

PRACE NAUKOWE

Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

Nr 454

**Ekonomika ochrony środowiska
i ekoinnowacje**



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2016

Redakcja wydawnicza: Elżbieta Kożuchowska
Redakcja techniczna i korekta: Barbara Łopusiewicz
Łamanie: Małgorzata Myszkowska
Projekt okładki: Beata Dębska

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania
znajdują się na stronach internetowych
www.pracnaukowe.ue.wroc.pl
www.wydawnictwo.ue.wroc.pl

Publikacja udostępniona na licencji Creative Commons
Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 3.0 Polska
(CC BY-NC-ND 3.0 PL)



© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2016

ISSN 1899-3192
e-ISSN 2392-0041
ISBN 978-83-7695-621-3

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Zamówienia na opublikowane prace należy składać na adres:
Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław
tel./fax 71 36 80 602; e-mail: econbook@ue.wroc.pl
www.ksiegarnia.ue.wroc.pl

Druk i oprawa: TOTEM

Spis treści

Wstęp.....	9
------------	---

Część 1. Współczesne problemy ekonomiki ochrony środowiska

Anna Bisaga: Zarządzanie funkcją środowiskową w rolnictwie – źródło nowych rent gospodarstw rolnych / The management of the environmental function in agriculture – the source of new pensions of agricultural households.....	13
Zbigniew Brodziński, Katarzyna Brodzińska: Uwarunkowania rozwoju rynku zielonych miejsc pracy na przykładzie podmiotów zajmujących się przetwórstwem biomasy na cele energetyczne / Conditions of green jobs market development based on the example of businesses processing biomass for energy purposes.....	22
Agnieszka Ciechelska: Analiza skuteczności i zrównoważenia polskiego systemu gospodarki odpadami komunalnymi / Analysis of the effectiveness and sustainability of the Polish municipal waste management system.....	31
Ilisio Manuel de Jesus, Natalia Sławińska: Kształtowanie się cen gruntów rolnych w Polsce na tle wybranych krajów Unii Europejskiej / Price formation of agricultural land in Poland on the background of selected countries of the European Union.....	45
Anna Dubel: Efektywność ekonomiczna inwestycji na obszarach szczególnego zagrożenia powodzią / Economic efficiency of investment on areas of special flood-related hazards.....	52
Piotr Jeżowski: Techniczne uwarunkowania rozwoju gospodarki niskoemisyjnej w Polsce / Technical conditions for development of the low emission economy.....	63
Waldemar Kozłowski: Ocena wskaźnikowa inwestycji infrastruktury wodno-kanalizacyjnej w aspekcie zrównoważonego rozwoju / Evaluation of investment ratio water supply and sewerage infrastructure in the context of sustainable development.....	79
Barbara Kryk: Rachunek korzyści ekologicznych z inwestycji termomodernizacyjnych na przykładzie spółdzielni mieszkaniowych województwa zachodniopomorskiego / Account of environmental benefits from thermo-modernization investment on the example of cooperative housing of West Pomeranian Voivodeship.....	92

Łukasz Kuźmiński, Łukasz Szalata, Bogusław Fiedor, Jerzy Zwoździak: Ocena zmienności ryzyka zagrożenia powodziowego w dorzeczu Odry na podstawie rozkładów półrocznych maksimum stanów wód / The rating of volatility of flood hazard risk in the basin of the Oder River based on biannual distributions of maximums of water levels.....	102
Romuald Ogrodnik: Wskaźniki efektywności działalności środowiskowej kopalń węgla kamiennego / Environmental performance indicators of hard coal mines.....	117
Jarosław Pawłowski: Zasadność ekoratingu samochodów osobowych / Ap- propriateness of eco-rating of passenger cars.....	131
Anna Śliwińska: Metodyka poszerzenia systemu i alokacji w ocenie cyklu życia procesów wielofunkcyjnych / System expansion and allocation methodology in a life cycle assessment of multi-functional processes.....	141

Część 2. Postęp techniczny a ekonomia środowiska oraz zasobów naturalnych

Sylwia Dziejcz: Ekoinnowacyjne zachowania zakupowe klientów / Eco-in- novative purchasing behavior of customers.....	159
Stanisław Famielec, Józefa Famielec: Ekonomiczne i techniczne uwarunko- wania procesów spalania odpadów komunalnych / Economic and techni- cal determinants of municipal solid waste incineration.....	174
Ryszard Jerzy Konieczny: Zapotrzebowanie energetyczne wiatrowego aera- tora pulweryzacyjnego wody w warunkach Jeziora Rudnickiego Wielkie- go / Energy demand of wind-driven pulverising aerator under conditions of Lake Rudnickie Wielkie.....	186
Małgorzata Rutkowska-Podolowska, Jolanta Pakulska: Nakłady inwesty- cyjne na gospodarkę odpadami / Capital expenditure on waste management	196
Małgorzata Rychlik, Bartosz Pieczaba, Karol Statkiewicz: Nawilżanie po- wietrza w komorze pulsofluidalnej / Air humidification in the pulsed fluid bed.....	208

Część 3. Społeczne aspekty gospodarowania zasobami środowiska

Joanna Gajda: Zarządzanie pracownikami pokolenia Y nowym wyzwaniem dla pracodawców / Sustainable management of Generation Y employees as a new challenge for employers.....	217
Katarzyna Gryga: Społeczna odpowiedzialność biznesu jako narzędzie zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstwa górniczego / Corporate social responsibility as a tool of sustainable development in mining company ...	229

Agnieszka Mikucka-Kowalczyk: Działania społecznie odpowiedzialne podejmowane przez KGHM Polska Miedź SA a koncepcja zrównoważonego rozwoju / Socially responsible actions taken by KGHM Polska Miedź SA vs. the concept of sustainable development.....	239
Sylwia Słupik: Rola partycypacji społecznej w kreowaniu lokalnego zrównoważonego rozwoju / The role of public participation in the creation of local sustainable development	252

Wstęp

Rozwój zrównoważony, a zwłaszcza implementacja opartej na nim strategii tworzy wiele wyzwań dla praktyki ochrony środowiska przyrodniczego i gospodarowania jego zasobami (w tym usługami). Pojawiają się one na wielu płaszczyznach, między innymi w postaci ekonomiki ochrony środowiska, którą uznać można za najwcześniejszą w polskiej literaturze, wywodzącą się jeszcze z sozologii, część badań nad nową proekologiczną strategią rozwoju społeczno-ekonomicznego, a także w formie studiów nad rolą postępu technicznego w ekonomii środowiska i zasobów naturalnych. Trzeci praktyczny wymiar problemów ochrony środowiska i korzystania ze środowiska przyrodniczego dotyczy – zyskującego na znaczeniu – aspektu społecznego. Powyższe grupy zagadnień pojawiły się w wielu opracowaniach przygotowanych i przedstawionych na konferencji.

Problemy ekonomiki ochrony środowiska przyrodniczego i gospodarowania jego zasobami przyjęły postać między innymi: (1) związków pomiędzy rolnictwem a środowiskiem przyrodniczym i gospodarowania glebą, (2) gospodarowania odpadami komunalnymi, (3) gospodarowania wodą i ściekami, (4) wyzwań niskiej emisji i termoizolacji budynków, (5) „zielonych” miejsc pracy, a także (6) zagrożonych inwestycji i ubezpieczeń ekologicznych czy (7) analizy wskaźników efektywności ekonomiczno-ekologicznej realizowanych przedsięwzięć.

Postęp techniczny jest kolejną, istotną płaszczyzną, na której pojawiają się i są rozwiązywane problemy praktyczne w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego i użytkowania jego zasobów czy usług. Uczestnicy konferencji podjęli w tym zakresie między innymi takie zagadnienia, jak: (1) techniczne problemy gospodarowania odpadami, (2) techniczne wyzwania energetyki odnawialnej, a także: (3) ekoinnowacyjne zachowania konsumentów czy (4) ekoinnowacje w produkcji żywności.

Wymiar społeczny ochrony środowiska przyrodniczego i gospodarowania jego zasobami (w tym usługami) rozwija się szybko w ostatnich latach wraz ze zmianami w świadomości ekologicznej ludzi. Ta swoista „socjologia ekologiczna” pojawia się coraz częściej w badaniach naukowych i prezentowanych publikacjach. Wśród uczestników konferencji przyjęły one postać między innymi: (1) społecznej odpowiedzialności biznesu, (2) partycypacji obywatelskiej czy (3) ekologicznego zarządzania zespołami ludzkimi.

Zachęcając Czytelników do zapoznania się z przedstawionymi opracowaniami, wyrazić można dwa oczekiwania – interesującej lektury oraz nadziei, że ta niezwykle istotna, z punktu widzenia rozwoju zrównoważonego i trwałego, problematyka będzie się nadal szybko rozwijać, z korzyścią dla środowiska przyrodniczego i ludzkiej cywilizacji.

Agnieszka Becla

Ryszard Jerzy Konieczny

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
e-mail: ryszard.konieczny@ue.wroc.pl

ZAPOTRZEBOWANIE ENERGETYCZNE WIATROWEGO AERATORA PULWERYZACYJNEGO WODY W WARUNKACH JEZIORA RUDNICKIEGO WIELKIEGO

ENERGY DEMAND OF WIND-DRIVEN PULVERISING AERATOR UNDER CONDITIONS OF LAKE RUDNICKIE WIELKIE

DOI: 10.15611/pn.2016.454.15

JEL Classification: Q, Q2, Q20, Q25

Streszczenie: Zasadniczym celem pracy badawczej było wyznaczenie w warunkach Jeziora Rudnickiego Wielkiego zapotrzebowania energetycznego wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody na proces aeracji pulweryzacyjnej wód przydennych. Badania przeprowadzono na podstawie danych dobowych prędkości wiatru za lata 1980–2009 i wyliczeń matematycznych energii silnika wiatrowego Savoniusa. Wykazano, że energetyczne dobowe średnie zapotrzebowanie wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody na Jeziorze Rudnickim Wielkim, w poszczególnych miesiącach, wynosi od 0,114 do 1,144 kWh·d⁻¹. Wykazano również, że aerator pulweryzacyjny może doprowadzać do wód naddennych tlen rozpuszczony w zakresie od 0,112 do 0,493 kg·d⁻¹. Pracę badawczą skierowano do władz miasta Grudziądz. Założono, że zawarte w niej informacje przyczynią się do uruchomienia działań w poprawie stanu wód Jeziora Rudnickiego Wielkiego.

Słowa kluczowe: energia wiatru, aeracja pulweryzacyjna, rekultywacja jezior, tlen rozpuszczony.

Summary: The main aim of the study was to determine energy demand of a wind-driven pulverising aerator under conditions of Lake Rudnickie Wielkie for pulverising aeration process of near-bottom waters. The research was carried out using daily wind velocity data collected in the years 1980–2009 and mathematical calculation of the Savonius rotor energy. The mean daily energy demand was found of the wind-driven pulverising aerator for Lake Rudnickie Wielkie for individual months, amounts from 0.144 to 1.144 kWh·d⁻¹. Furthermore it was showed the pulverising aerator was capable of delivering dissolved oxygen in the range of 0.112 to 0.493 kg·d⁻¹ to the near-bottom waters. The study was aimed at Grudziądz authorities. It is believed any details included in this paper will contribute to start of operation improving the water quality of Lake Rudnickie Wielkie.

Keywords: wind energy, pulverising aeration, restoration of lakes, dissolved oxygen.

Na tym świecie nie znam nic bardziej tajemniczego od wody.

Emil Cioran

1. Wstęp

Jednym z ważniejszych wskaźników ekologii wód stojących jest ich natlenienie [Rzętała 2008]. Zawartość tlenu w wodzie i dynamika jego zmian nawiązują do przebiegu procesów cyrkulacyjnych masy wodnej oraz charakteru procesów biochemicznych i chemicznych. Naturalny rozkład tlenu w profilu głębokościowym, a także sezonowa zmienność nasycenia wody tlenem są jednak modyfikowane obecnością w wodzie zanieczyszczeń. Badania naukowe z ostatnich kilkudziesięciu lat wykazały [Kostecki 2012], że ekosystemy wód stojących są wyjątkowo wrażliwe na zanieczyszczenia oraz podatne na niekorzystne zmiany środowiskowe. Przyczyny i skutki takiego stanu wynikają z działalności człowieka, a w szczególności z rozwoju rolnictwa, turystyki i przemysłu lokalnego, prowadząc na przestrzeni ostatnich 30 lat do znacznego pogorszenia jakości wód otwartych [Osuch i in. 2015]. Dynamiczny rozwój energetyki wiatrowej i opłacalność związanych z nią inwestycji sprawia, że staje się ona interesującym sposobem rozwiązywania problemów energetycznych [Ostrowska-Bućko 2014] również w odniesieniu do poprawy stanu tlenowego wód naddennych [Konieczny, Pieczyński 2007]. Pomysłem konstrukcyjnym przynoszącym obiecujące wyniki w tym zakresie jest aerator pulweryzacyjny wody Podsiadłowskiego [Chańko i in. 2001] napędzany silnikiem wiatrowym Savoniusa o pionowej osi obrotu. Znalazł on zastosowanie na wielu jeziorach Polski, a po raz pierwszy w 1996 roku na Jeziorze Jaroszewskim w Sierakowie [Konieczny 2013]. Wiatrowy aerator Podsiadłowskiego jest wykorzystywany do rekultywacji jezior głębokich i płytkich [Aerator]. Stanowi on w standardowym rozwiązaniu dwusegmentowy, otwarty od góry i częściowo zanurzony w wodzie, element pulweryzacyjny wyposażony w koło łopatkowe oraz w węże przemysłowe do poboru i tłoczenia wody zdeponowanej w strefie naddennej. Efektem działania aeratora w strefie głęboczek kumulacyjnego jest wytworzenie w nim tzw. obszaru życia, w którym dochodzi do intensywnego rozwoju fito- i zooplanktonu oraz żerujących na nich ryb. Ich odłów zapewnia zmniejszenie żywności jeziora (tzw. trofii) i systematyczną poprawę jakości wody. Przy zastosowaniu aeracji pulweryzacyjnej do napowietrzania wód naddennych zbiorników płytkich, na styku osadów dennych i wody zostaje zniwelowana warstwa oksykliny. Jej występowanie powoduje w strefie dennej intensywne zużycie tlenu podczas reakcji chemicznych, co w konsekwencji uniemożliwia uruchomienie naturalnego procesu samorekultywacji wody.

Zasadniczym celem niniejszego opracowania jest wyznaczenie w warunkach Jeziora Rudnickiego Wielkiego zapotrzebowania energetycznego wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody na proces aeracji pulweryzacyjnej wód przydennych. Jezioro Rudnickie Wielkie na terenie miasta Grudziądz stanowi obiekt do rekreacji i aktywnego wypoczynku. Zakłada się, że zawarte w artykule informacje o wiatro-

wym aeratorze pulweryzacyjnym wody oraz o stanie i zapotrzebowaniu tlenowym Jeziora Rudnickiego Wielkiego [IOŚ 2015] zainteresują władze miasta Grudziądz i użytkowników jeziora. W konsekwencji uruchomione zostaną działania administracyjne i rekultywacyjne w aeracji wód naddennych jeziora z zastosowaniem wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody.

2. Charakterystyka Jeziora Rudnickiego Wielkiego

Jezioro Rudnickie Wielkie (rys. 1) administracyjnie zlokalizowane jest na terenie Grudziądza. Jest to zbiornik przepływowy o powierzchni 160,9 ha, objętości 7026,6 tys. m³ i maksymalnej głębokości 11,9 m [IOŚ 2015]. Misa zbiornika ma zróżnicowane dno z licznymi zagłębieniami, a w jej północno-zachodniej części usytuowana jest wyspa o powierzchni 0,7 ha. Zlewnia zbiornika ma powierzchnię całkowitą 129,2 km², na której dominują użytki rolne. Przy czym w strefie bezpośrednio przylegającej do linii brzegowej znajdują się lasy i łąki wczasowe.



Rys. 1. Jezioro Rudnickie Wielkie

Źródło: <http://mapy.geoportal.gov.pl>.

W ramach monitoringu diagnostycznego i badań biologicznych, dokonanych w szczycie stagnacji letniej przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Jezioro Rudnickie Wielkie odpowiada słabemu stanowi. W jego wodach na głębokości 4 m zauważalny jest deficyt tlenu rozpuszczonego i jego brak w strefie przydennej

[IOŚ 2015]. Prowadzone w misie zbiornika od 1982 roku zabiegi rekultywacyjne w metodzie Olszewskiego oraz działania w inaktywacji fosforanów w osadach dennych, z zastosowaniem różnych koagulantów, nie spowodowały poprawy warunków tlenowych wód naddennych [IOŚ 2006]. Z uwagi na nieobecność hipolimnionu i częściową stratyfikację termiczną Jezioro Rudnickie Wielkie, wg polskiej typologii jezior [Kolada i in. 2005], jest zaklasyfikowane do typu 3b. Wody jeziora w tym typie wyróżnia duża zawartość wapnia $\text{Ca} > 25 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i współczynnik Schindlera $\text{WS} > 2$.

3. Metodyka badań

Zapotrzebowanie energetyczne wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody na proces aeracji wód przydennych sporządzono dla Jeziora Rudnickiego Wielkiego. Do obliczeń jako wejściowe dane przyjęto stałą gęstość $\rho = 1,26 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ masy poziomego strumienia powietrza [Nalepa i in. 2011], współczynnik $C = 0,2$ wykorzystania energii wiatru przez silnik wiatrowy Savoniusa, jego szerokość $a = 2 \text{ m}$, wysokość $h = 5 \text{ m}$ i odległość $l = 2 \text{ m}$ od powierzchni lustra jeziora [Konieczny 2013] oraz dobowe prędkości wiatru dla Torunia za lata 1980–2009 [OGIMET]. Dla poziomej strugi powietrza o prędkości $v \geq 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ i kierunku prostopadłym do $A = 1 \text{ m}^2$ powierzchni płaskiej, usytuowanej w terenie bez przeszkód na wysokości 10 m, wyznaczono energie dobowe wg wzoru:

$$E_{10} = \frac{\rho \cdot A \cdot C \cdot v^3 \cdot t}{2} \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

w którym: E_{10} – energia dobowa w poprzecznym przekroju poziomej strugi powietrza na wysokości 10 m w terenie otwartym, kWh; ρ – gęstość masy strumienia powietrza w strefie klimatu umiarkowanego Polski, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; A – powierzchnia płaska o lokalizacji prostopadłej do kierunku wiatru, m^2 ; C – współczynnik wykorzystania energii wiatru przez silnik wiatrowy Savoniusa; v – prędkość wiatru, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; t – czas trwania wiatru, h ; 10^{-3} – przelicznik jednostki,

Energie dobowe zredukowano co 1 m w profilu wysokości silnika wiatrowego pulweryzacyjnego aeratora wody na podstawie zależności [Marecki 1995]:

$$E_h = E_{10} \cdot \left(\frac{h}{10} \right)^{3\alpha}, \quad (2)$$

w której: E_h – energia dobowa na rozpatrywanej wysokości h silnika wiatrowego Savoniusa, kWh; E_{10} – energia dobowa wg wzoru (1), kWh; 10 – wysokość energii dobowej E_{10} , m; h – wysokość energii dobowej w profilu pionowym silnika wiatrowego Savoniusa, m; 3α – parametr funkcji potęgowej,

Parametr funkcji potęgowej α – równy 0,17 dla danych dobowych prędkości wiatru od 2,5 do 10 m·s⁻¹ – przyjęto według zaleceń Terpińskiej [2005].

W odniesieniu do płaszczyzny wytyczanej w osi obrotu przez silnik wiatrowy Savoniusa i energii dobowych (2) uzyskanych w profilu pionowym obliczono zapotrzebowanie energetyczne aeratora wody na proces aeracji pulweryzacyjnej wód przydennych jeziora. Obliczeń dokonano ze wzoru:

$$E_A = k \cdot \sum_{i=1}^n E_{hi}, \quad (3)$$

w którym: E_A – dobowe zapotrzebowanie energii aeratora pulweryzacyjnego wody, kWh; k – współczynnik korekcyjny energii odniesiony do powierzchni płaskiej wytyczanej przez silnik wiatrowy Savoniusa w osi obrotu, $k = 2$; E_{hi} – energia dobowa w i -tym profilu wysokości h silnika wiatrowego Savoniusa, kWh.

Mając na uwadze dla poszczególnych miesięcy w przedziałach histogramu zwykłego dużą liczbę obserwacji (3) oraz ich asymetryczny rozkład, wartości szeregu rozdzielczego wyrażono w postaci średniej ważonej. Do obliczeń zastosowano wzór statystyczny:

$$x_{sr} = \frac{z_1 \cdot n_1 + z_2 \cdot n_2 + \dots + z_n \cdot n_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n}, \quad (4)$$

w którym: x_{sr} – średnia ważona; z_1, z_2, z_n – maksymalne wartości szeregu rozdzielczego; n_1, n_2, n_n – liczby obserwacji (liczebność) w szeregu rozdzielczym.

Wyniki badań (4) zapotrzebowania energetycznego aeratora pulweryzacyjnego wody odniesiono hipotetycznie względem ilości masy tlenu wprowadzanego do wody przez układ elementów aeratora pulweryzacyjnego wody w rozpatrywanych warunkach wiatrowych dla Jeziora Rudnickiego Wielkiego. Obliczeń dokonano na bazie zależności statystycznych zawartych w pracach Koniecznego [2004, 2013] oraz wzoru:

$$m = \int Q \cdot \rho_o \cdot 10^{-3} dt, \quad (5)$$

w którym: m – masa tlenu wprowadzonego od wody przez wiatrowy aerator pulweryzacyjny, kg; Q – objętościowe natężenie przepływu wody przez układ elementów aerator pulweryzacyjnego, m³·s⁻¹; ρ_o – stężenie masowe tlenu rozpuszczonego w wodzie komory pulweryzacyjnej aeratora, g·m⁻³; t – czas trwania wiatru, s; 10⁻³ – przelicznik masowy.

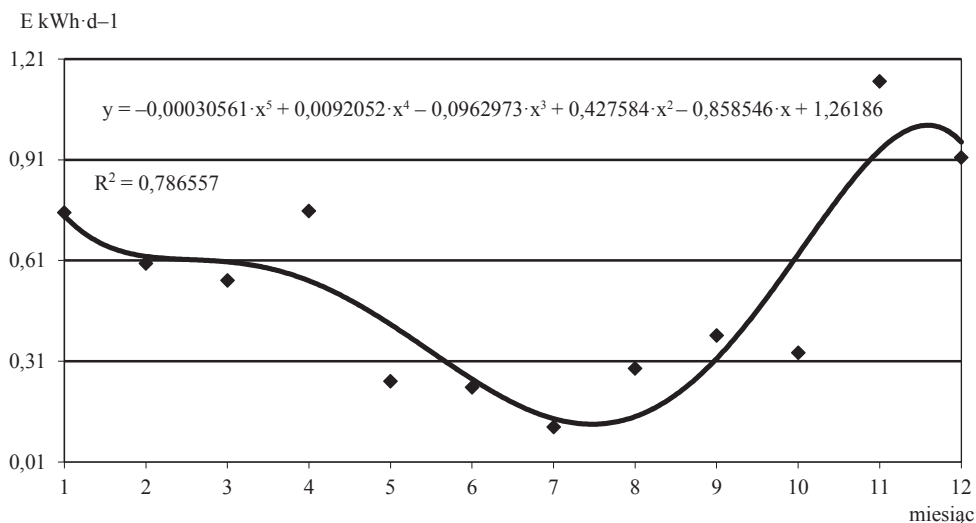
Dane (5) dobowe masy tlenu opracowano statystycznie (4). Do przeprowadzenia analizy zmiennych parametrów zapotrzebowania energii wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody na proces aeracji wód naddennych Jeziora Rudnickiego Wiel-

kiego wyniki badań (4) aproksymowano statystycznie w funkcji miesiąca za pomocą programów komputerowych Grapher wersja 1.05 oraz Microsoft Excel. Z uwagi na praktyczny aspekt pracy badawczej analizę danych wejściowych i obliczeniowych, opisy równań regresji oraz wykresów zawężono do wartości R^2 , stopnia wielomianu, poprawności odwzorowania i zmienności obserwowanych wyników.

4. Wyniki badań

Zapotrzebowanie energetyczne wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody na proces aeracji wód naddennych Jeziora Rudnickiego Wielkiego opisano równaniem wielomianowym 5. stopnia w odniesieniu od miesiąca (rys. 2).

Poprawność parametrów równania regresji oceniono na podstawie odchylenia standardowego składnika losowego, współczynnika wyrazistości i determinacji. Niskie wartości współczynników odchylenia standardowego składnika losowego ($Se = 0,0002$) i wyrazistości ($V_{se} = 0,0395$) oraz stosunkowo wysoki współczynnik determinacji ($R^2 = 0,7866$) dowodzą o prawidłowości wyznaczonej w toku badań zależności. Jednak ze względu na aspekt praktyczny pracy badawczej wartość współczynnika determinacji skłania w prognozowaniu zmian dobowego zapotrzebowania energii pulweryzacyjnego aeratora wody na proces aeracji Jeziora Rudnickiego Wielkiego do zachowania ostrożności w interpretacji danych uzyskiwanych z równania regresji.



Rys. 2. Zapotrzebowanie energetyczne E (kWh·d⁻¹), wg miesięcy, wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody na proces aeracji wód przydennych Jeziora Rudnickiego Wielkiego

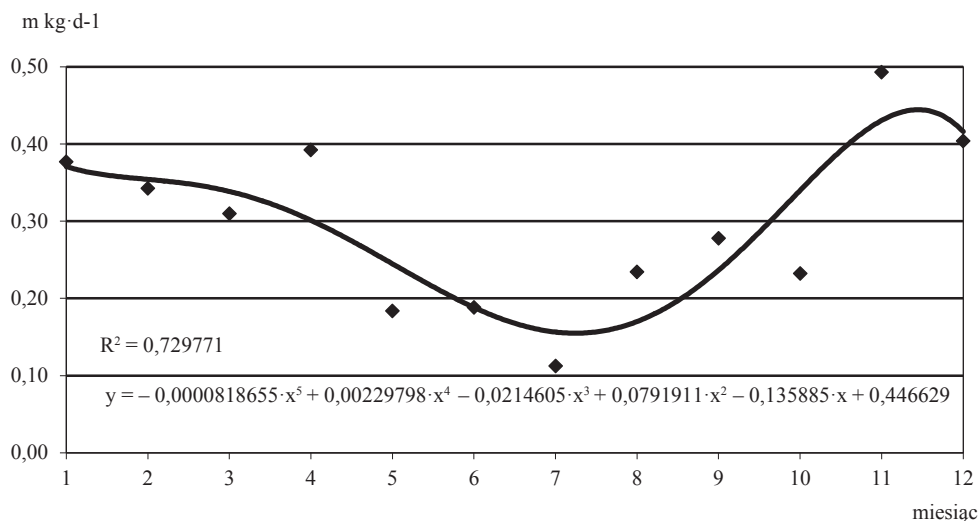
Źródło: badania własne.

Dobowe zapotrzebowanie energii dla wiatrowego pulweryzacyjnego aeratora wody w warunkach Jeziora Rudnickiego Wielkiego jest bardzo zróżnicowane. Jego średnie ważone wartości za lata 1980–2009, obliczone dla poszczególnych miesięcy, wynoszą od 0,114 do 1,144 kWh·d⁻¹. Wartości średnie ważone są największe od września do kwietnia (od 0,335 do 1,144 kWh·d⁻¹), a najmniejsze (od 0,114 do 0,289 kWh·d⁻¹) – w maju, czerwcu i sierpniu. Jednocześnie wartości odchylenia standardowego omawianych zbiorowości wynoszą od 0,532 do 1,754 kWh·d⁻¹. Jej największe wartości notowano od października do kwietnia (od 1,052 do 1,754 kWh·d⁻¹), a najmniejsze (od 0,532 do 0,888 kWh·d⁻¹) – od maja do września. Przy czym minimalne i maksymalne wartości zapotrzebowania energii przez silnik wiatrowy aeratora wody na proces aeracji pulweryzacyjnej wód przydennych Jeziora Rudnickiego Wielkiego wynoszą odpowiednio: 0,341 i 20,058 kWh·d⁻¹. Minimalne zapotrzebowania energii aeratora pulweryzacyjnego wody na proces aeracji wynika z minimalnej prędkości wiatru (2,5 m·s⁻¹), przy której następuje działanie silnika wiatrowego aeratora. Maksymalne zapotrzebowania energii aeratora pulweryzacyjnego wody zostało określone eksperymentalnie na podstawie badań Koniecznego [2004, 2013] i stanowi ono dla rozpatrywanej lokalizacji silnika wiatrowego 15,379 kWh. Powyżej tej wartości transformacja energii kinetycznej masy strumienia powietrza na ruch obrotowy silnika wiatrowego aeratora nie wpływa na stopień pulweryzacyjnego napowietrzania wód przydennych jeziora.

Planując działania poprawiające warunki tlenowe wód przydennych Jeziora Rudnickiego Wielkiego, zapotrzebowanie energetyczne pulweryzacyjnego aeratora wody (rys. 2) odniesiono hipotetycznie do ilości masy tlenu wprowadzanego do wody przez aerator pulweryzacyjny wody. Zmiany dobowe masy tlenu możliwej do wprowadzenia nad dno Jeziora Rudnickiego Wielkiego przez wiatrowy aerator pulweryzacyjny opisano równaniem wielomianowym 5. stopnia (rys. 3).

Parametry równania regresji (rys. 3) oceniono w odniesieniu do odchylenia standardowego składnika losowego, współczynnika wyrazistości i determinacji. Względnie duży współczynnik determinacji ($R^2 = 0,7298$) oraz mała wartość współczynnika zmienności losowej ($V_{sc} = 0,0734$) i odchylenia standardowego składnika losowego ($Se = 0,0002$) dowodzą o poprawności wyznaczonego równania i wykonania wykresu. W prognozowaniu zmian dobowych stanu nasycenia tlenem wód naddennych, jakie powoduje wiatrowy aerator pulweryzacyjny wody, ze względu na zastosowany w równaniu regresji współczynnik determinacji oraz brak szczegółowych informacji o składzie chemicznym osadów dennych i wody zalecana jest ostrożność w interpretacji uzyskiwanych wyników.

Średnie dobowe ważone wartości masy tlenu, podobnie jak w przypadku energetycznego zapotrzebowania aeratora, są zróżnicowane. Ogólnie biorąc, dla miesięcy za lata 1980–2009 wartości te stanowią od 0,112 do 0,493 kg·d⁻¹. Przy czym odchylenie standardowe omawianej zbiorowości wynosi od 0,428 do 0,752 kg·d⁻¹. Największe średnie dobowe ważone masy tlenu notowane są od listopada do kwietnia (od 0,310 do 0,493 kg·d⁻¹), a najmniejsze (od 0,112 do 0,188 kg·d⁻¹) – w maju,



Rys. 3. Zmiany masy tlenu m ($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$), wg miesięcy, wprowadzanego do wód naddennych Jeziora Rudnickiego Wielkiego przez wiatrowy aerator pulweryzacyjny wody

Źródło: badania własne.

czerwcu i lipcu. Niższa zawartość tlenu rozpuszczonego w terminach letnich wynika z mniejszych w tym okresie prędkości wiatru [OGIMET]. Bez względu na to, z uwagi na niezadowalające warunki tlenowe Jeziora Rudnickiego Wielkiego [IOŚ 2015] zabiegi w aeracji pulweryzacyjnej wód naddennych są szczególnie uzasadnione do odbudowy życia na dnie zbiornika i uruchomienia w nim naturalnego procesu samorekultywacji.

5. Podsumowanie i wnioski

Jezioro Rudnickie Wielkie na terenie Grudziądza funkcjonuje w warunkach zróżnicowanej antropopresji [IOŚ 2006, 2011, 2015] prowadzącej do deficytu tlenu i jego braku w wodach przydennych. Aby zapobiegać temu zjawisku, niezbędne są działania zmierzające do racjonalnego korzystania z zasobów wody i poprawy ich jakości na terenie zlewni i w misie zbiornika. Podstawowym sposobem ochrony jezior jest ograniczenie bądź likwidacja źródeł ich zasilania w biogeny [Osuch, Podsiadłowski 2012; Osuch i in. 2015]. W wielu przypadkach zawansowanie poziomu degradacji ekosystemu jeziornego jest tak wysokie, że samo ograniczenie zasilania wód w związki biogenne jest niewystarczające do poprawy ich jakości. Konieczne jest wówczas przeprowadzenie w misie zbiornika odpowiednich zabiegów rekultywacyjnych. Ponieważ prowadzone w misie Jeziora Rudnickiego Wielkiego zabiegi rekultywacyjne w metodzie Olszewskiego i w metodzie inaktywacji fosforanów nie

przyniosły oczekiwanych rezultatów [IOŚ 2006, 2015], niezbędne są zatem poszukiwania innych technicznych rozwiązań umożliwiających poprawę jakości wód tego typu jeziora. Mając na uwadze korzyści, jakie wynikają z metody aeracji pulweryzacyjnej w rekultywacji wód przydennych jezior o dowolnej głębokości [Aerator], dla Jeziora Rudnickiego Wielkiego wyznaczono i dokonano wstępnej analizy zapotrzebowania energetycznego wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody na proces aeracji wód naddennych. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń sformułowano wnioski:

- Wiedza o zapotrzebowaniu energetycznym aeratora pulweryzacyjnego wody jest niezbędna do oceny możliwości rekultywacyjnych aeratora w procesie poprawy warunków tlenowych wód naddennych. W warunkach wiatrowych Jeziora Rudnickiego Wielkiego energetyczne dobowe zapotrzebowanie aeratora na proces aeracji pulweryzacyjnej wód naddennych wynosi od 0,114 do 1,144 kWh·d⁻¹. Jego największe wartości średnie występują od września do kwietnia (od 0,335 do 1,144 kWh·d⁻¹), a najmniejsze (od 0,114 do 0,289 kWh·d⁻¹) – w maju, czerwcu i sierpniu.
- Pulweryzacyjny aerator wody z napędem wiatrowym może dostarczać tlen do wód naddennych Jeziora Rudnickiego Wielkiego. Przyrost dobowy masy tlenu rozpuszczonego w wodzie przez aerator wody wynosi od 0,112 do 0,493 kg·d⁻¹. Największe jego średnie wartości mają miejsce od listopada do kwietnia (od 0,310 do 0,493 kg·d⁻¹), najmniejsze zaś (od 0,112 do 0,188 kg·d⁻¹) – w maju, czerwcu i lipcu.
- Opracowane na podstawie danych wejściowych wykresy i równania regresji umożliwiają planowanie działań w rekultywacyjnym napowietrzaniu wody. Wymagają one jednak korekty uwzględniającej zmiany składu chemicznego wody w strefie lokalizacji aeratora.

Literatura

- Aerator, *Technologia rekultywacji jezior głębokich, Technologia rekultywacji jezior płytkich, Technologia mobilnej aeracji pulweryzacyjnej z precyzyjną inaktywacją fosforu*, www.aerator.pl (16.06.2016).
- Chańko A., Krysztofiak A., Podsiadłowski S., Prawniczak S., Stachowiak A., Trafis M., 2001, *Urządzenie do oczyszczania i napowietrzania akwenów wodnych*, Opis patentowy, PL 182023 B1.
- IOŚ, 2006, *Raport o stanie środowiska województwa kujawsko-pomorskiego w 2005 roku*, <http://www.wios.bydgoszcz.pl/publikacje/raporty> (16.06.2016).
- IOŚ, 2011, *Raport o stanie środowiska województwa kujawsko-pomorskiego w 2010 roku*, <http://www.wios.bydgoszcz.pl/publikacje/raporty> (16.06.2016).
- IOŚ, 2015, *Raport o stanie środowiska województwa kujawsko-pomorskiego w 2014 roku*, <http://www.wios.bydgoszcz.pl/publikacje/raporty> (16.06.2016).
- Kołada A., Soszka H., Cydzik D., Gołub M., 2005, *Typologia abiotyczna jezior Polski zgodna z wymogami Ramowej Dyrektywy Wodnej*, [w:] *Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne*, red. A.T. Jankowski, M. Rzętała, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, s. 87–95.

- Konieczny R., 2004, *Aeracja pulweryzacyjna w warunkach Jeziora Barlineckiego*, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, IMUZ Falenty, t. 4, z. 2b(12), s. 291–301.
- Konieczny R., 2013, *Wpływ wybranych parametrów technicznych i technologicznych na wydajność aeratora pulweryzacyjnego*, Monografie, nr 15, Inżynieria w rolnictwie, ITP Falenty.
- Konieczny R., Pieczyński L., 2007, *Determining the energy of a wind rotor in a pulverizing aerator system*, TeKa Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture PAN/o Lublin, t. 7A, s. 46–51.
- Kostecki M., 2012, *Rekultywacja zbiornika antropogenicznego metodą usuwania hipolimnionu (południowo-zachodnia Polska)*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, t. 15, nr 2, s. 101–117.
- Marecki J., 1995, *Podstawy przemian energetycznych*, WNT, Warszawa.
- Nalepa K., Miąskowski W., Pietkiewicz P., Piechocki J., Bogacz P., 2011, *Poradnik małej energetyki wiatrowej*, http://www.wmae.pl/userfiles/file/Aktualnosci/poradnik_a5.pdf (16.06.2016).
- OGIMET, *Global Summary of the Day (GSOD) Selection*, www.ogimet.com/gsocd.phtml.en (16.03.2013).
- Ostrowska-Bućko A., 2014, *Zagospodarowanie energii wiatru przy użyciu małych turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu*, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, nr 5, s. 65–72.
- Osuch E., Podsiadłowski S., 2012, *Efficiency of pulverizing aeration on Lake Panieńskie*, Limnological Review, vol. 12, no. 3, s. 139–146.
- Osuch E., Osuch A., Podsiadłowski S., Przybył J., Walkowiak R., 2015, *Zmienność emisji gazów podczas aeracji pulweryzacyjnej*, [w:] *Aktualne problemy inżynierii biosystemów*, red. M. Lipiński, J. Przybyła, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Poznań, s. 44–52.
- Rzętała M., 2008, *Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropopresji, na przykładzie regionu górnośląskiego*, Uniwersytet Śląski, Katowice.
- Terpińska J., 2005, *Pionowy profil prędkości wiatru przyziemnego*, Folia Geographica, Ser. Geographica-Physica, nr 35–36, s. 153–166.