

BADANIA LABORATORYJNE AERATORA TARCZOWEGO

Sławomir Bajkowski

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Ochrona jezior przed eutrofizacją wymusza działania mające na celu ograniczenie dopływu substancji pokarmowych oraz zahamowanie rozwoju glonów i planktonu. Jednym ze sposobów ograniczenia populacji sinic w wodach jezior jest utrzymanie w powierzchniowej warstwie niekorzystnych dla ich rozwoju warunków przepływu. W tym celu na Jeziorze Zdrowskim (Pojezierze Gostyńsko-Włocławskie) zaproponowano zainstalowanie aeratora powodującego utrzymanie stałego falowego przepływu powierzchniowego. Na jeziorze tym zastosowano jednocześnie zabiegi zapobiegające obniżaniu się poziomu wody i ograniczające dopływ biogenów, a także bariery przeciwdziałające ekspansji sinic. Aerator ma za zadanie rozprowadzać wodę wpływającą do jeziora z pompowni Dobrzyków, utrzymując przy tym falowy przepływ powierzchniowy. W artykule opisano badania laboratoryjne aeratora, które miały na celu rozpoznanie wpływu zmienionych warunków hydraulicznych jeziora na skuteczność działania urządzenia. Wpływ ten modelowano poprzez zmianę kąta wychylenia tarczy oraz wysokości jej położenia względem lustra wody.

Słowa kluczowe: aerator tarczowy, jezioro, badania laboratoryjne

WSTĘP

Badania laboratoryjne aeratora tarczowego przeprowadzono na zlecenie Wojewódzkiego Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych Oddział w Płocku. Zakres prac obejmował eksperymentalne badania laboratoryjne skuteczności działania aeratora oraz wykonanie prototypu urządzenia [Bajkowski i Jeznach 2006]. Model stanowił wycinek 1/12 tarczy aeratora o kącie środkowym $2\alpha = 30^\circ$. Wysokość kolumny razem z górną częścią tarczową wynosiła 0,70 m, w tym odcinek pionowej kolumny o długości 0,60 m. U podstawy kolumny umieszczono króciec wlotowy. Górny kołnierz, szczelina wylotowa wysokości 2,0 cm oraz tarcza rozptyłowa zostały wykonane zgodnie z projektem opracowanym przez Ławacza i Szumskiego [2006]. Boczne granice rozptyłu strumienia zamodelowano ściankami biegnącymi wzdłuż promieni tarczy.

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Sławomir Bajkowski, Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa, e-mail: slawomir_bajkowski@sggw.pl.

Rozwiązania konstrukcyjne elementów wylotowych oznaczono następująco:

- K01 – model aeratora działający bez górnej tarczy tworzącej szczelinę wypływową. Konstrukcja ta została wprowadzona w celu określenia zachowania się strumienia wody na tarczy w momencie zniszczenia górnego przykrycia tworzącego szczelinę wypływową.
- K02 – model aeratora z tarczą górną, w której wykonano piezometry do kontroli ciśnienia piezometrycznego na długości odcinka wypływowego.
- K03 – model aeratora z górną tarczą według projektu.

W artykule przedstawiono metodykę badań oraz wybrane ich wyniki dla wariantu K03. Celem tych badań było określenie warunków działania aeratora pod kątem utrzymania przypowierzchniowego przepływu wody oraz ustalenie form strumienia i zakresu ich występowania wzdłuż kierunku rozplływania się strumienia.

MATERIAŁ I METODY

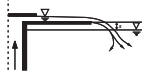
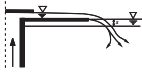







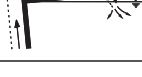
Ustalenie warunków pracy aeratora w czasie falowania na jeziorze wymagało określenia miarodajnych parametrów fali na podstawie danych o kierunkach i prędkościach wiatrów. Do obliczenia parametrów fali przyjęto prędkości wiatru według zaleceń zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska... [2007]. Efektywną długość rozbiegu fali do miejsca lokalizacji aeratora określono z Mapy batymetrycznej Jeziora Zdrowskiego [2005]. Głębokość efektywną zbiornika określono dla dna mineralnego oraz istniejącego pokładu namulów [Raport końcowy... 2007]. Ustalona wysokość fali płytkowodnej wynosiła 0,45 m, a jej długość 6,1 m. Przy nabiegu grzbietu fali aerator będzie wynurzał się ponad statyczny poziom wody oraz zagłębiał się poniżej tego poziomu, gdy nadejdzie dolina fali. Tarcza aeratora poddawana będzie wychyleniom zależnym od stromości fali. Znaczące wychylenie się aeratora będzie miało miejsce, gdy poziom falowania przetnie oś aeratora, a tarcza znajdzie się na stoku fali. Opierając się na analizowanych zmianach zwierciadła wody, ustalono schematy badawcze aeratora. Do badań zasadniczych wybrano schematy uwzględniające:

- rozwiązania konstrukcyjne elementów wylotowych,
- położenie tarczy względem zwierciadła wody,
- warunki przepływu na tarczy kształtowane zmiennym poziomem wody w zbiorniku.

Rozwiązania konstrukcyjne badanego modelu zaprezentowano w Raporcie częściowym [2007]. Położenie tarczy dla różnych schematów przedstawiono na rysunkach poglądowych w tabeli 1. Ustawienie tarczy aeratora względem zwierciadła wody scharakteryzowano wartością kąta jej nachylenia wyrażonego stosunkiem $1 : m$ oraz kierunkiem wychylenia. Współczynnik nachylenia m wyrażał stosunek długości odcinka stanowiącego rzut długości tarczy na płaszczyznę poziomą do długości rzutu tarczy na płaszczyznę pionową. Badano aerator ustawiony poziomo oraz wychylony w stosunku $1 : 10$ i $1 : 20$. Ustawienie płaszczyzny tarczy względem zwierciadła wody było następujące:

- TP – poziome, występujące przy spokojnym zwierciadle wody lub niewielkim falowaniu niepowodującym zmian warunków przepływu na tarczy;
- TD – wychylone o kąt dodatni, gdy płaszczyzna tarczy wskutek wystąpienia falowania wody wychylała się, a jej obrzeże obniżało się w kierunku doliny fali;
- TU – wychylenie o kąt ujemny, gdy koniec tarczy aeratora podwyższał się w kierunku szczytu fali.

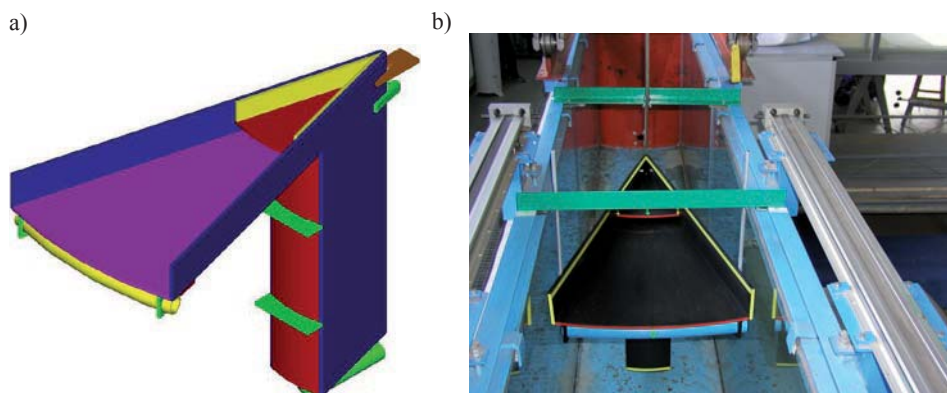
Tabela 1. Wielkości pomiarowe aeratora
Table 1. Characteristics of aerator

Lp. No	Wariant Variant	Współczynnik nachylenia tarczy Shield slope coefficient m	Schemat Scheme	Poziom wody Water level $s \cdot 10^{-2}$, m	Głębokość końcowa Final depth 10^{-2} , m	Prędkość końcowa Final velocity 10^{-2} , m
1.	K03TP00WD05	0		-5,16	0,80	0,733
2.	K03TP00WP00	0		-0,130	0,86	0,452
3.	K03TP00WG01	0		+0,70	0,95	0,529
4.	K03TP00WG05	0		+4,84	4,84	0,080
5.	K03TU10WD05	10		-5,00	1,06	0,432
6.	K03TD10WG05	10		+5,08	5,10	0,235
7.	K03TD20WP00	20		+0,01	0,62	0,759
8.	K03TD20WG05	20		+5,17	5,23	0,138
9.	K03TU20WP00	20		-0,16	1,15	0,468
10.	K03TU20WD05	20		-5,12	1,13	0,435

Badano następujące położenia przekroju końcowego tarczy względem zwierciadła wody:

- WP – gdy przekrój wylotowy znajdował się na poziomie zwierciadła wody ($s = 0$),
- WD – gdy przekrój końcowy tarczy znajdował się ponad zwierciadłem, a woda z tarczy spływała swobodnie do zbiornika ($s > 0$),
- WG – gdy poziom wody w zbiorniku znajdował się ponad rzędną przekroju wylotowego tarczy ($s < 0$), a woda w zbiorniku powodowała podtopienie lub zatopienie strumienia na tarczy.

Model aeratora zamocowano w korycie o długości 20,00 m, głębokości 1,00 m oraz szerokości 0,60 m (rys. 1b). Przyjęte oznaczenia i wartości współczynników charakteryzujących warunki prowadzenia badań podano w tabeli 1. Oś symetrii aeratora oraz oś stanowiska badawczego stanowiły profil, wzdłuż którego wykonywano pomiary parametrów hydraulicznych strumienia na tarczy oraz w obszarze zbiornika utworzonego w korycie pomiarowym. Stały poziom wody w zbiorniku utrzymywany był przez przelew dolny.



Rys. 1. Model i stanowisko badawcze: a – model aeratora, b – instalacja modelu
Fig. 1. Model and laboratory flume: a – aerator model, b – model installation

Na stanowisku badawczym zainstalowano dwa układy wózków z możliwością mocowania na nich urządzeń pomiarowych. Wodowskaz na wózku dolnym pozwalał na kontrolę poziomu wody na przelewie odpływowym. Wózek górny stanowił zasadniczy element jezdny, na którym zamocowano wodowskaz do pomiaru układu zwierciadła wody na tarczy aeratora i w zbiorniku oraz elektromagnetyczny miernik do pomiaru prędkości wody. W trakcie wykonywania badań wykorzystywano też inne urządzenia wyposażenia laboratoryjnego. Były to urządzenia połączone do komputerowego systemu badawczego, takie jak przepływomierz, barometr oraz termometry do określania temperatury powietrza i wody.

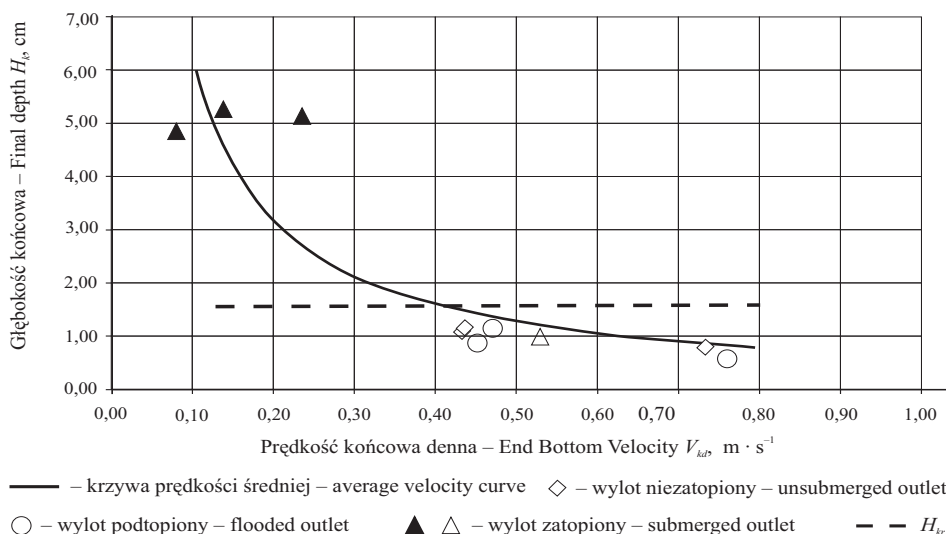
Pomiary parametrów strumienia wody prowadzono w 34 pionach, z których 18 położonych było na długości tarczy, a pozostałe w zbiorniku. Piony pomiarowe w zbiorniku zagęszczono w bezpośredniej odległości od tarczy co 0,20 m. W środkowej strefie zbiornika położone były co 0,50 m, a w strefie końcowej co 2,00 m. Zakres rozpoznania warunków przepływu w zbiorniku sięgał 12,00 m.

WYNIKI

Badania laboratoryjne aeratora wykonano przy stałym natężeniu przepływu równym $3,33 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, co stanowiło 1/12 przepływu w naturze, wynoszącego $40,0 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Niepewność ustalenia natężenia przepływu wynosiła $\pm 0,25\%$. Ukształtowanie prądów wodnych w obszarze rozplywu wody badano na głębokości stanowiska badawczego wzdłuż jego osi. Do analiz wykorzystano wartości podłużnej składowej prędkości przepływu ustalonej miernikiem PEMS-E30.

Obszar tarczy. Wielkości charakteryzujące ustawienie tarczy oraz napełnienia i prędkości strumienia w przekroju końcowym podano w tabeli 1. Ustawienie aeratora wpływało na układ zwierciadła wody oraz prędkości przepływu na długości tarczy. Zależność średniej prędkości od napełnienia w przekroju końcowym tarczy aeratora przedstawia wykres na rys. 2.

Rozpływający się strumień scharakteryzowano jako swobodny, gdy spływając z tarczy, spadał do zbiornika, oraz podtopiony i zatopiony, gdy zwierciadło wody w zbiorniku wznosiło się ponad poziom tarczy. Za kryterium zatopienia strumienia w przekroju wylotowym przyjęto przewyższenie zwierciadła wody w zbiorniku ponad poziom głębokości krytycznej H_{kr} wynoszącej 1,59 cm. Uzyskane z badań punkty naniesione na wykres (rys. 2) wykazują, że część pomiarów wykonano w warunkach swobodnego strumienia w przekroju końcowym, a część przy jego zatopieniu. Dla warunków niezatopienia strumienia punkty uzyskane z badań znajdują się poniżej linii głębokości krytycznej, dla zatopionego powyżej tej linii. Największy wpływ na zatopienie strumienia w przekroju wylotowym ma głębokość wody w zbiorniku odniesiona do rzędnej końca tarczy.

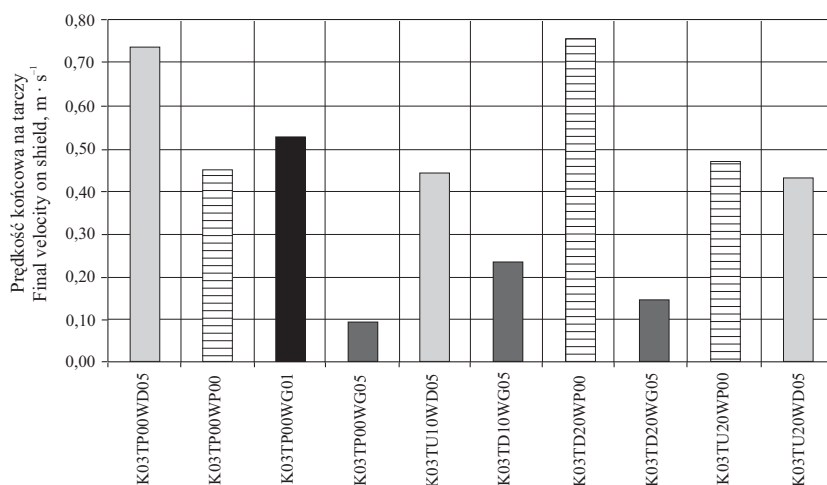


Rys. 2. Rozkład prędkości i głębokości wody w przekroju końcowym

Fig. 2. Distribution of water velocity and depth in final section

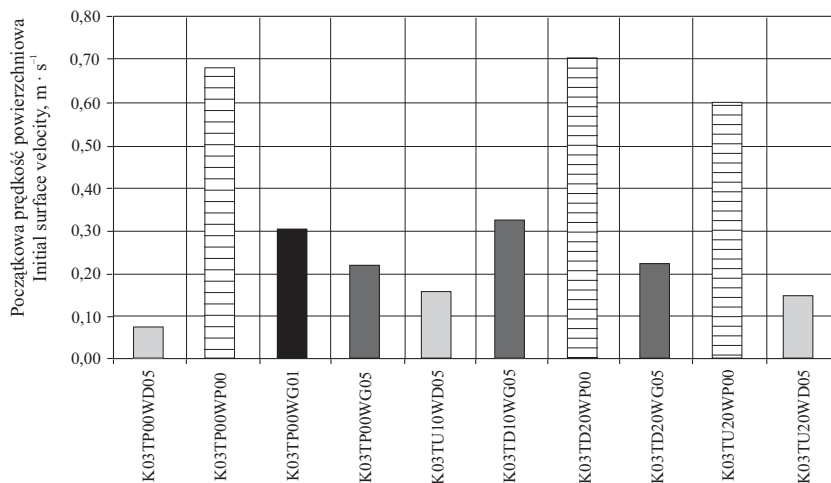
Na rys. 3 przedstawiono zmienność składowych podłużnych prędkości dennych V_x w przekroju końcowym tarczy. W pomiarze K03TP00WG01 głębokość wody w zbiorniku wynosząca 0,70 cm, zbliżona do głębokości końcowej przy wypływie swobodnym, nie spowodowała zatopienia strumienia wylotowego i ograniczenia prędkości końcowej. Jednak gdy głębokości w zbiorniku są zdecydowanie większe, to maleją prędkości strumienia spływającego z tarczy (pomiar oznaczony końcówką WG05).

Obszar zbiornika. Warunki przepływu w zbiorniku w dużym stopniu zależą od sposobu wprowadzenia oraz parametrów hydraulicznych strumienia w przekroju końcowym tarczy. Na rys. 4 pokazano zmiany prędkości powierzchniowej przy ustawieniach tarczy według opisanych schematów badawczych, widocznych na rysunkach w tabeli 1. Za tarczą aeratora strumień wpływał do zbiornika w obszarze zwierciadła wody lub kierował się do dna



Rys. 3. Pomierzone prędkości denne w przekroju końcowym

Fig. 3. Measured bed velocity in final section



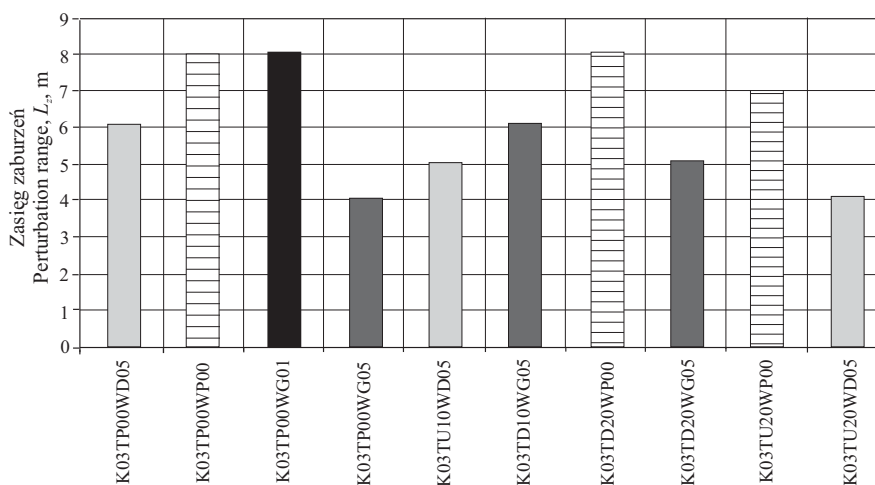
Rys. 4. Podłużne składowe początkowej prędkości powierzchniowej w zbiorniku

Fig. 4. Longitudinal components of initial surface velocity in laboratory flume

zbiornika. Łagodne zmiany prędkości mają miejsce przy wprowadzeniu strumienia zbliżonym do poziomu. Znacząco małe wartości prędkości uzyskano dla pomiarów, przy których tarcza ustawiona była przeciwnie do kierunku przepływu, a jej koniec znajdował się ponad zwierciadłem wody. Przy podwyższeniu końca tarczy, na początkowym odcinku zbiornika występowała strefa przepływów wstecznych. Długość tej strefy wynosiła około 3,0 m. Dla tych pomiarów strumień spływający z tarczy kierował się do dna zbiornika i po minięciu powierzchniowego wiru wypływał ku górze. Z przeprowadzonych analiz wynika, że gdy tarcza aeratora zostanie wychylona ku górze, a jej koniec znajdzie się ponad zwierciadłem wody, występują niekorzystne warunki rozpluwania się strumienia w zbiorniku. Gdy koniec tarczy znajdował się na poziomie zwierciadła wody lub poniżej tego poziomu, to woda odplwiała od aeratora w warstwie powierzchniowej.

Występowanie dużych prędkości końcowych na tarczy nie gwarantuje pojawienia się dużych prędkości wpływania strumienia do zbiornika. Największe prędkości początkowe uzyskano dla poziomej tarczy położonej na zwierciadle wody. Na rys. 3 widać, że największe prędkości końcowe występowały dla pomiarów o niezatopionym strumieniu. Jednocześnie z rys. 4 wynika, że tylko dla tarczy położonej na poziomie zwierciadła wody prędkości początkowe były największe. Uzyskiwanie dużych prędkości na wlocie do zbiornika wynika ze sposobu wprowadzenia wody w jego obszar. Prędkości te są duże tylko wtedy, gdy wektor prędkości podłużnej znajduje się w pobliżu zwierciadła wody i gdy jednocześnie prędkość końcowa na tarczy jest duża.

Zakres efektywnej strefy rozplywania się strumienia L_z określono, wykorzystując rozkłady podłużnej składowej prędkości powierzchniowej w zbiorniku. Za zakres tego obszaru uznano odległość, w której zaobserwowano zanik spadku wartości analizowanej prędkości. Zasięg powierzchniowego przepływu radialnego zależał od parametrów strumienia wlotowego oraz sposobu wprowadzenia strumienia spływającego z tarczy do zbiornika. Największe oddziaływanie aeratora wystąpiło przy położeniu przekroju końcowego tarczy na poziomie zwierciadła wody w zbiorniku (rys. 5). Podtopienie strumienia wylotowego nieprzekraczające wartości końcowej głębokości krytycznej nie powodowało ograniczenia zasięgu efektywnej strefy rozplywania się strumienia (rys. 5 pomiar K03TP00WG01). Dopiero, gdy poziom wody przekroczył linię końcowej głębokości krytycznej, wystąpiło wyraźne zmniejszenie się długości L_z (rys. 5 – pomiary dla poziomu wody WG05).



Rys. 5. Długość strefy zaburzeń

Fig. 5. Length of perturbation zone

WNIOSKI

1. Konstrukcja aeratora umożliwia utrzymanie radialnego przepływu wody w powierzchniowej warstwie jeziora.
2. Przechyłanie się tarczy aeratora spowodowane falowaniem bądź przez przebywające na niej ptactwo będzie miało wpływ na warunki działania aeratora.

3. Niekorzystne warunki rozplywania się wody występują w momencie, gdy tarcza wychyla się od pionu w kierunku przeciwnym do przepływu wody, a jej koniec wypiętrza się ponad poziom wody.
4. Modelowanie ruchów tarczy w czasie falowania zwierciadła wody poprzez zmianę jej ustawienia dobrze oddaje rzeczywiste warunki występujące na jeziorze.
5. Na zmianę warunków rozplywania się strumienia na tafli jeziora w większym stopniu wpływa wypiętrzenie tarczy niż jej zagłębienie poniżej poziomu zwierciadła wody.
6. Wychylenie się tarczy spowodowane falowaniem ma większy wpływ na tworzenie się warstwy przepływu powierzchniowego niż jej podwyższenie się ponad statyczne zwierciadło wody.
7. Ustalenie rzeczywistego zakresu rozplywania się strumienia w jeziorze wymaga wykonania pomiarów w czasie pracy aeratora.

PIŚMIENNICTWO

- Bajkowski S., Jeznach J., 2006. Urządzenia do eliminacji zakwitów sinic na Jeziorze Zdrowskim. Opinia funkcjonalności. Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska, Warszawa (maszynopis).
- Ławacz W., Szumski P., 2006. Urządzenia do eliminacji zakwitów sinic na Jeziorze Zdrowskim. EKOPAN s.c., Łomianki.
- Mapa batymetryczna Jeziora Zdrowskiego. Izobaty dna mineralnego jeziora. Pracownia Usług Geodezyjnych „AZYMUT”, Płock 2005.
- Raport częściowy z realizacji I i II zadania. Badania modelowe oraz wykonanie prototypu aeratora falowego. Praca zespołowa. Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska, Warszawa 2007 (maszynopis).
- Raport końcowy z załącznikami. Badania modelowe oraz wykonanie prototypu aeratora falowego. Praca zespołowa. Maszynopis. Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska, Warszawa 2007.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie. Dz. U. z 2007 r. Nr 86, poz. 579.

LABORATORY TESTS OF SHIELD AERATOR

Abstract. The anti-eutrophication protection of lakes requires limiting the inflow of nutrients to the water bodies and restraining the growth of algae and plankton. One of the ways to limit the size of algae populations in a lake is to maintain within the surface layer of water the flow conditions that are unfavourable for their growth. With this in view, it was proposed to install an aerator on the Zdrowskie Lake (Gostyńsko-Włocławskie Lake District) to ensure a constant waving surface flow. The lake has been provided with barriers against the expansion of algae, and measures have been taken to prevent the water level from lowering and to limit the inflow of biogenic substances. The role of the aerator is to distribute water coming into the lake from the Dobrzyków pump station while maintaining a waving surface flow. Laboratory tests of the aerator were aimed at investigating the influence of diverse hydraulic conditions of the lake on the effectiveness of the device. This influence was modelled by changing the deflection angle of the aerator shield and varying its height and location against the water table.

Key words: shield aerator, lake, laboratory tests

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 21.05.2010