

Katolicki Uniwersytet Lubelski
Katedra Botaniki i Hydrobiologii

WŁADYSŁAWA WOJCIECHOWSKA, MICHAŁ SOLIS

Rola ekotonów ląd–woda w utrzymywaniu stabilności
troficznej płytkiego eutroficznego jeziora

The role of land/water ecotones in trophic stability of shallow eutrophic lake

WSTĘP

Postępująca degradacja jezior jest bardzo często wynikiem zachwiania równowagi w dopływie materii ze zlewni do zbiornika. Bezpośrednia zlewnia jeziora może przyspieszać lub hamować dopływ materii, a wielkość ładunku trafiającego do zbiornika zależy m.in. od: wielkości zlewni, średniego spadku, przepuszczalności gruntów oraz użytkowania terenu (1).

W kontrolowaniu przepływu materii z lądu do zbiorników wodnych mają swój udział strefy przejściowe (ekotonowe) między sąsiadującymi systemami ekologicznymi (3).

Ekotony występujące na drodze przepływu wody ze zlewni do zbiorników wodnych funkcjonują jak pułapki regulujące jakość i ilość biogenów oraz zanieczyszczeń przedostających się do wody (5).

Spośród różnych ekotonów, w kształtowaniu trofii zbiorników jeziornych istotne znaczenie ma wetland–litoral, w którym ważną rolę odgrywa roślinność wyższa (makrofity) (10). Celem przedstawionej pracy było określenie możliwości oddziaływania części zlewni na płytkie eutroficzne jezioro śródlądne otoczone zróżnicowaną mikrozlewnią, w której występują obszary podmokłe i piaszczyste. Rozważania oparto głównie na zróżnicowanym stężeniu pierwiastków chemicznych w wodzie jeziora i w wodzie dopływającej do niego ze zlewni.

TEREN I METODY BADAŃ

Przedmiotem badań było jezioro Koseniec położone na terenie Sobiborskiego Parku Krajobrazowego. Jest to śródlęśny eutroficzny zbiornik o powierzchni około 32 ha i maksymalnej głębokości 4 m (12). W północno-zachodniej części jezioro połączone jest wąskim kanałem z jeziorem Spółne, co powoduje mały przepływ wody z jeziora Koseniec do Spólnego. Próbę określenia wpływu zlewni na charakter tego zbiornika przeprowadzono na podstawie badania składu chemicznego wód. W określonych punktach mikrozlewni założono piezometry na głębokości 0,5 i 1,5 m. Do analiz chemicznych pobierano wodę z piezometrów oraz z litoralu i pelagialu jeziora (ryc. 1).

Badania przeprowadzono od maja do października 1996 r. Oznaczano fosforany (PO_4), azotany (NO_3), jony amonowe (NH_4) i przeliczano je na zawartość czystego składnika (P-PO_4 , N-NO_3 , N-NH_4) oraz pierwiastki Ca, Mg, Fe, K, Na. Stężenia pierwiastków określono za pomocą absorpcyjnej spektrometrii atomowej. Ilość PO_4 , NO_3 i NH_4 oznaczono z zastosowaniem ogólnie przyjętej metodyki (2). Mierzono również odczyn wody oraz przewodność elektrolityczną.

Ponieważ założeniem pracy była próba określenia roli ekotonów w oddziaływaniu mikrozlewni na jezioro, uwzględniono również charakter zbiorowisk roślinnych w litoralu jeziora. Określono skład gatunkowy roślinności oraz wytypowano zespoły roślinne metodą Braun-Blanqueta (6).

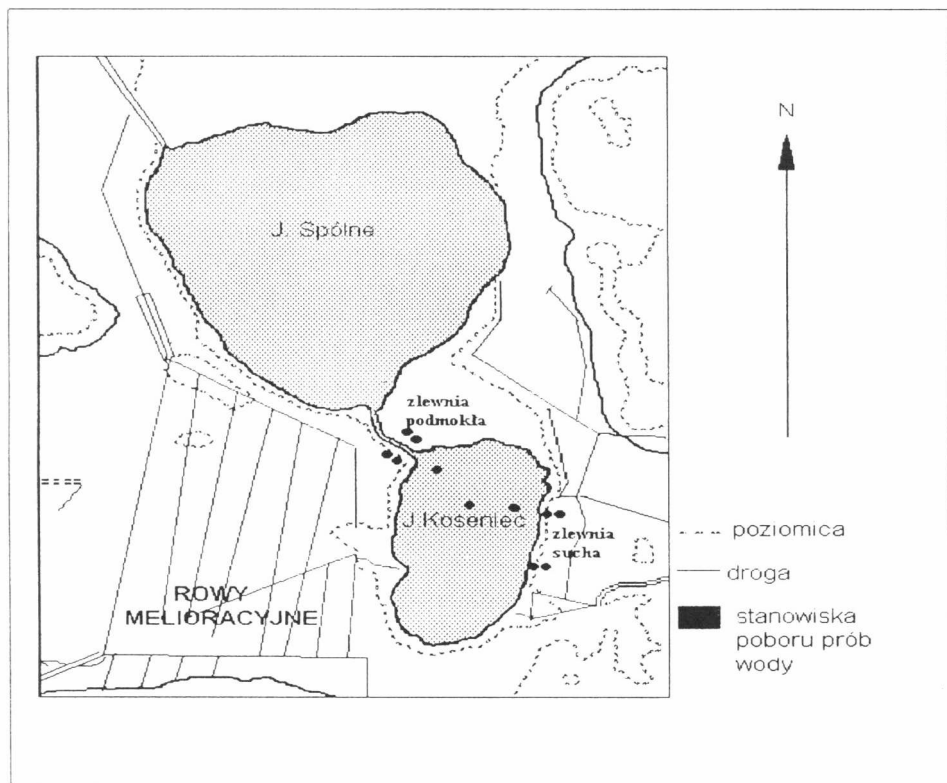
WYNIKI BADAŃ

Badany zbiornik, ze względu na płytkość wód i eutroficzny charakter, obficie porośnięty jest roślinnością naczyniową. Układ strefowy roślinności nie odbiega od modelu charakterystycznego dla jezior eutroficznych wg Podbielkowskiego i Tomaszewicza (11). W strefie hydrofitów zanurzonych najliczniej występowały: *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton natans*, *Nymphaea alba*, *Nuphar luteum* i *Stratiotes aloides*. Blżej brzegu odnotowano dobrze wykształconą strefę szuwaru wysokiego z *Typha angustifolia*, *T. latifolia*, *Schoenoplectus lacustris*, *Phragmites communis*.

Fitolitoral z większym bogactwem zespołów i gatunków roślinnych lepiej wykształcony był w południowo-wschodniej części zbiornika. Natomiast w północno-zachodniej dominował szuwar wysoki.

W poszczególnych porach roku odczyn wody był wyższy w jeziorze ($\text{pH} \approx 7$) niż w zlewni ($\text{pH} \approx 6$) (tab. 2). Odwrotnie natomiast kształtowały się wartości przewodności elektrolitycznej, w jeziorze wynosiły ok. $240 \mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}$, a w zlewni powyżej $300 \mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}$.

Wyniki uzyskane z pomiarów stężeń pierwiastków (P-PO_4 , N-NO_3 i N-NH_4 , Ca, Mg, Fe, K, Na) poddano analizie statystycznej. Zastosowana wieloczynnikowa analiza wariancji pozwoliła na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ wyodrębnić różniące się między sobą trzy obiekty, które umownie nazwano: zlewnią



Ryc. 1. Plan sytuacyjny stanowisk poboru prób wody w jeziorze Koseniec i jego zlewni
 Situation plan of water sampling sites in lakes Koseniec and in its catchment area

podmokłą, zlewnią suchą i jeziorem. Ponieważ nie stwierdzono istotnych różnic statystycznych między punktami poboru wody w obrębie poszczególnych obiektów oraz między głębokościami w piezometrach, ostateczne wartości stężeń pierwiastków są średnią z dwóch głębokości (0,5 m i 1,5 m) i z czterech punktów w każdej wyróżnionej statystycznie zlewni oraz z trzech w jeziorze.

Uzyskane wyniki przeanalizowano w aspektach: a) porównania średnich stężeń z całego sezonu wegetacyjnego, b) analizy zmian w poszczególnych porach roku (wiosna, lato, jesień). Średnie wartości badanych pierwiastków dla całego sezonu wegetacyjnego przedstawiono w tab. 1.

Analizowane pierwiastki charakteryzowały się większymi stężeniami w zlewniach niż w jeziorze, a uwzględniając charakter zlewni — osiągały większe stężenia w zlewni podmokłej niż w suchej. Przeanalizowano również rozkład średnich stężeń omawianych pierwiastków w poszczególnych obiektach badań z uwzględnieniem pór roku, a ich wartości przedstawiono w tab. 2 i 3.

Tab. 1. Średnia zawartość (mg/dm^3) pierwiastków w całym sezonie wegetacyjnym
Mean content (mg/dm^3) of elements in the whole vegetative season

Obiekt	P- PO_4	N- NO_3	N- NH_4	Ca	Mg	Fe	K	Na
Zlewnia podmokła	0,16	1,45	3,72	63,28	2,83	3,29	1,71	6,54
Zlewnia sucha	0,1	2,08	2,43	32,85	3,49	2,17	2,76	3,64
Jezioro	0,07	2,08	0,37	27,93	2,18	0,28	1,68	3,24

Stężenia fosforu fosforanowego (P- PO_4) osiągały najwyższe wartości w zlewni podmokłej w okresie letnim i jesiennym ($0,18 \text{ mg}/\text{dm}^3$), a najniższe w jeziorze w porze wiosennej ($0,05 \text{ mg}/\text{dm}^3$). W jeziorze i zlewni suchej wystąpił też konsekwentny spadek stężeń azotu azotanowego (N- NO_3) od wiosny do jesieni. W zlewni podmokłej stężenie N- NO_3 było najwyższe w lecie ($2,5 \text{ mg}/\text{dm}^3$), a najniższe jesienią ($0,41 \text{ mg}/\text{dm}^3$). Zawartość N- NH_4 w całym sezonie wegetacyjnym we wszystkich obiektach badań miała niskie wartości (od $0,07$ – $4,15 \text{ mg}/\text{dm}^3$), jedynie w zlewni podmokłej latem wartość N- NH_4 wynosiła $8,23 \text{ mg}/\text{dm}^3$.

Tab. 2. Średnie wartości pH i przewodności elektrolitycznej ($\mu\text{S}\times\text{cm}^{-1}$) oraz stężenia (mg/dm^3) pierwiastków w poszczególnych porach roku i obiektach badań
Mean values of pH electrolytic conductivity ($\mu\text{S}\times\text{cm}^{-1}$) and concentration (mg/dm^3) of elements in the particular seasons of the year and examined objects

Parametr pora	Zlewnia podmokła			Zlewnia sucha			Jezioro		
	wiosna	lato	jesień	wiosna	lato	jesień	wiosna	lato	jesień
pH	6,09	6,33	6,13	6,33	6,93	6,4	7,27	7,25	7,74
przewodność	340	362	303	380	288	307	244	244	216
P- PO_4	0,13	0,18	0,18	0,1	0,13	0,08	0,05	0,07	0,07
N- NO_3	1,44	2,5	0,41	3,27	1,93	0,17	4,5	1,67	0,08
N- NH_4	2,38	8,23	0,55	4,15	1,75	0,17	0,85	0,18	0,07

Pośród pięciu badanych pierwiastków (Ca, Mg, Fe, K, Na) w największych ilościach występował Ca, osiągając jesienią w zlewni podmokłej wartość około $100 \text{ mg}/\text{dm}^3$ (tab. 3). Sezonowa dynamika tego pierwiastka charakteryzowała się spadkiem jego wartości latem, a wzrostem jesienią. Stężenie Mg we wszystkich obiektach było dość stabilne w całym okresie badań. Największe jego ilości zawierała woda ze zlewni suchej, a najmniejsze z jeziora (tab. 3). Rozkład stężeń K i Na wskazywał na ich występowanie w najmniejszych ilościach w jeziorze. Na lądzie natomiast stężenie sodu było wyższe w zlewni podmokłej (najwyższa wartość $7,35 \text{ mg}/\text{dm}^3$), a potasu w zlewni suchej (najwyższa wartość $3,49 \text{ mg}/\text{dm}^3$). Żelazo w ciągu całego sezonu wegetacyjnego występowało w najmniejszych stężeniach w jeziorze ($0,09$ – $0,52 \text{ mg}/\text{dm}^3$), a w największych w zlewni podmokłej ($2,69$ – $3,87 \text{ mg}/\text{dm}^3$) (tab. 3).

Tab. 3. Średnia zawartość (mg/dm^3) pierwiastków w poszczególnych porach i obiektach badań
 Mean content (mg/dm^3) of elements in the particular seasons of the year and examination objects

Parametr pora	Zlewnia podmokła			Zlewnia sucha			Jezioro		
	wiosna	lato	jesień	wiosna	lato	jesień	wiosna	lato	jesień
Ca	50,87	45,38	99,8	26,95	37,25	37,9	36,06	15,97	31,75
Mg	3,1	3,07	2,19	3,68	4,82	1,81	2,19	2,33	2,02
Fe	3,31	3,87	2,69	2,85	1,81	1,37	0,22	0,52	0,09
K	1,92	2,35	0,76	3,49	2,53	1,74	1,97	2,19	0,86
Na	6,31	7,35	6,06	3,59	5,05	2,32	3,42	2,7	3,60

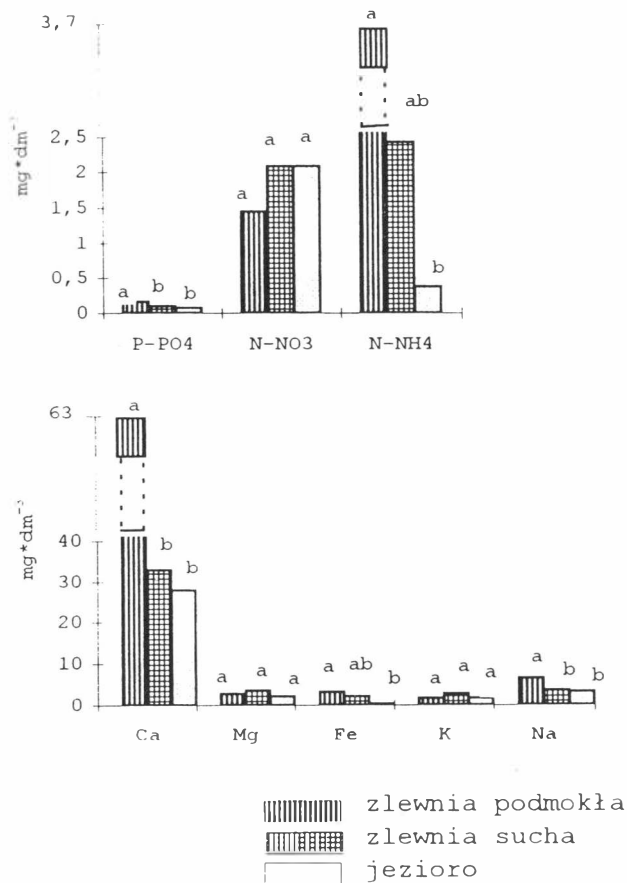
W celu określenia oddziaływania mikrozwlewni na chemizm wód jeziornych, oprócz porównania średnich stężeń badanych pierwiastków między obiektami zweryfikowano istotność różnic między średnimi testem Tukeya. Dla poszczególnych pierwiastków wartości średnich stężeń sklasyfikowano względem siebie w homogenne grupy (oznaczone literami „a” i „b”) na podstawie wyniku uzyskanego z testu na istotność różnicy (ryc. 2). Oznaczenie jednej wartości średniej literami „ab” wskazuje na przynależność tej wartości do dwóch różnych grup homogennych. Przy porównaniu dwóch średnich (dwóch grup homogennych) para liter „aa” lub „bb” informuje o braku istotnej różnicy, natomiast para „ab” o istnieniu tej różnicy.

Wykazano brak istotnych różnic między zlewnią suchą a jeziorem, co sugerowałoby, że zlewnia sucha nie odgrywa istotnej roli w zatrzymywaniu pierwiastków. Utrudniona interpretacja występuje w przypadku oddziaływania zlewni podmokłej na jezioro. Zasadnicze różnice w stężeniach pierwiastków w zlewni podmokłej i w jeziorze, zweryfikowane testem Tukeya, wystąpiły w przypadku P- PO_4 , N- NH_4 , Ca, Fe i Na. W pozostałych przypadkach różnic nie wykazano. Mając na uwadze to, że w okresie badań najniższe wartości badanych pierwiastków były w jeziorze, można przypuszczać, że w zlewni podmokłej występowało częściowe zatrzymywanie pierwiastków, co potwierdzałoby kumulacyjne działanie tej zlewni (wetland).

DYSKUSJA

Położone w ścisłym rezerwacie Żółtowie Błota jezioro Koseniec należy do typowo śródlęśnych zbiorników wodnych. Wykazuje ono cechy umiarkowanej eutrofii pomimo wpływu niekorzystnych cech naturalnych kwalifikujących zbiornik do III kategorii podatności na degradację (9).

Obecność lasów i mokradeł w obszarze zlewni jeziora wpływa na stabilność troficzną zbiornika, co przejawia się między innymi małymi zmianami parametrów fizyko-chemicznych (14).



Ryc. 2. Koncentracja związków chemicznych i pierwiastków dla trzech obiektów badań (średnie dla sezonu wegetacyjnego). Litery a i b informują o przynależności średnich do grup homogennych. Porównując dwie grupy homogenne — „ab” określa istotną statystycznie różnicę; „aa” lub „bb” — brak tej różnicy

Concentration of chemical compounds and element in three study sites (mean values for vegetational season). Letters a and b inform about belonging of means to homogenous groups. Comparing two homogenous groups — ab denotes statistical significant difference aa; bb denotes lack of difference

Określając oddziaływanie mikrozelewni na jezioro przy uwzględnieniu dwóch obszarów: podmokłego (wetland) i suchego (piaszczystego) wykazano, że obszar podmokły wykazuje pewne właściwości kumulacyjne w porównaniu z obszarem piaszczystym, o czym świadczą wyższe stężenia pierwiastków. Potwierdzałyby to hipotezę o regulacyjnej roli wetlandów w transporcie materii do zbiorników wodnych (5). Związek między stężeniem niektórych pierwiastków w wodzie litoralnej jeziora Piaseczno i charakterem pobrzeży (torfowisko, pole, las) wykazał również Misztal i in. (8).

Nie stwierdzono natomiast wyraźnego zatrzymywania pierwiastków na obszarze piaszczystym. Wiąże się to prawdopodobnie z innymi właściwościami filtracyjnymi gleb piaszczystych niż torfowych, które posiadają większy kompleks sorpcyjny (7).

Na gospodarkę mineralną w układzie łąd-woda duży wpływ wywiera również szata roślinna, która poprzez rozległy system korzeniowy czy kłączowy i poprzez procesy fizjologiczne aktywnie przyczynia się do kontrolowania przepływu ładunku ze zlewni do zbiornika (3). Krążenie pierwiastków w wetlandach jest jednak bardzo zróżnicowane, np. oszczędniejsze w tzw. ciągu dystroficznym (torfowisko wysokie — przejściowe — mszary — bór bagienny) niż w ciągu mezotroficznym (torfowisko niskie — szuwar wodny — zarośla łozowe — ols) (13). Ekoton jeziora Koseniec należał do ciągu mezotroficznego z bogato wykształconą roślinnością szuwarową w jeziorze oraz z dominującymi zaroślami łozowymi i olsem na łądzie.

Szata roślinna uczestniczy nie tylko w procesach akumulacji, ale i uwalniania puli pierwiastków biofilnych, które zasadniczo odbywa się w postaci dwóch „pulsów”: wiosennego i jesienno (4).

W przypadku jeziora Koseniec analizy chemiczne wskazywały na największy dopływ puli pierwiastków do zbiornika jesienią. Obecność i oddziaływanie wetlandów z punktu widzenia ochrony zbiorników wodnych ma duże znaczenie, ale należy pamiętać o dostawaniu się materii innymi drogami oraz układzie hydrologicznym, w którym znajduje się dany zbiornik.

W przypadku jeziora Koseniec interpretacja oddziaływania zlewni jest utrudniona ze względu na sytuację hydrologiczną: a) z jeziora Koseniec następuje ciągły wypływ wody do jeziora Spólne, b) w okresach mokrych (głównie wiosną i jesienią) dochodzi do częściowego mieszania się wód z jeziora z wodami zalegającymi w podmokłym olsie.

Należy jednak podkreślić, że jezioro jest stabilne troficznie i swój status zbiornika umiarkowanie eutroficznego utrzymuje od trzydziestu lat. Wpływa na to jego śródleśny charakter, trudny dostęp (rozciągający się bagiennie-leśny teren), mało intensywna gospodarka rolna w zlewni, brak presji turystycznej i położenie w obszarze mało uprzemysłowionym.

PIŚMIENNICTWO

1. Bajkiewicz-Grabowska E.: Ocena naturalnej podatności jezior na degradację i rola zlewni w tym procesie. *Wiad. Ekol.* **33**, 201–214 (1987).
2. Hermanowicz W., Dożańska W., Dojlido J., Koziorowski B.: Fizyczno-chemiczne badania wody i ścieków. Arkady, Warszawa 1976.

3. Hilbricht-Ilkowska A., Pieczyńska E.: Preface. Nutrient dynamics and retention in land/water ecotones of lowland, temperate lakes and rivers, *Hydrobiol.* **251**, XI–XIV (1993).
4. Hilbricht-Ilkowska A.: Temperate freshwater ecotones: problem with seasonal instability. B. Gopal, A. Hilbricht-Ilkowska, R. G. Wetzel (eds). *Wetland and ecotones: studies on land–water interactions*. Int. Sc. Publications, New Dehli 1993, s. 13–34.
5. Hilbricht-Ilkowska A.: Managing ecotones for nutrient and water. *Ecology Int.* **22**, 73–93 (1995).
6. Matuszkiewicz W.: *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*. PWN, Warszawa 1984.
7. Misztal M., Smal H.: Skład chemiczny wód gruntowych i wyciągów glebowych w terenach różnie użytkowanych. *Rocz. Glebozn.* **31**, 271–279 (1980).
8. Misztal M., Smal H., Górniak A.: Changes in the chemical composition of waters in the littoral zone of Lake Piaseczno (Łęczyńsko-Włodawskie Lake District, Southern Poland) during multiannual studies. *Acta Hydrobiol.* **31**, 13–23 (1989).
9. Nagaj A., Tarnas M.: *Ochrona i stan środowiska w województwie chełmskim*. Informator 1993. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Wojewoda Chełmski, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Chełmie, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Chełm 1994.
10. Ozimek T.: Struktura, funkcjonowanie i rola ekosystemów podmokłych w ochronie jezior Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego. [w:] *Funkcjonowanie ekosystemów wodno-błotnych w obszarach chronionych Polesia*. Wyd. UMCS, Lublin 1996, s. 67–71.
11. Podbielkowski Z., Tomaszewicz H.: *Zarys hydrobotaniki*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1996.
12. Wilgat T.: Jeziora Łęczyńsko-Włodawskie. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B* **8**, 38–120 (1953).
13. Wilpiszewska J.: Productivity and chemical valorization of mire vegetation in postglacial agriculture landscape. *Ekol. Pol.* **38**, 3–72 (1990).
14. Wojciechowska W., Pęczuła W., Zykubek A.: Long-term changes in protected lakes (Sobibór Landscape Park, Eastern Poland). *Ekol. Pol.* **44**, 179–191 (1996).

SUMMARY

The role of littoral zone in the trophic stability of shallow eutrophic lake is discussed in the paper. The studied lake is surrounded by forests with two general types of soil: the sandy one (mineral) and the wetland one. To consider any difference between these two types of catchment area chemical analysis of ground and lake water were made during one vegetative season from several points (Fig. 1). In chemical analysis such components and elements like P–PO₄, N–NO₃, N–NH₄, Ca, Mg, Fe, K, Na were investigated as well as pH and electrolytic conductivity.

Mean values of these factors for three objects (wetland area, dry area and lake) are presented in Tab. 1, 2 and 3. Figure 2 shows differences between these three objects. Statistical analysis (Tukey's test) showed similarity between water from lake and dry area. On the other hand important differences were found in chemical composition of water from wetland and lake. It can be connected with cumulative role of wetland zone for chemical elements from the catchment area. Trophic stability of the studied lake which is observed since 60's can confirm this hypothesis.

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN – POLONIA

VOL. LIII

SECTIO C

1998

- A. LUCZYCKA-POPIEL: Naturalne i antropogeniczne zróżnicowanie zbiorowisk roślinnych w lasach okolic Lublina.
Natural and anthropogenic differentiation of plant communities in the forests of the Lublin environs.
- D. FIJAŁKOWSKI, B. LORENS, P. SUGIER: Rośliny z *Polskiej Czerwonej Księgi Roślin* na Lubelszczyźnie.
The plants listed in the *Polish Red Book of Plants* from the Lublin Region.
- D. FIJAŁKOWSKI, P. SUGIER, M. WAWER: Rośliny pontyjskie na Lubelszczyźnie.
Pontian plant species in the Lublin Region.
- D. FIJAŁKOWSKI, B. LORENS: Rośliny borealne we florze Lubelszczyzny.
Boreal plants in the Lublin Region flora.
- F. ŚWIĘS: Expansion of *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl. in the city of Tarnów.
Ekspansja *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl. na terenie miasta Tarnowa.
- F. ŚWIĘS, M. SOROKA: Expansion of *Iva xanthiifolia* Nutt. in the city of Lvov.
Ekspansja gatunku *Iva xanthiifolia* Nutt. na terenie miasta Lwowa.
- K. KARZMARZ, M. SZAROWSKI: Roślinność murów starej zabudowy miasta Lublina.
Vegetation of walls of old urban area of Lublin.
- M. KUCHARCZYK: Zespoły i zbiorowiska roślinne Kazimierskiego Parku Krajobrazowego. III. Zespoły leśne i zaroślowe.
Plant associations and communities of Kazimierz Landscape Park. III. Forest and brushwood associations.
- W. LECEWICZ: Glony torfowiska Brzeziczno.
Algae of the peatbog Brzeziczno.
- P. SUGIER, Z. POPIOLEK: Roślinność wodna i przybrzeżna jeziora Moszne w Poleskim Parku Narodowym.
The aquatic and coastal vegetation of lake Moszne in Polesie National Park.
- Z. FLISIŃSKA, B. SAŁATA: Nowe stanowiska interesujących grzybów wielkoowocnikowych (*macromycetes*) w południowo-wschodniej Polsce.
New localities of interesting *macromycetes* in the South-East Poland.
- M. GÓRSKI, S. UZIĄK: Niektóre metale ciężkie w glebach Tatrzańskiego Parku Narodowego.
Some heavy metals in the soils of Tatra Mts National Park.

