

AKTYWNOŚĆ OGÓLNEJ FOSFATAZY ZASADOWEJ W WODZIE  
I OSADZIE DENNYM NIEKTÓRYCH JEZIOR POJEZIERZA ŁĘCZYŃSKO-  
WŁODAWSKIEGO. CZ. II. EUTROFICZNE JEZIORO GŁĘBOKIE\*

*Jadwiga Furczak*

Katedra Mikrobiologii Rolniczej, Akademia Rolnicza, ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin  
e-mail: klauskoczek@poczta.onet.pl

**Streszczenie.** Pięcioletnimi (1986-1990) badaniami objęto wodę oraz osad denny różnych stref eutroficznego jeziora Głębokie. W środowiskach tych określano czterokrotnie w roku aktywność ogólnej fosfatazy zasadowej. Badania dotyczące wody wykazały, że spośród analizowanych stref najwyższą aktywnością fosfatazową cechowała się górna warstwa sublitoralu (0,5-1m). Natomiast w osadzie dennym wyższy poziom w/w parametru enzymatycznego odnotowano w litoralu. Z analizy wahań sezonowych wynika, że maksimum aktywności ogólnej fosfatazy zasadowej zarówno w wodzie jak i osadzie dennym wystąpiło wiosną (kwiecień) i latem (lipiec). Opierając się na tym wskaźniku nie stwierdzono w 5-cio letnim okresie wzrostu procesu eutrofizacji jeziora Głębokie.

**Słowa kluczowe:** aktywność ogólnej fosfatazy zasadowej, woda, osad denny, eutroficzne jezioro Głębokie

WSTĘP

Fosfor odgrywa kluczową rolę w produkcji biologicznej i tym samym eutrofizacji środowiska wodnego [17,18]. Jednym z ważnych procesów wpływających na poziom dostępnego fosforu mineralnego jest enzymatyczna hydroliza organicznych połączeń tego pierwiastka [1,18]. Większość dotychczasowych badań wskazuje, że za tempo mineralizacji fosforu organicznego zarówno w toni wodnej jak i osadach dennych zbiorników wodnych o pH > 7 odpowiedzialna jest przede wszystkim fosfataza zasadowa [1,2,7,8,9,16]. Jakkolwiek niektórzy autorzy podają, m.in. Yiyong [21], że w procesie tym mogą uczestniczyć również czynniki abiotyczne. Jones [8] sugere-

---

\* Praca wykonana w ramach problemu CPBP 04.02 koordynowanego przez Instytut Mikrobiologii Uniwersytetu Łódzkiego.

ruje, że poziom aktywności fosfatazy w wodzie powiązany jest ze stopniem troficzności jezior. Natomiast aktywność fosfatazowa osadów dennych, wg Kobari i Taga [9] może wskazywać na ich potencjał enzymatyczny.

Celem niniejszego opracowania było prześledzenie w 5-letnim okresie poziomu oraz dynamiki zmian rocznych i sezonowych aktywności ogólnej fosfatazy alkalicznej w wodzie i osadzie dennym różnych stref eutroficznego zbiornika Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego.

Założeniem tego cyklu badań było również wykazanie przydatności zastosowanego testu enzymatycznego jako biologicznego wskaźnika stopnia troficzności jezior i ewentualnej, postępującej eutrofizacji analizowanych zbiorników wodnych. Z dotychczasowego piśmiennictwa wynika bowiem, że zagadnieniu temu w jeziorach Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego poświęcono dotychczas niewiele uwagi [5].

#### MATERIAŁ I METODY

Badaniami objęto eutroficzne jezioro Głębokie (powierzchnia 20,5 ha, maksymalna głębokość 7,1 m) należące do zespołu jezior Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego [20]. Charakterystykę zlewni i zalegających ją gleb oraz wody i osadu dennego zbiornika podają Górniak [6], Misztal i in. [13,14], a także Radwan i in. [15].

Biorąc pod uwagę sposób wykorzystania zlewni jeziora podzielono ją na różne sektory. W niniejszych badaniach charakteryzowano próbki wody ( $\text{pH} > 8,0$ ;  $\text{N}_{\text{og}} = 3,44 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) i osadu dennego ( $\text{pH} = 6,5$ ;  $\text{C}_{\text{org}} > 30\%$  s.m.;  $\text{C:N} = 7,8$ ) z obszaru zbiornika podlegającego wpływowi sektora rolniczego [6,13,15]. Próbki wody litoralnej i sublitoralnej pobierano aparatem Ruttnera o poj.  $2 \text{ dm}^3$ , natomiast osad litoralny – aparatem rurowym Kajaka o pow.  $20 \text{ cm}^2$ , a sublitoralny – aparatem Boruckiego o pow.  $225 \text{ cm}^2$ . Analizowano próbki wierzchniej warstwy osadu (0-5 cm), po uprzednim ich odsączeniu przez około 20 godzin na sączku bibułowym. Wodę i osad przetrzymywano przez dobę w temperaturze  $4^\circ\text{C}$ . Po okresie tym określano w wodzie aktywność ogólnej fosfatazy zasadowej metodą Jonesa [8], polegającą na wykrywaniu barwnego p-nitrofenolu powstałego z fosforanu p-nitrofenolu rozpuszczonego w buforze (0,1 M Tris-HCl o  $\text{pH} 8,5$ ). Aktywność tego enzymu w osadzie dennym oznaczano wg Tabatabai i Bremmera [19], stosując w/w bufor. Badania prowadzono w latach 1986-1990. Analizy wykonywano 4 razy w roku (23-29 IV, 27-30 V, 3-11 VII, 27-29 IX), w trzech powtórzeniach. Zawarte w pracy wyniki stanowią średnią z tych powtórzeń.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki zamieszczone w tabeli 1 wskazują, że aktywność ogólnej fosfatazy zasadowej w wodzie jeziora Głębokie kształtowała się w 5-cio letnim okresie w granicach od 95,0-1431,4  $\text{nmol PO}_4\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ . Rozpiętość tych wahań w obu analizowanych strefach zbiornika była zbliżona. W litoralu wynosiła od 95,0-961,1  $\text{nmol PO}_4\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ , a w sublitoralu od 136,3-1431,4  $\text{nmol PO}_4\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ . Badana aktywność podlegała także zmianom w osadzie dennym. Jej poziom utrzymywał się w zakresie od 883,8 do 15155,7  $\text{nmol PO}_4\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s.m.}\cdot\text{h}^{-1}$ , (tab. 2). Odnotowane zarówno w wodzie jak i osadzie dennym wahania aktywności ogólnej fosfatazy zasadowej były zdecydowanie słabsze niż w Jeziorze Piaseczno, w którym kształtowały się w granicach od 17,9-1125,6  $\text{nmol PO}_4\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$  (woda) i od 25,5-10168,8  $\text{nmol PO}_4\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s.m.}\cdot\text{h}^{-1}$  (osad) [5]. Większą stabilność tej aktywności w zbiorniku Głębokie potwierdzają także średnie roczne dla wody (283,2-1026,2  $\text{nmol PO}_4\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ ) i osadu dennego (2851,1-6121,2  $\text{nmol PO}_4\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s.m.}\cdot\text{h}^{-1}$ ), (tab. 1 i 2). Mniejsze zmiany w poziomie omawianego parametru enzymatycznego w jeziorze Głębokie można wiązać z jego dużą homeostazą. Analizując średnie roczne nie stwierdzono w badanym okresie postępującego zarówno w wodzie jak i osadzie obniżenia aktywności ogólnej fosfatazy zasadowej.

Średnie z 5-ciu lat aktywności ogólnej fosfatazy zasadowej w wodzie i osadzie dennym eutroficznego jeziora Głębokie (rys. 1) były wyraźnie wyższe niż w analogicznych strefach mezotroficznego jeziora Piaseczno [5]. W wodzie różniły się one 2-krotnie, natomiast w osadzie ponad 200-krotnie. Stanowiłoby to dodatkowy dowód potwierdzający sugestię Jonesa [8] o przydatności badanego wskaźnika w ocenie stopnia troficzności zbiorników wodnych.

Porównując 5-cio letnie średnie wartości omawianej aktywności w wodzie analizowanych stref jeziora Głębokie stwierdzono, że kształtowała się ona na niższym poziomie w litoralu niż sublitoralu (rys. 1). Spośród badanych warstw sublitoralu powierzchniowa (0,5-1 m) cechowała się wyższą, ogólną aktywnością fosfatazową niż głębsza (4,5 m), w której średnia wartość tego parametru była tylko nieco niższa od obserwowanej w litoralu. Wyniki szerszych badań prowadzonych w zbiorniku Głębokie (w przyg. do druku) wskazują, że za wysoki poziom ogólnej aktywności fosfatazy zasadowej w górnym sublitoralu odpowiedzialna była przede wszystkim fosfataza glonowa, a w znacznie mniejszym stopniu fosfataza bakteryjna i wolna. Wydaje się, że udział w tej aktywności kolejnej grupy mikroorganizmów heterotroficznych, a mianowicie grzybów był również niewielki, o czym świadczy mniejsza ich liczba w sublitoralu w porównaniu z litoralem [12]. Natomiast w osadzie dennym jeziora Głębokie wykryto odwrotną tendencję (rys. 1). Średnia z 5-ciu lat aktywności ogólnej fosfatazy zasadowej osadu litoralnego kształtowała się na wyższym poziomie niż sublitoralnego. Odnotowanemu zjawisku towarzyszyło

liczniejsze występowanie w strefie litoralnej różnych grup bakterii i grzybów saprofitycznych [12]. Wskazywałoby to na większą zależność aktywności fosfatazowej osadu od rozwoju drobnoustrojów heterotroficznych.

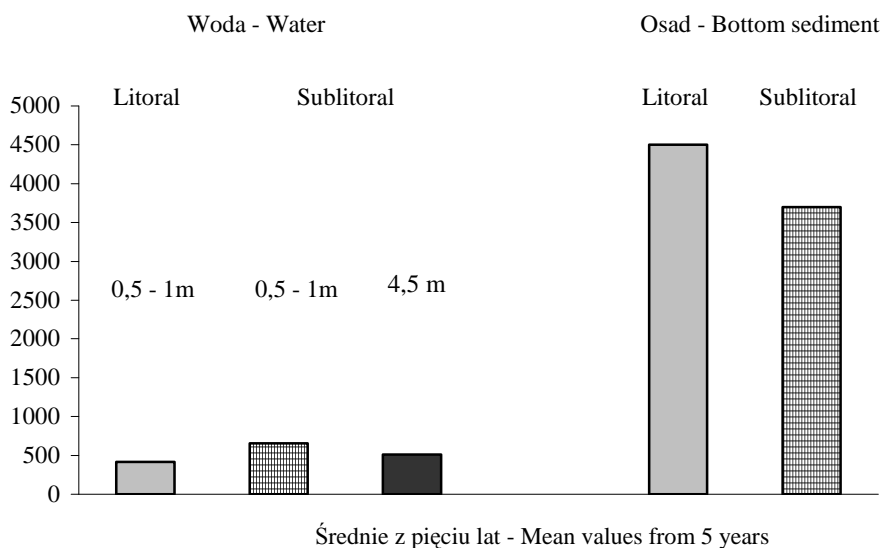
**Tabela 1.** Aktywność ogólnej fosfatazy zasadowej w wodzie ( $\text{nmol PO}_4 \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ )

**Table 1.** The total alkaline phosphatase activity in water ( $\text{nmol PO}_4 \text{ dm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ )

| Terminy analiz<br>Terms of analyses |     | Litoral | Sublitoral |       |
|-------------------------------------|-----|---------|------------|-------|
|                                     |     | 0,5-1m  | 0,5-1m     | 4,5m  |
| 1986                                | IV  | 961,1   | 900,5      | 675,3 |
|                                     | V   | 536,8   | 667,9      | 536,8 |
|                                     | VII | 465,3   | 1431,4     | 733,6 |
|                                     | IX  | 483,1   | 1145,1     | 984,1 |
| Średnia roczna – Annual mean        |     | 611,6   | 1036,2     | 732,5 |
| 1987                                | IV  | 268,4   | 626,3      | 590,5 |
|                                     | V   | 375,8   | 644,2      | 554,7 |
|                                     | VII | 715,7   | 536,8      | 375,8 |
|                                     | IX  | 214,8   | 393,7      | 518,9 |
| Średnia roczna – Annual mean        |     | 393,7   | 550,3      | 510,0 |
| 1988                                | IV  | 322,1   | 536,8      | 375,8 |
|                                     | V   | 196,9   | 823,1      | 357,9 |
|                                     | VII | 519,0   | 608,4      | 680,0 |
|                                     | IX  | 95,0    | 136,3      | –     |
| Średnia roczna – Annual mean        |     | 283,3   | 526,2      | 471,2 |
| 1989                                | IV  | 447,3   | 787,3      | 340,0 |
|                                     | V   | 214,8   | 340,0      | 178,9 |
|                                     | VII | 411,6   | 876,8      | 501,0 |
|                                     | IX  | 223,7   | 178,9      | 268,4 |
| Średnia roczna – Annual mean        |     | 324,4   | 545,8      | 322,1 |
| 1990                                | IV  | 357,9   | 841,0      | –     |
|                                     | V   | 375,8   | 644,2      | 447,3 |
|                                     | VII | 518,4   | 562,0      | 686,1 |
|                                     | IX  | 608,4   | 447,3      | 447,3 |
| Średnia roczna – Annual mean        |     | 465,1   | 623,6      | 526,9 |

**Tabela 2.** Aktywność ogólnej fosfatazy zasadowej w osadzie dennym ( $\text{nmol PO}_4 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.} \cdot \text{h}^{-1}$ )  
**Table 2.** The total alkaline phosphatase activity in bottom sediment ( $\text{nmol PO}_4 \text{ g}^{-1} \text{ d.m.} \cdot \text{h}^{-1}$ )

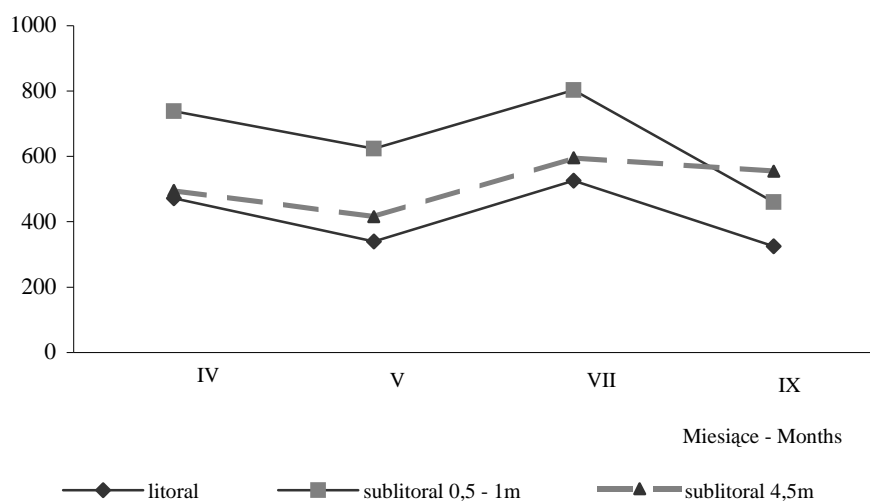
| Terminy analiz<br>Terms of analyses |     | Litoral | Sublitoral |
|-------------------------------------|-----|---------|------------|
|                                     | IV  | 15155,7 | 5777,8     |
|                                     | V   | 4094,9  | 3478,8     |
| 1986                                | VII | 4110,1  | 3762,6     |
|                                     | IX  | 1124,2  | 883,8      |
| Średnia roczna – Annual mean        |     | 6121,2  | 3475,8     |
|                                     | IV  | 6312,4  | 4965,6     |
|                                     | V   | 4401,5  | –          |
| 1987                                | VII | 6432,0  | 1939,1     |
|                                     | IX  | 2098,0  | 1648,7     |
| Średnia roczna – Annual mean        |     | 4811,0  | 2851,1     |
|                                     | IV  | 4750,6  | 3675,5     |
|                                     | V   | 4625,8  | 1792,4     |
| 1988                                | VII | 6983,1  | 7501,5     |
|                                     | IX  | 4732,2  | –          |
| Średnia roczna – Annual mean        |     | 5272,9  | 4323,1     |
|                                     | IV  | 1000,8  | 2361,6     |
|                                     | V   | 1973,5  | 4480,7     |
| 1989                                | VII | 4043,3  | 8483,2     |
|                                     | IX  | 2555,4  | 2068,6     |
| Średnia roczna – Annual mean        |     | 2393,3  | 4348,5     |
|                                     | IV  | 2106,3  | 5037,1     |
|                                     | V   | 1992,9  | 1230,8     |
| 1990                                | VII | 7062,1  | 3793,6     |
|                                     | IX  | 4458,7  | 3909,8     |
| Średnia roczna – Annual mean        |     | 3905,0  | 3492,8     |



**Rys. 1.** Aktywność ogólnej fosfatazy zasadowej w wodzie ( $\text{nmol PO}_4 \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ ) i osadzie dennym ( $\text{nmol PO}_4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s.m.} \cdot \text{h}^{-1}$ )

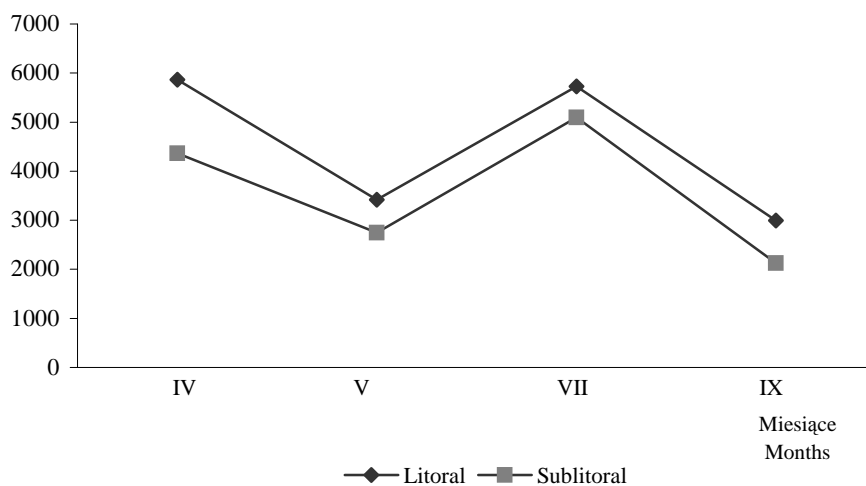
**Fig. 1.** The total alkaline phosphatase activity in water ( $\text{nmol PO}_4 \text{ dm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ ) and bottom sediment ( $\text{nmol PO}_4 \text{ g}^{-1} \text{ d.m.} \text{ h}^{-1}$ )

Aktywność ogólnej fosfatazy zasadowej w wodzie i osadzie dennym badanego zbiornika podlegała wahaniom sezonowym (rys. 2 i 3). Niezależnie od stanu skupienia środowiska miały one na ogół podobny przebieg w obu analizowanych strefach. Zarówno w wodzie jak i osadzie dennym wyższy poziom tej aktywności stwierdzono wiosną (kwiecień) i w pełni lata (lipiec). W toni wodnej maksimum ogólnej aktywności fosfatazowej wystąpiło w lipcu, co jest zgodne z wynikami badań prowadzonych nad innymi jeziorami [1,5]. Zwraca uwagę fakt, że wyższym wartościom omawianej aktywności w wodzie nie zawsze towarzyszyła większa liczba bakterii i grzybów saprofitycznych [4,10,11], co potwierdzałoby znaczenie glonów w kształtowaniu jej poziomu. Natomiast w osadzie dennym lipcowy pik aktywności ogólnej fosfatazy wykazał wyraźne powiązanie z wyższą liczbą bakterii heterotroficznych [3], będącą prawdopodobnie efektem dopływu do osadu obumierającego po zakwitach wiosennych fitoplanktonu.



**Rys. 2.** Wahania sezonowe aktywności ogólnej fosfatazy zasadowej w wodzie ( $\text{nmol PO}_4 \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ ), średnie z pięciu lat

**Fig. 2.** Seasonal changes of the total alkaline phosphatase activity in water ( $\text{nmol PO}_4 \text{ dm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ ), mean values from 5 years



**Rys. 3.** Wahania sezonowe aktywności ogólnej fosfatazy zasadowej w osadzie dennym ( $\text{nmol PO}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ s.m.} \cdot \text{h}^{-1}$ ), średnie z pięciu lat

**Fig. 3.** Seasonal changes of the total alkaline phosphatase activity in bottom sediment ( $\text{nmol PO}_4 \text{ g}^{-1} \text{ d.m.} \text{ h}^{-1}$ ), mean values from 5 years

## WNIOSKI

1. Aktywność ogólnej fosfatazy zasadowej w wodzie jeziora Głębokie była najwyższa w górnej warstwie sublitoralu (0,5-1m). Natomiast w osadzie dennym parametr ten osiągnął wyższy poziom w strefie litoralnej zbiornika.

2. Aktywność ogólnej fosfatazy zasadowej zarówno w wodzie jak i osadzie podlegała wahaniom sezonowym, a ich przebieg miał zbliżony charakter. Maksimum tej aktywności obserwowano w obu środowiskach wiosną (kwiecień) i latem (lipiec).

3. Przyjmując aktywność ogólnej fosfatazy zasadowej jako miernik postępującej eutrofizacji nie stwierdzono w 5-cio letnim okresie pogłębiania się tego procesu w badanym jeziorze.

## PIŚMIENNICTWO

1. **Chróst R.J., Siuda W., Halemejko G.Z.:** Longterm studies on alkaline phosphatase activity (APA) in a lake with fish-aquaculture in relation to lake eutrophication and phosphorus cycle. Arch. Hydrobiol. Suppl., 70, 1, 1-32, 1984.
2. **Chróst R. J., Siuda W.:** A method for determining enzymatically hydrolyzable phosphate (EHP) in natural waters. Limnol. Oceanogr., 31, 662-667, 1986.
3. **Furczak J.:** Częstość występowania bentosowych bakterii heterotroficznych w dwu różniących się poziomem trofii jeziorach Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego (SE-Polska). Ann.UMCS, sec.E, 53, 219-225, 1998.
4. **Furczak J.:** Dynamika zmian ilościowych bakterii heterotroficznych w dwóch troficznie różnych jeziorach Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego (Polska). Studia Ośr. Dok. Fizjograf. PAN, Oddział w Krakowie, (w druku).
5. **Furczak J., Bielińska E. J.:** Aktywność ogólnej fosfatazy zasadowej w wodzie i osadzie dennym niektórych jezior Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego Cz.I. Mezotroficzne jezioro Piaseczno. Acta Agrophysica, 56, 125-135, 2001.
6. **Górniak A.:** Composition of the organic matter in lakes bottom sediments. Procc. IHSS Ins. Meeting, Bari, ed. Senesi N., Miano T.M., Elsevier Publisher, Amsterdam, 1993.
7. **Jansson M., Olsson H., Pettersson K.:** Phosphatases: origin, characteristics and function in lakes. Hydrobiol., 170, 157-175, 1988.
8. **Jones J.G.:** Studies on freshwater microorganisms: phosphatase activity in lakes of differing degrees of eutrophication. J. Ecol., 60, 777-791, 1972.
9. **Kobari H., Taga N.:** Occurrence and distribution of phosphatase in neritic and oceanic sediments. Deep-Sea Res., 26A, 799-808, 1979.
10. **Korniłowicz T.:** The dynamics the quantitative changes of mycoflora in two lakes differing in trophicity (Poland). I. Acta Mycol., 29, 23-31, 1994.
11. **Korniłowicz T.:** The dynamics of quantitative changes of mycoflora in two lakes differing in trophicity (Poland). II. Acta Mycol., 29, 159-168, 1994.
12. **Korniłowicz-Kowalska T., Furczak J.:** Właściwości mikrobiologiczne wody i osadu dennego jeziora Piaseczno i Głębokie (Pojezierze Łęczyńsko-Włodawskie), Polska. Acta Agrophysica, 67, 143-153, 2002.



13. **Misztal M., Górniak A., Smal H.:** Dynamika stężeń składników chemicznych wód litoralu jeziora Głębokie na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim. *Ann. UMCS, sec. B*, 42/43, 89-97, 1987/1988.
14. **Misztal M., Smal H.:** Ocena wielkości dopływu wybranych pierwiastków do jezior z różnie zagospodarowanych części zlewni na tle warunków glebowych. *Studia Ośr. Dok. Fizjograf. PAN, Oddział w Krakowie*, 19, 193-207, 1991.
15. **Radwan S., Zwolski W., Kowalczyk Cz., Kowalik W., Popiołek B.:** Występowanie bezkręgowców w strefie przybrzeżnej jezior Piaseczno i Głębokie o różnej trofii. *Studia Ośr. Dok. Fizjograf. PAN, Oddział w Krakowie*, 19, 327-363, 1991.
16. **Sayler G.S., Puziss M., Silver M.:** Alkaline phosphatase assay for freshwater sediments: application to perturbed sediment systems. *Appl. Environ. Microbiol.*, 38, 922-927, 1979.
17. **Schindler D.W.:** Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world fresh-water. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 478-486, 1978.
18. **Siuda W.:** Phosphatases and their role in organic phosphorus transformation in natural waters. A review. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 31, 207-233, 1984.
19. **Tabatabai M.A., Bremner J.M.:** Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.*, 1, 301-307, 1969.
20. **Wilgat T., Michalczyk Z., Turczyński M., Wojciechowski K.H.:** Jeziora Łęczyńsko-Włodawskie. *Studia Ośr. Dok. Fizjograf. PAN, Oddział w Krakowie*, 19, 23-140, 1991.
21. **Yiyong Zh.:** UV-sensitive P compounds: release mechanism, seasonal fluctuation and inhibitory effects on alkaline phosphatase activity in a shallow Chinese freshwater lake (Donghu Lake). *Hydrobiol.*, 335, 55-62, 1996.

ACTIVITY OF TOTAL ALKALINE PHOSPHATASE IN CHOSEN LAKES  
OF THE ŁĘCZYŃSKO-WŁODAWSKIE LAKE DISTRICT  
PART II. EUTROPHIC LAKE GŁĘBOKIE

*Jadwiga Furczak*

Department of Agricultural Microbiology, University of Agriculture  
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin  
e-mail: klauskoczek@poczta.onet.pl

**Abstract.** Water and bottom sediment from different zones of the Głębokie eutrophic lake were subjected to 5-year studies (1986-1990). Activity of total alkaline phosphatase was determined four times a year in these environments. Studies upon water revealed that, among the zones analyzed, upper sublittoral layer (0.5-1 m) was characterized by the highest phosphatase activity. For the bottom sediment, a higher level of the enzymatic parameter was recorded in the littoral. From the analysis of seasonal oscillations it follows that activity maximum for alkaline phosphatase, both in water and bottom sediment, occurred in spring (April) and summer (July). Basing on that parameter, no increase of eutrophication process in the Głębokie lake was observed during the 5-year period.

**Key words:** total alkaline phosphatase activity, water, bottom sediment, Głębokie eutrophic lake