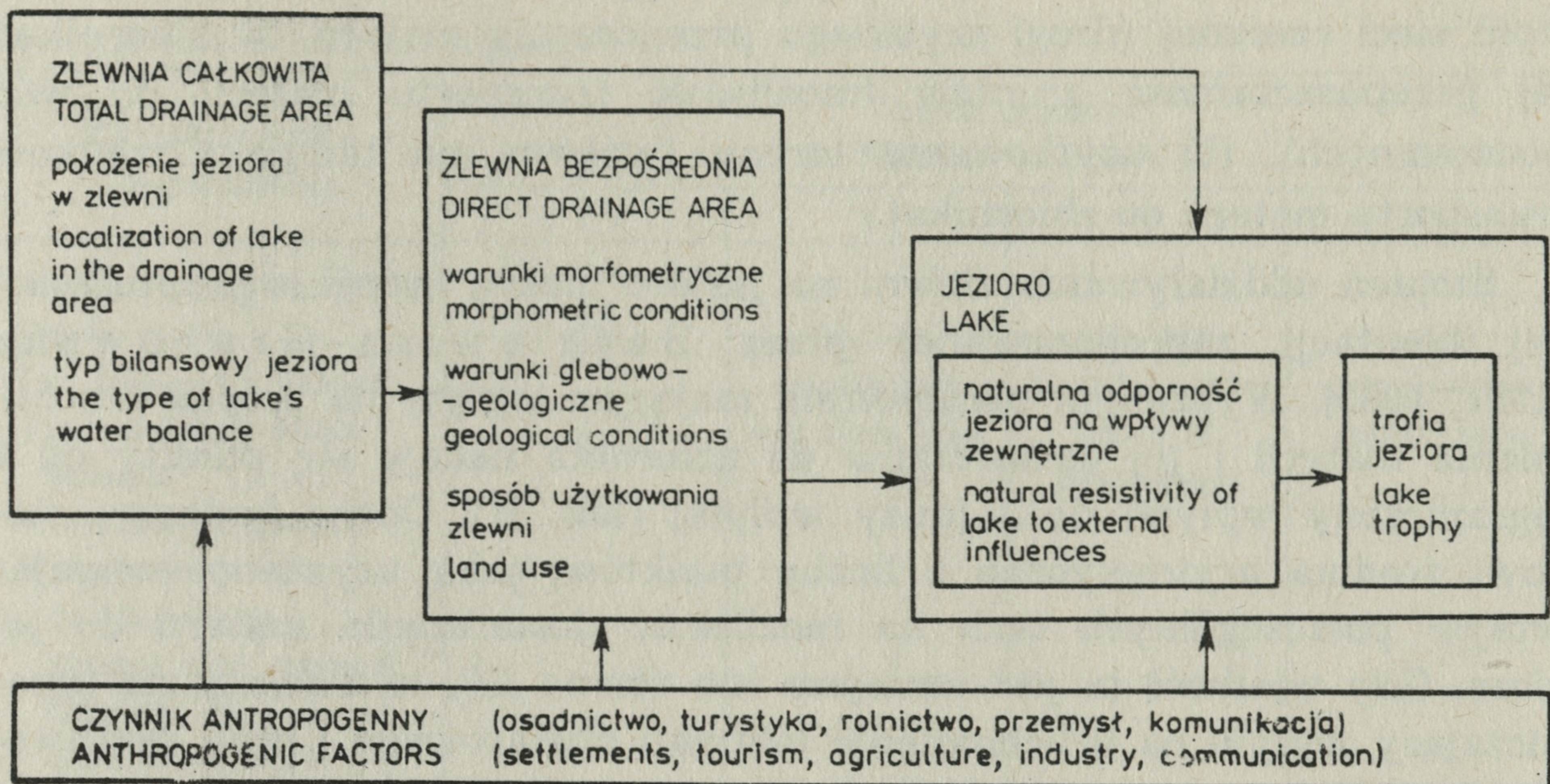
Drainage area of lake

1 — water divide of total drainage area of the lake, 2 — water divide of the drainage area of the transit river, 3 — direct drainage area

tego ciekę wzbogacone są w pierwiastki biofilne. W przypadku jeziora będącego odbiornikiem tych wód należy spodziewać się, że będzie ono miało wody o zdecydowanie gorszej jakości niż wskazują na to naturalne cechy jeziora i jego bezpośredniej zlewni. W takim przypadku nawet korzystne cechy naturalne zbiornika i jego zlewni nie są w stanie przeciwdziałać dominującemu wpływowi rzeki uchodzącej do jeziora.

Stopień oddziaływania całkowitej zlewni na jezioro można scharakteryzować dwiema cechami (rys. 2). Jedną jest tzw. współczynnik Ohlego (w hydrologii współczynnik jeziorności): iloraz całkowitej powierzchni zlewni jeziora i powierzchni zbiornika. Obrazuje on położenie jeziora w zlewni; im mniejsza wartość tej charakterystyki, tym bliżej strefy wododziałowej położone jest jezioro, czyli tym mniejszą zlewnię ma zbiornik (tab. I).

Drugą charakterystyką jest typ bilansowy jeziora. W zależności od tego, czy jezioro jest przepływowe, bezodpływowe czy odpływowe jest lub nie ma możliwości wprowadzenia do niego naturalnym ciekim dodatkowego ładunku substancji biogenych.



Rys. 2. Oddziaływanie zlewni i antropopresji na jezioro
The impact of drainage area and man's impact on the lake

Tab. I. Miara położenia jeziora w zlewni — wybrane przykłady
Localization of lake in the drainage area — selected examples

Jezioro Lake	Powierzchnia całkowita zlewni jeziora Total drainage area of lake	Powierzchnia bezpośrednio zlewni jeziora Direct drainage area of lake	Współczynnik Ohlego Ohle's index
Wigry	453,70	94,30	21
Liwieniec	342,20	14,80	421
Iławskie	362,70	7,17	235
Elckie	966,90	40,90	253
Kraksy Duże	87,60	7,59	198
Hartowiec	12,20	12,20	18
Kołowin	20,80	20,80	27
Piłakno	10,80	10,80	4
Kierzlińskie	16,60	16,60	17
Majcz Wielki	18,90	18,90	2
Ołów	3,19	3,19	5
Krutynskie	592,60	12,00	1077

Naturalne cechy środowiska fizycznogeograficznego zlewni sprawiają, że bezpośrednia zlewnia jeziora może przyspieszać lub hamować dostawę materii (w tym pierwiastków biofilnych) do jeziora. Wielkość ładunku obszarowego trafiającego do zbiornika zależy od takich charakterystyk jak: (1) wielkość zlewni biorącej udział w dostawie materii (miarą jest stopień bezodpływowości terenu), (2) średni spadek zlewni, którego wielkość warunkuje spływ obszarowy i nasilenie erozji wodnej, (3) gę-

stość sieci rzecznej (drogi szybkiego przenoszenia materii do zbiornika), (4) przepuszczalność gruntów (możliwość transportu materii do wód podziemnych), (5) użytkowanie terenu (wpływa na tempo i wielkość transportu materii do zbiornika).

Stopień oddziaływania zlewni na jezioro można ocenić wg uproszczonej bonitacji zaproponowanej przez B a j k i e w i c z - G r a b o w s k ą (1981, 1985). Wybrany parametrem mającym wpływ na proces uruchomienia materii i jej dostarczenia do zbiornika nadaje się punkty od 0 (ograniczony wpływ) do 3 (duży wpływ) (tab. II). Ocenę końcową stanowi średnia arytmetyczna z liczby punktów, jaką uzyskano oceniając wpływ poszczególnych cech na możliwość dostarczenia materii do jeziora. Gdy wielkość ta jest mniejsza lub równa 1,0, to zlewnia ma ograniczający wpływ na uruchomienie ładunku obszarowego i brak możliwości dostawy materii do zbiornika (grupa 1); gdy przyjmuje wartość 1,1—1,4, zlewnię charakteryzuje mały wpływ na uruchomienie ładunku obszarowego i niewielka możliwość jego dotarcia do jeziora (grupa 2); gdy wynosi 1,5—1,9 zlewnia ma średnie możliwości dostarczenia materii do jeziora (grupa 3), a gdy jest równa lub wyższa od 2,0, to zlewnia odznacza się dużą możliwością dostarczenia materii do jeziora (grupa 4). Stosując powyższą ocenę można jednocześnie wskazać, która cecha sprzyja uruchamianiu materii w zlewni (np. duże spadki, silny drenaż), a która hamująco wpływa na ten proces (np. duży stopień bezodpływalności zlewni, małe spadki).

Dzięki swej naturalnej odporności jezioro może ograniczać oddziaływanie zlewni, może być mniej lub bardziej podatne na wpływy z zewnątrz. Tę naturalną odporność jeziora na wpływy zlewni można ocenić wg zmodyfikowanej propozycji SOJJ (K u d e l s k a i in. 1983).

Ocenie bonitacyjnej będą podlegały następujące charakterystyki. (1) Głębokość średnia jeziora (jeziora płytkie, przy tym samym zewnętrznym obciążeniu troficznym są znacznie żyźniejsze niż jeziora głębokie; K a j a k 1983). (2) Stosunek objętości jeziora do długości jego linii brzegowej (jest to miara oddziaływania długości strefy litoralu na objętość wody w jeziorze i wyraża odporność jeziora na wpływy z zewnątrz — im wyższą wartość przyjmuje ta charakterystyka, tym odporniejsze jest jezioro; S y l v e s t e r i in. 1974). (3) % stratyfikacji wód wyrażający udział hypolimnionu w całej objętości jeziora; im wyższa wartość, tym niższa produktywność jeziora. (4) Iloraz powierzchni dna leżącego w zasięgu epilimnionu i objętości epilimnionu, będący miarą recyrkulacji substancji biogennych — im wartość ta jest niższa, tym korzystniej dla stanu czystości wód jeziora. (5) Roczna intensywność wymiany wody w jeziorze rozumiana jako iloraz odpływu rocznego i pojemności jeziora. Świadczy o aktywności ustroju hydrologicznego jeziora (P a s ł a w s k i 1975); jezioro o większej przepływalności (wyższej intensywności

Tab. II. Ocena zlewni — dostawcy materii biogennej

Drainage area as nutrient supplier

Charakterystyka Characteristics	Liczba punktów Number of points			
	0	1	2	3
Współczynnik Ohlego Ohle's index	< 10	10—40	40—150	> 150
Typ bilansowy jeziora Typ of lake's water balance	—	odpływowe out flow lake	bezodpływowe share of depressions	przepływowe transit lake
Morfometria zlewni Morphometry of drainage area				
gęstość sieci rzecznej ($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$) channel network density ($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$)	< 0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	> 1,5
średni spadek zlewni (‰) average slope of the drainage area (‰)	< 5	5—10	10—20	> 20
obszary bezodpły- wowe (‰) share of depres- sions (‰)	> 60	45—60	20—45	< 20
Budowa geologiczna zlewni Geology of the drainage area	gliniasta loamy	piaszczysto- -gliniasta sand-loamy	gliniasto- -piaszczysta loam-sandy	piaszczysta sandy
Użytkowanie zlewni Land use	leśna forest	leśno-rolnicza forest-agri- cultural	rolnicza agricultural	leśno-rolnicza z zabudową forest-agricul- tural with settlements
	bagienna swampy	pastwiskowo- -rolnicza pasture-agri- cultural	pastwiskowo- -leśno-rolnicza z zabudową pasture-forest- -agricultural with settlements	pastwiskowo- -rolnicza z zabudową pasture-agri- cultural with settlements
	rolniczo-leśna agricultural- -forest			rolnicza z zabudową agricultural with settlements
	pastwiskowo- -rolniczo-leśna pasture-agri- cultural-forest			
	pastwiskowo- -leśno-rolnicza pasture-forest- -agricultural			

wymiany) może przyjąć ładunek większy niż jezioro o mniejszej wymianie nawet przy tej samej średniej głębokości (Vollenweider 1976). Wyższa intensywność wymiany wody w jeziorze umożliwia usunięcie zanieczyszczeń przez odpływ. (6) Współczynnik Schindlera, czyli iloraz powierzchni przyjmującej zanieczyszczenia (łączna powierzchnia zlewni i jeziora) i ilości rozcieńczającej je wody (pojemność jeziora).

Tab. III. Ocena podatności jeziora na degradację

The lake's degradation ability

Charakterystyka Characteristics	Liczba punktów Number of points			
	0	1	2	3
Głębokość średnia (m) Mean depth (m)	> 10	5—10	3—5	< 3
Pojemność jez. (tys. m ³) Lake volume (1000 m ³)				
Długość linii brzegowej (m) Shoreline length (m)	> 5	3—5	1—3	< 1
Stratyfikacja wód (%) Thermal stratification (%)	> 35	20—35	10—20	< 10
Dno czynne P (m ²) Epilimnion V (m ³)				
Active bottom surface P (m ²) Epilimnion volume V (m ³)	< 0,10	0,10—0,15	0,15—0,30	> 0,30
Intensywność wymiany wody Rate of annual water exchange	> 10	5—10	1—5	< 1
Współczynnik Schindlera Schindler's index	< 10	10—30	30—100	> 100

Poszczególnym cechom mającym wpływ na intensywność rozpatrywanego procesu nadaje się punkty od 0 (odporne) do 3 (nieodporne na wpływy z zewnątrz) (tab. III). Ocenę końcową stanowi średnia arytmetyczna z liczby punktów, jaką uzyskano oceniając wpływ poszczególnych cech podatności jeziora na degradację. Gdy otrzymamy wynik poniżej lub równy 0,8, to jezioro należy do I kategorii (dość odporne na wpływy z zewnątrz), przy 0,9—1,6 do II kategorii (średnio odporne), przy 1,7—2,4 do III kategorii (mało odporne) i powyżej 2,4 do IV kategorii (silnie narażone na wpływy z zewnątrz).

3. Zastosowanie oceny i interpretacja wyników

Powyższą propozycję oceny naturalnej podatności jezior na degradację i roli zlewni w intensywności tego procesu przedstawiono na przykładzie 23 jezior z obszaru pojezierzy Polski północno-wschodniej. Zle-

Tab. IV. Ocena oddziaływania zlewni na jezioro

The impact of drainage area on the lake

Jezioro Lake	Zlewnia całkowita jeziora Total drainage area of the lake		Zlewnia bezpośrednia jeziora Direct drainage area of the lake				Wynik punktacji Result of classification	Grupa zlewni The group of drainage area	
	współczynnik Ohlego Ohle's index	typ bilansowy jeziora type of lake's water balance	morfometria morphometry			budowa geologiczna geology			sposób użytkowania zlewni land use
			średni spadek zlewni average slope of the drainage area	bezodpływowość share of depressions	gęstość sieci rzecznej channel network density				
Bądze	0	1	1	0	0	2	0	0,6	1
Brajnickie	1	3	0	2	2	2	1	1,6	3
Czos	1	3	2	2	0	2	3	1,9	3
Duś	1	1	2	3	2	1	0	1,4	2
Elckie	3	3	1	3	1	2	3	2,3	4
Głębokie	2	1	2	1	1	3	1	1,6	3
Hartowiec	1	1	1	0	1	2	2	1,1	2
Iławskie	3	3	1	2	1	2	1	1,9	3
Juno	2	3	3	3	0	2	2	2,1	4
Kierzlińskie Duże	1	1	1	2	1	0	1	1,0	1
Kołowin	1	1	2	0	0	2	0	0,9	1
Kraksy Duże	3	3	1	2	1	2	2	2,0	4
Krutyńskie	3	3	1	3	0	3	0	1,9	3
Liwieniec	3	3	2	3	1	2	0	2,0	4
Łuknajno	0	1	1	3	3	1	1	1,1	2
Ołów	0	2	3	2	0	2	1	1,4	2
Piłakno	0	1	1	2	1	3	0	1,1	2
Rańskie	1	1	1	2	2	2	2	1,6	3
Sędańskie	0	3	1	0	0	2	0	0,9	1
Tuchel	2	1	1	3	3	2	0	1,7	3
Tuchlin	1	3	2	3	3	2	0	2,0	4
Wigry	1	3	0	1	0	3	1	1,3	2
Wobel	1	1	1	2	3	1	3	1,7	3

Tab. V. Ocena odporności jezior na wpływy z zewnątrz
Resistivity of lakes to external factors

Jezioro Lake	Głębokość średnia Mean depth	$\frac{V \text{ jez.}}{L \text{ jez.}}$ Lake volume Shoreline length	% stra- tyfikacji Thermal stratifica- tion (%)	$\frac{\text{Dno czynne}}{V \text{ epilimnion}}$ Active bottom surface Epilimnion volume	Współ- czynnik Schindlera Schindler's index	Wymiana wód Rate of annual water exchange	Wynik punktacji Result of classifi- cation	Kategoria podatności na degra- dację Category degradation ability
Bądze	3	2	3	3	0	3	2,3	III
Brajnickie	3	2	3	3	0	3	2,3	III
Czos	0	2	0	0	0	3	0,8	I
Duś	3	3	3	3	0	2	2,3	III
Ełckie	0	1	0	0	1	2	0,7	I
Głębokie	0	2	0	0	0	2	0,7	I
Hartowiec	3	2	3	3	0	2	2,2	III
Iławskie	3	3	3	3	3	0	2,5	IV
Juno	0	2	0	0	0	3	0,8	I
Kierzlińskie Duże	0	2	0	0	0	3	0,8	I
Kołowin	2	2	2	1	0	2	1,5	II
Kraksy Duże	3	3	3	3	3	0	2,5	IV
Krutyńskie	3	3	3	3	3	0	2,5	IV
Liwieniec	3	1	3	3	3	0	2,2	III
Łuknajno	3	2	3	3	1	2	2,3	III
Ołów	0	2	0	0	0	3	0,8	I
Piłakno	0	2	0	0	0	3	0,8	I
Rańskie	2	2	2	2	0	3	1,8	III
Sędańskie	3	2	3	3	2	1	2,3	III
Tuchel	3	3	3	3	1	2	2,5	IV
Tuchlin	3	2	3	3	0	3	2,3	III
Wigry	0	1	0	0	0	3	0,7	I
Wobel	2	1	2	1	0	3	1,5	II

wnie wybranych jezior reprezentują różne typy ze względu na możliwość dostawy materii do zbiornika (tab. IV), a wybrane jeziora różną odporność na wpływy z zewnątrz (tab. V). Analiza danych pozwala wydzielić cztery grupy systemów: zlewnia-jezioro (tab. VI). Grupa pierwsza reprezentuje taki system zlewni-jeziora, w którym zarówno cechy naturalne zbiornika, jak i zlewni nie sprzyjają degradacji wód jeziornych; jezioro jest odporne na wpływy z zewnątrz, a jego zlewnia jest mało aktywna w dostawie materii do zbiornika. Do grupy tej należą jeziora: Kierzlińskie Duże, Kołowin, Ołów, Piłakno i Wigry. Grupa druga to taki system zlewni-jeziora, w którym niekorzystne dla jeziora warunki zlewniowe (duża możliwość uruchomienia ładunku obszarowego) równoważone są przez wysoką odporność samego jeziora na wpływy z zewnątrz. Przykładem są tu jeziora: Czos, Głębokie, Ełckie, Juno i Wobel. Do grupy trzeciej należy system, w którym występują korzystne warunki zlewniowe (zlewnia jest mało aktywna w dostawie materii), ale samo jezioro jest podatne na wpływy z zewnątrz. Ingerencja w warunki zlewniowe może doprowadzić dość szybko do degradacji wód jeziornych. Takie układy cech zlewniowych i jeziornych mają jeziora: Bądze, Sędańskie, Duś, Hartowiec i Łuknajno. Wreszcie czwartą grupę reprezentuje taki system zlewni-jeziora, którego warunki naturalne są niekorzystne dla stanu czystości wód jeziornych. Cechy naturalne zlewni sprzyjają spływom obszarowym, a samo jezioro jest w dużym stopniu podatne na wpływy z zewnątrz. Przykładem są tu jeziora: Brajnickie, Rańskie, Liwieniec, Tuchlin, a zwłaszcza Iławskie, Krutyńskie, Tuchel i Kraksy Duże.

Tab. VI. Klasy jezior w zależności od tempa naturalnej degradacji
Classes of lakes depending on the natural degradation rate

Grupa zlewni jako dostawcy materii do jeziora Group of drainage areas as a supplier of matter to the lake	Kategoria podatności jezior na degradację Categories of degradation ability of lakes			
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
<i>1</i>	Kierzlińskie Duże	Kołowin	Bądze Sędańskie	
<i>2</i>	Ołów Piłakno Wigry		Duś Hartowiec Łuknajno	
<i>3</i>	Czos Głębokie	Wobel	Brajnickie Rańskie	Iławskie Krutuńskie Tuchel
<i>4</i>	Ełckie Juno		Liwieniec Tuchlin	Kraksy Duże

Piśmiennictwo

- Bajkiewicz-Grabowska E. 1981 — The influence of the physical geographic environment on the biogenous matter delivery to the lake — *J. hydrol. Sci.* 8: 63—73.
- Bajkiewicz-Grabowska E. 1983 — Ecological characteristics of lakes in north-eastern Poland versus their trophic gradient. II. Lake catchment areas — physicogeographical environment. Description of the region and 43 lakes — *Ekol. pol.* 31: 257—286.
- Bajkiewicz-Grabowska E. 1985 — Struktura fizycznogeograficzna zlewni jako podstawa oceny dostawy materii biogennej do jezior — *Pr. Stud. geogr.* 7: 65—89.
- Kajak Z. 1983 — Eutrofizacja jezior — PWN, Warszawa, s. 233.
- Kudelska D., Cydzik D., Soszka H. 1981 — Propozycja systemu oceny jakości jezior — *Wiad. ekol.* 27: 149—173.
- Kudelska D., Cydzik D., Soszka H. 1983 — System oceny jakości jezior — IKS, Warszawa, ss. 44.
- Paślawski Z. 1975 — Typologia hydrologiczna jezior Pojezierza Wielkopolskiego — *Przegl. geofiz.* 4: 271—280.
- Sylvester H., Hitchins M., Gould L., Hall M. W. 1974 — A quantitative classification of Maine Lakes — The Environmental Studies Center, University of Maine at Orono, ss. 62.
- Vollenweider R. A. 1976 — Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication — *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 33: 53—83.

Summary

The paper presents a modification of two systems — natural degradation ability (Kudelska et al. 1983) and impact of drainage area on matter supply to the lake (Bajkiewicz-Grabowska 1981, 1985). The latter includes both the influence of total (Fig. 1) and direct drainage areas (Fig. 2). It has been estimated according to: Ohle's index, type of water balance, share of depressions in the direct drainage area, its average slope, mean density of channel network density, geology and land use. Land capability classification is used. These characteristics are given from 0 (restricted influence) to 3 points (great influence), depending on their influence concerning putting in motion the matter in the drainage area and supplying it to the lake (Table II). Finally an arithmetic mean of the number of points is obtained from estimations of the influence of particular characters on the matter supply to the lake. When the arithmetic mean is less or equal to 1.0 the drainage area is not very active as regards matter supply to the lake (group 1), whereas at 1.1—1.4 the effect of drainage area on putting in motion the area load is small as well as its chances of reaching the lake (group 2); at 1.5—1.9 the drainage area is moderately active (group 3), at 2.0 and over the drainage area has a great ability to supply the lake with matter (group 4).

The susceptibility of the lake to external factors was estimated according to: mean depth, quotient of lake volume and its shoreline length, per cent of thermal stratification, quotient of bottom surface within epilimnion and epilimnion volume,

rate of annual water exchange, Schindler's index. The effect of particular characters on lake degradation is determined by points from 0 (resistant to external influence) to 3 (not resistant) (Table III). The arithmetic mean of the number of points from estimations of the lake's resistance to degradation is the final result. When it is equal or less than 0.8 the lake is resistant to external factors (category I), at 0.9—1.6 it shows an average resistance to external factors (category II), at 1.7—2.4 — small resistance (category III), over 2.4 — great dependence on external factors (category IV).

This is an estimation on the example of 23 lakes from north-eastern Poland (Tables IV, V). The analysis of data allowed to distinguish four groups of drainage area-lake systems (Table IV) varying as to their degradation ability.

(wpłynęło: 9 I 1987 r.)