

Marta Cendrowska, Mikołaj Adamczyk^{1,2}, Małgorzata Godlewska³, Wojciech Puchalski⁴

¹Zakład Rybactwa Rzecznego, Instytut Rybactwa Śródlądowego w Olsztynie

²Laboratorium Inżynierii Wodnej, Politechnika w Lozannie, Szwajcaria

³ Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii, Polska Akademia Nauk, Łódź

⁴ Pracownia Natury, Konstancin Łódzki

Zastosowanie rybackiej echosondy naukowo-badawczej do badania makrofitów zanurzonych

Wstęp

Metody hydroakustyczne stosowane w badaniach prowadzonych zarówno w morzach, jak i wodach śródlądowych, kojarzone są przede wszystkim z możliwością szybkiego pozyskiwania informacji o zagęszczeniach oraz rozmieszczeniu przestrzennym ryb (Simmonds i MacLennan 2005), gdzie obok technik tradycyjnych (odłowy sieciowe) stanowią cenną nieinwazyjną metodę zbioru danych. Tymczasem w trakcie wykonywanych pomiarów hydroakustycznych rejestrowana jest siła odbicia sygnału jednocześnie od wszystkich napotkanych obiektów. Zatem na wynikowych echogramach widoczne będą także między innymi makrofity, w pobliżu których ryby często występują. Makrofity stanowią jeden z podstawowych składników łańcucha troficznego ekosystemów wodnych i pełnią bardzo istotną rolę w procesach rekultywacji i biomanipulacji ekosystemów wodnych (Ozimek i in. 1990, Ozimek 1992, Pieczyńska 2002). Występowanie i rozmieszczenie makrofitów w jeziorach związane jest często z ich różnymi wymaganiami środowiskowymi (Kłósowski 1985). Początki badań akustycznych służących przede wszystkim detekcji makrofitów przypadają na lata 80. XX wieku (Madsen 1993). Kolejne bardziej systematyczne badania makrofitów rozpoczęto w USA w połowie lat 90. (Sabol i Melton 1996), a liczba publikacji poświęconych temu zagadnieniu szybko rośnie (Sabol i in. 2002, Tęgowski i in. 2003, Valley i in. 2005 Winfield i in. 2007, Spears i in. 2009, Rustadbakken i in. 2010).

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie metody hydroakustycznej, jako narzędzia umożliwiającego pozyskiwanie informacji o występowaniu i strukturze wysokościowej makrofitów zanurzonych, wspomagającego tradycyjne metody badań. Dodatkowo wykonano próbę wykorzystania zebranych danych do zobrazowania ich rozmieszczenia przestrzennego i sporządzenia map poglądowych.

Miejsce i czas badań

Pilotażowymi badaniami objęto 5 jezior o różnicowanych charakterystykach morfologicznych i troficznych, zlo-

kalizowanych na terenie Drawieńskiego Parku Narodowego, tj. Jezioro Czarne (o powierzchni 19,48 ha, maksymalnej głębokości 29 m), jezioro Marta (73,69 ha, 25 m), jezioro Piasечно Duże (62,93 ha, 25,9 m), jezioro Płociczno (61,38 ha, 5,2 m) oraz jezioro Zdroje (23,25 ha, 4,8 m). Pomiary przeprowadzono w dniach 7-9 września 2013 r.

W niniejszej pracy przedstawiono przykładowe wyniki z pomiarów przeprowadzonych na Jeziorze Czarnym, które usytuowane jest w południowej części Drawieńskiego Parku Narodowego. Jest to śródlądowe jezioro pochodzenia polodowcowego, cechujące się znaczną głębokością oraz stromymi zboczami misy jeziornej (rys. 1), co w połączeniu z położeniem w lokalnym obniżeniu terenu wpływa na ograniczenie siły wiatru wywołującego prądy cyrkulacyjne (Kraska i in. 2006). W efekcie wody Jeziora Czarnego nie podlegają pełnemu wymieszaniu – zjawisko to nosi nazwę meromiksji. Skutkuje to występowaniem strefy beztlenowej nad dnem



Rys. 1. Batymetria Jeziora Czarnego (DPN).

w strefie głęboczek jeziora. W ocenie ogólnej Jezioro Czarne klasyfikowane jest jako mezotroficzne (o dużej przezroczystości wody), przy czym przypowierzchniowa warstwa wody jest oligotroficzna, natomiast hipolimnion jest eutroficzny.

Metodyka

Hydroakustyczne pomiary makrofitów zanurzonych wykonano za pomocą echosondy naukowo-badawczej SIMRAD EK60, z rozszczepioną wiązką o częstotliwości 200 kHz. Pomiary przeprowadzono z łodzi wyposażonej w silnik zaburtowy. Przetwornik stabilnie przymocowano do burty łodzi i skierowano pionowo w dół (fot. 1). Sondowanie każdego jeziora prowadzono poruszając się wzdłuż



Fot. 1. Przetwornik stabilnie przymocowany do burty łodzi i skierowany pionowo w dół.

piłokształtnych transektów, usytuowanych w poprzek dłuższej osi jeziora. Podczas pomiarów starano się kierować łódź na upatrzony punkt na przeciwległym brzegu jeziora, omijając ewentualne skupiska roślinności wynurzonej oraz jednocześnie zachować stałą prędkość przemieszczania (ok. 1 m s^{-1}). Pozycję łodzi rejestrowano za pomocą odbiornika GPS. Ponieważ były to badania pilotażowe, stopień pokrycia obszaru badań transektami był stosunkowo niewielki i nieregularny, chodziło głównie o zarejestrowanie różnych zbiorowisk roślinnych w różnych typach jezior. Jednocześnie w celu uzyskania maksymalnej rozdzielczości rejestrowanych echogramów zastosowano krótki impuls 0,1 ms oraz maksymalną częstotliwość pingowania. W trakcie prowadzonych pomiarów dane były zapisywane na dysku twardym komputera.

Późniejsze analizy danych akustycznych prowadzono z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania Sonar5-Pro (Balk i Lindem 2008). Program ten posiada rozbudowany moduł przeznaczony do analiz roślinności zanurzonej, które oparto na założeniu, że makrofity stanowią warstwę o zmiennej wysokości liczonej od zidentyfikowanego dna. Moduł ten pozwala m.in. na automatyczną detekcję i manualną korektę (edycję) linii definiujących na echogramie dno i górę warstwy makrofitów, z zastosowaniem progu minimalnej wysokości roślinności określanego przez

użytkownika (w tym przypadku przyjęto wartość progową wynoszącą 10 cm). W ten sposób z poszczególnych „pingów” wyodrębnione zostają dane dotyczące obecności makrofitów, ich wysokości oraz głębokości, na jakiej występują. Kolejne funkcje programu umożliwiają szereg analiz echogramów transektów pomiarowych, których wyniki mogą być prezentowane w odniesieniu do przedziału głębokości, bądź z uwzględnieniem przyjętej przez użytkownika „rozdzielczości” danych wyjściowych (tj. prezentowane jako ewentualne uśrednienie wartości na odcinkach o określonej ilości „pingów”, albo o określonym dystansie wyrażonym odległością lub czasem). W ramach prowadzonych analiz poszczególne transekty pomiarowe podzielono na odcinki o długości 100 „pingów” i wygenerowano raporty z Sonar5-Pro, zawierające serie danych charakteryzujące:

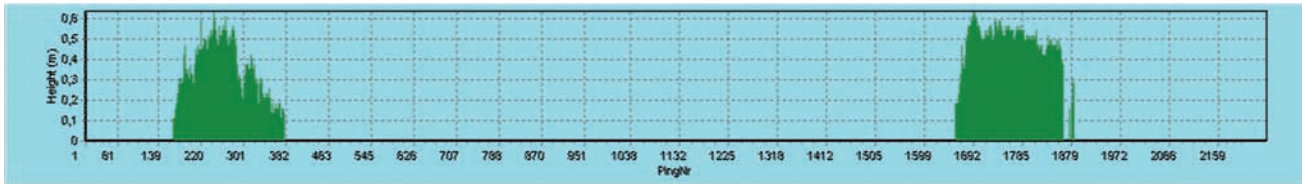
- ilość „pingów” w odcinku wraz z numerem pierwszego i ostatniego w odcinku;
- ilość „pingów” w odcinku z przekroczoną wartością progową minimalnej wysokości roślin;
- średnią i maksymalną na odcinku głębokość, na której występuje roślinność, liczoną tylko dla „pingów” w odcinku z przekroczoną wartością progową minimalnej wysokości roślin;
- średnią i maksymalną na odcinku głębokość, na której zidentyfikowano dno, liczoną dla wszystkich „pingów” na odcinku;
- średnią i maksymalną na odcinku wysokość roślin, liczoną tylko dla „pingów” w odcinku z przekroczoną wartością progową minimalnej wysokości roślin;
- średnią siłę odbicia dźwięku na jednostkę powierzchni.

Wyeksportowano również echogramy w postaci profili podłużnych transektów, przedstawiające batymetrię wraz z zaznaczonymi makrofitami oraz wykresy prezentujące strukturę wysokości roślin. Stopień pokrycia makrofitami na poszczególnych transektach obliczono jako stosunek wszystkich „pingów” na transekcie z przekroczoną wartością progową minimalnej wysokości roślin do wszystkich „pingów” na transekcie i wyrażono w procentach. Stopień pokrycia makrofitami dla całego jeziora obliczono jako średnią ważoną ze wszystkich transektów.

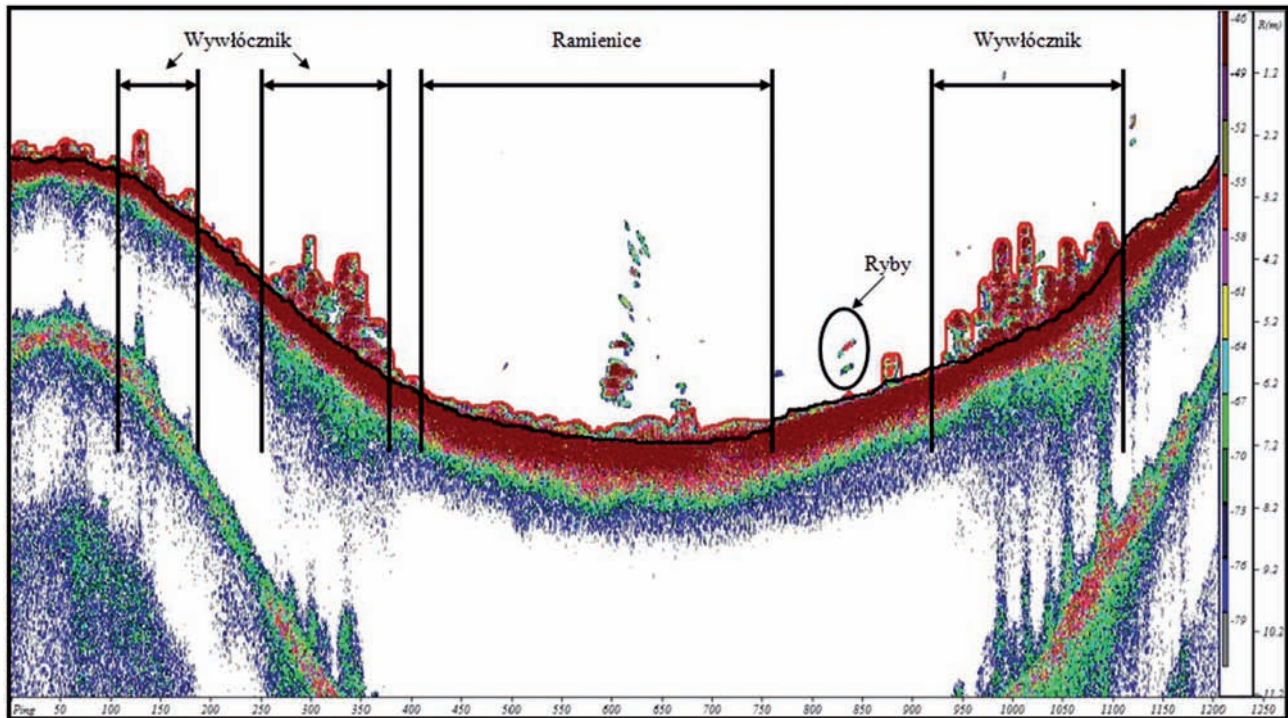
Dodatkowo w celu wizualizacji przestrzennego rozmieszczenia stopnia pokrycia makrofitami oraz ich średniej wysokości, wykorzystano wygenerowane za pomocą Sonar5-Pro dane uśrednione ze 100 „pingów”. Na ich podstawie przeprowadzono interpolację przestrzenną i wykonano szacunkowe mapy.

Wyniki badań

W niniejszej pracy zaprezentowano przykładowe wyniki uzyskane dla jednego z jezior objętych kampanią pomiarową, przeprowadzoną w obrębie Drawieńskiego



Rys. 2. Struktura wysokości roślin na transekcje nr 2 w Jeziorze Czarnym. Maksymalna wysokość rzadko przekracza 0,5 m.



Rys. 3. Echogram transekcji nr 12 w Jeziorze Czarnym. Na mniejszych głębokościach widoczny dorodny wywłócznik, a głębiej znacznie niższe ramienice (górną powierzchnię płatów roślinności zanurzonej zakreślona czerwoną linią, powierzchnia dna zaznaczona czarną linią). Nad dnem widoczne dwie ryby. Zidentyfikowana rozproszona struktura w centralnej części to pojedynczy, rozgałęziony pęd rdestnicy *Potamogeton lucens*.

Parku Narodowego, tj. dla Jeziora Czarnego. Sondowanie wykonano na 14 transektach pomiarowych o łącznej długości ok. 2850 m, otrzymując tym samym stopień pokrycia obszaru badań transektami wynoszący ok. 6,5 (wyrażony jako stosunek łącznej długości transektów do pierwiastka powierzchni obszaru badań pomnożonego przez 100). Pomiar akustyczny przeprowadzono utrzymując średnią prędkość łodzi około 1 m s^{-1} w przybliżonym czasie 45 minut.

Całkowite pokrycie jeziora makrofitami było niewielkie i wyniosło 27%. Rośliny występowały głównie w południowej, płytszej części jeziora oraz wzdłuż brzegów. Średnie wysokości roślin na analizowanych transektach były niewielkie, raczej nie przekraczały 0,5 m (rys. 2) i tylko na 3 z nich były wyższe.

Na płytkich wodach występował głównie wywłócznik, natomiast głębiej ramienice w przedziale głębokości od 6 do 10 m (rys. 3).

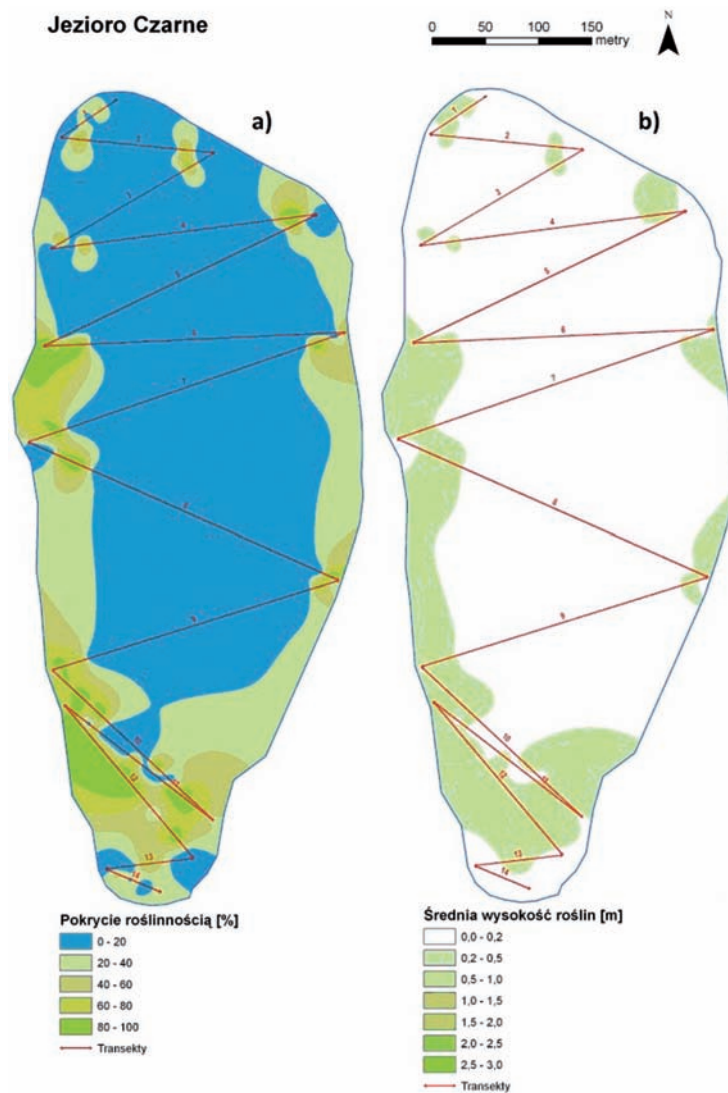
Uśrednione dane ze 100 „pingów”, odpowiadające odcinkom pomiarowym o średniej długości około 8 metrów, posłużyły do wykonania poglądowych map przestrzennego rozmieszczenia makrofitów w jeziorze. Prezentują one pro-

centowy stopień pokrycia roślinnością zanurzoną oraz ich średnią wysokość (rys. 4).

Poglądowe mapy odzwierciedlają spodziewany zasięg pokrycia jeziora makrofitami, który odpowiada batymetrii jeziora pod względem obecności roślinności głównie wzdłuż brzegów oraz niezajętym przez rośliny obszarem profundalu. Również szacunek wysokości roślin właściwie oddaje charakterystyki występujących makrofitów, które w głównej mierze w Jeziorze Czarnym reprezentowane są przez ramienice osiągające wysokość do około 1 m.

Dyskusja

Przeprowadzone badania wskazują na przydatność metody hydroakustycznej, jako cennego narzędzia badania makrofitów zanurzonych. Pozwala ona nie tylko na ocenę stopnia pokrycia dna makrofitami i zasięgu głębokości występowania roślin, ale również umożliwia późniejszą wizualizację przestrzennego rozmieszczenia roślin i ich struktury wysokościowej. Wykorzystywanie wyników pomiarów hydroakustycznych do celów wizualizacji kryje w sobie bardzo duży potencjał. Dzięki georeferencji zapi-



Rys. 4. Mapa: a) szacowanego rozmieszczenia roślin (% stopień pokrycia); b) szacowanego przestrzennego rozmieszczenia średnich wysokości roślin.

sów komputerowych ech od makrofitów, w zależności od przyjętego zagęszczenia transektów i metody interpolacji, możliwe jest otrzymywanie map o nawet bardzo wysokiej dokładności (Valley i in. 2005). Na przykładzie zaprezentowanego echogramu wydaje się, że możliwa jest również klasyfikacja zbiorowisk roślinnych, a co najmniej ich optyczne odróżnianie. Dotyczy to w szczególności grup roślin z dominującym udziałem ramienic, wywłócznika i rdestnic, z uwagi na występowanie ich w różnych przedziałach głębokości. Wywłócznik i rdestnice dominują na niewielkich głębokościach (1-5 m), natomiast ramienice głębiej, w zakresie 6-11 m. Szczegółowe badania współczynnika odbicia dźwięku od różnych zbiorowisk roślinnych (pominięte w niniejszym opracowaniu) mogą w przyszłości pozwolić na zautomatyzowanie procesu identyfikacji grup roślin i klasyfikację niezależną od doświadczenia badacza. Pozwoliłoby to na sporządzanie map charakteryzujących nie tylko zagęszczenie makrofitów i ich wysokości, ale również wykonanie ich w podziale na różne zespoły roślinności.

Tradycyjne metody badań makrofitów zanurzonych (CEN 2003, Ciecierska 2004, 2008) są czasochłonne i wymagają dużych nakładów pracy, w szczególności w odniesieniu do większych akwenów (Bernatowicz 1960, Hohauserova i in. 2008). Metody hydroakustyczne są nie tylko szybkie i stosunkowo tanie w eksploatacji, ale przede wszystkim są to metody bezkontaktowe. Oznacza to, że ich prowadzenie nie wiąże się z ingerencją i niszczeniem przedmiotu badań, dostarczając informacji ilościowych łatwych do kwantyfikacji i standaryzacji. Tak więc z punktu widzenia spełnienia wymagań Ramowej Dyrektywy Wodnej (Dyrektywa 2000/60/WE), a także wymogów ochrony przyrody na obszarach chronionych, są one doskonałym narzędziem badania ekosystemów wodnych (Godlewska i in. 2002, Godlewska i Świerzowski 2004, Godlewska i in. 2004). Nie można również pominąć faktu, że badania hydroakustyczne wraz z informacją odnośnie makrofitów dostarczają danych o rozmieszczeniu, liczebności i wielkości ryb. Pozwalają tym samym na analizę wzajemnych zależności pomiędzy makrofitami i rybami, które są podstawą prawidłowego funkcjonowania ekosystemów wodnych.

Literatura

- Balk H., Lindem T., 2008 – Sonar4 and Sonar5-Pro post processing systems. Operator manual version 6.0.2, Lindem Data Acquisition A/S, 428 pp.
- Bernatowicz S., 1960 – Metody badania roślinności naczyniowej w jeziorach – Roczn. Nauk. Rol., T. 77, B, 1, 61-79.
- CEN TC 230 / WG 2 / TG 3 / N72 2003. Water quality – Guidance standard for the surveying of macrophytes in lakes – Complementary element.
- Ciecierska H., 2004 – Ecological State of Reference Lakes of the European Intercalibration Network, Located in the Masurian Landscape Park (NE Poland) – *Limnological Review*, 4: 45-50.
- Ciecierska H., 2008 – Makrofity jako indykatory stanu ekologicznego jezior – Rozprawy i Monografie, UWM, Olsztyn, 139 s.
- Godlewska M., Świerzowski A., 2004 – Hydroakustyka jako narzędzie monitoringu ryb i środowiska ekosystemów jeziornych – W: Ochrona i rekultywacja jezior, (eds) R. Wiśniewski i J. Jankowski, Grudziądz, str. 33-42.
- Godlewska M., Świerzowski A., Winfield I. J., 2004 – Hydroacoustics as a tool for studies of fish and their habitat – *Ecohydrology & Hydrobiology* 4: 417-427.
- Godlewska M., Górska N., Klusek Z., Szczucka J., Świerzowski A., Tęgowski J., 2002 – Hydroacoustics as a tool for monitoring the quality of aquatic ecosystems. Ecology and Ecotechnologies, Proceedings of the Review Conference on the scientific cooperation between Austria and Poland, February 24-28, 2002, Scientific Centre of the Polish Academy of Sciences, Vienna, Austria, vol. 2: 287-295.
- Hohauserova E., Kubecka J., Frouzova J., Husak S., Balk H., 2008. – Experimental biomass assessment of three species of freshwater aquatic plants by horizontal acoustics – *J. Aquat. Plant Manage.* 46: 82-88.
- Kłosowski S., 1985 – Habitat requirements and bioindicator value of main communities of aquatic vegetation in northeast Poland – *Pol. Arch. Hydrobiol.* 32, 1, 7-29.
- Komisja Europejska 2000 – Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.

- Kraska M., Klimaszuk P., Piotrowicz R., 2006 – Meromictic Lake Czarne in the Drawieński National Park – Oceanological and Hydrobiological Studies, XXXV, 1: 55-67.
- Madsen J.D., 1993 – Biomass techniques for monitoring and assessing control of aquatic vegetation – Lake and Reservoir Management, 7: 141-154.
- Ozimek T., 1992 – Makrofity zanurzone i ich relacje z glonami w jeziorach o wysokiej trofii – Wiad. Ekol. XXXVIII, 1, 13-34.
- Ozimek T., Gulati R.D., van Donk E., 1990 – Can macrophytes be useful in biomanipulation of lakes? The Zwemlust example – Hydrobiologia, 200/201, 399-407.
- Pieczynska E., 2002 – Oddziaływanie roślinożernych bezkręgowców na makrofity zanurzone – Wiad. Ekol. T.XLVIII, 2, 71-98.
- Rustadbakken A., Godlewska M., Długoszewski B., 2010 – Hydroacoustic assessment of lake quality within the “DeWELopment” project – Hydroacoustics, 13: 215-224.
- Sabol B. & Melton R. E., 1996 – Development of an automated system for detection and mapping of submersed aquatic vegetation with hydroacoustic and global positioning system technologies; report 1: The Submersed Aquatic Vegetation Early Warning System (SAVEWS) -System description and user's guide (Version 1). Joint Agency Guntersville Project Aquatic Plant Management, TVA/WR-95-00. Tennessee valley Authority, Knoxville, Tennessee.
- Sabol B. M., Melton R. E. Jr, Chamberlain R., Doering B., Haurert K., 2002 – Evaluation of a Digital Sounder System for Detection of Submersed Aquatic Vegetation – Estuaries 25: 133-141.
- Simmonds E.J., MacLennan D.N., 2005 – Fisheries Acoustics – Chapman & Hall, Londyn: 476.
- Spears B.M., Gunn I.D.M., Carvalho L., Winfield I.J., Dudley B., Murphy K., May L., 2009 – An evaluation of methods for sampling macrophyte maximum colonization depth in Loch Leven, Scotland – Aquatic Botany, doi:10.116/jaquadot.2009.02.007.
- Tęgowski J., Gorska N., Klusek Z., 2003 – Statistical analysis of acoustic echoes from underwater meadows in the eutrophic Puck Bay (southern Baltic Sea) – Aquatic Living Resources, 16, 215-221.
- Valley R. D, Drake M. T., Anderson Ch. S., 2005. Evaluation of alternative interpolation techniques for the mapping of remotely-sensed submersed vegetation abundance. Aquatic Botany 81: 13-25.
- Winfield I.J., Onoufriou C., O'Connell M.J., Godlewska M., Ward R. M., Brown A. F., Yallop M. L., 2007 – Assessment in two shallow lakes of a hydroacoustic system for surveying aquatic macrophytes – Hydrobiologia, 584: 111-119.

Przyjęto po recenzji 3.07.2015 r.

USING A FISHERY RESEARCH ECHO SOUNDER, TO MEASURE SUBMERGED MACROPHYTES

Marta Cendrowska, Mikołaj Adamczyk, Małgorzata Godlewska, Wojciech Puchalski

ABSTRACT. Hydroacoustic techniques that permit detecting fish distribution and estimating fish biomass are often applied in fisheries research. These can also be used either simultaneously or independently to detect and measure submerged macrophytes, which are among the key elements in freshwater ecosystems and can reflect perturbations in them. This paper presents a preliminary interpretation of hydroacoustic measurements in Lake Czarne in Drawieński National Park, northwest Poland, obtained with a split-beam Simrad EK60 echo sounder with a 200 kHz transducer. The data collected were analyzed with the Sonar 5 Pro macrophyte module. Maps of macrophyte cover and height were produced using GIS and interpolation techniques. This research shows that hydroacoustic methods for macrophyte assessment can be an alternative to traditional methods of investigation which are destructive, costly, and time consuming. Hydroacoustics is as rapid, non-invasive approach that provides data easily for quantification and standardization, which makes it an accurate tool for monitoring submerged vegetation in lakes and reservoirs in accordance with the requirements of the Water Framework Directive and for nature conservation in protected areas.

Keywords: hydroacoustics, submerged vegetation, Drawieński National Park, Lake Czarne, GIS, WFD