

Ryszard Jerzy Konieczny

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

e-mail: ryszard.konieczny@ue.wroc.pl

WYZNACZENIE EFEKTU EKOLOGICZNEGO WIATROWEGO AERATORA PULWERYZACYJNEGO WODY W WARUNKACH JEZIORA RUDNICKIEGO WIELKIEGO

DETERMINATION OF ECOLOGICAL EFFECT OF WATER WIND-DRIVEN PULVERIZING AERATOR UNDER CONDITIONS OF RUDNICKIE WIELKIE LAKE

DOI: 10.15611/pn.2017.470.05

JEL Classification: Q, Q2, Q20, Q25

Streszczenie: Celem artykułu jest zaprezentowanie sposobu wyznaczenia efektu ekologicznego dla planowanej inwestycji wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody koncepcji Podsiadłowskiego na Jeziorze Rudnickim Wielkim w Grudziądzu, wyrażonego w $\text{zł}\cdot\text{kWh}^{-1}$ energii elektrycznej i rozumianego jako korzyści dla środowiska z tytułu zastąpienia energii pochodzącej ze źródeł konwencjonalnych energią silnika wiatrowego Savoniusa o pionowej osi obrotu. Obliczenia przeprowadzono na bazie danych dobowych energii silnika wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody opracowanych w ramach pracy Koniecznego [2016b] oraz wskaźników emisyjnych Barczyńskiego [2001] o wielkości masy chemicznego zanieczyszczenia środowiska z elektrowni w procesie spalania węgla kamiennego, brunatnego, oleju opałowego i gazu ziemnego o różnych wartościach opałowych i zawartościach siarki. Wykazano przy tym, że średnia ważona efektu ekologicznego wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody w poszczególnych miesiącach względem emisji dwutlenku węgla stanowi w warunkach Jeziora Rudnickiego Wielkiego od 0,6 do $5,9 \text{ zł}\cdot\text{kWh}^{-1}$.

Słowa kluczowe: efekt ekologiczny, emisja zanieczyszczeń, energia, silnik Savoniusa, aercja pulweryzacyjna.

Summary: The aim of this article is to present the method of determination of ecological effect for the planned investment on the water wind-driven pulverizing aerator, consistent with the concept of Podaidłowski, on Rudnickie Wielkie lake in Grudziądz. Ecological effect is expressed in the cost of electricity ($\text{zł}\cdot\text{kWh}^{-1}$) from the conventional source and environmental benefits using Savonius wind turbine with a vertical axis of rotation intend conventional energy sources. The calculations were performed using the energy daily date of water wind-driven pulverizing aerator obtained by Konieczny [2016b] and indexes emissions

sized mass of chemical pollution from power plants in the process of burning coal, lignite, fuel oil and natural gas having different calorific values and sulfur contents [Barczyński 2001]. The article shows the weighted average of the ecological effect of the water wind-driven pulverizing aerator in each month in terms of carbon dioxide emissions for Rudniceki Wielkie lake is $0.6-5.9 \text{ z}\cdot\text{kWh}^{-1}$.

Keywords: ecological effect, emission of pollutants, energy, Savonius engine, pulverizing aerator.

1. Wstęp

Podstawowymi nośnikami energii zużywanej przez człowieka na skalę przemysłową są paliwa kopalne. W światowej gospodarce energetycznej zapotrzebowanie na energię w 85% pokrywa udział węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego [Kastrau 2015]. W Polsce niespełna 97% wytwarzanej energii elektrycznej i ciepła bazuje niemal wyłącznie na stałych paliwach kopalnych (węglu kamiennym i brunatnym). Spalanie paliw w elektrowniach w mniejszym lub większym stopniu prowadzi do zanieczyszczenia pierwotnego atmosfery tlenkami siarki, azotu, węgla, pyłem i węglowodorami, a w wyniku odpowiednich reakcji chemicznych dwóch lub więcej zanieczyszczeń pierwotnych do zanieczyszczenia wtórnego środowiska [Lorenz 2005; Ciechanowicz 1997]. Polityka klimatyczna Unii Europejskiej do 2030 roku nakłada na kraje członkowskie 40-procentową redukcję emisji zanieczyszczeń. Taki stan rzeczy nie tylko wymaga w Polsce modernizacji przestarzałej infrastruktury energetycznej i lokalnej rozbudowy struktury wytwarzania niewielkich źródeł mocy, zwanych rozproszonymi źródłami energii, ale również skłania do poszukiwania i technologicznej rozbudowy rozwiązań bazujących na alternatywnych źródłach energii zapewniających w środowisku redukcję zanieczyszczeń, w tym emisji dwutlenku węgla do atmosfery [Kwiatkowska 2015; Wróblewska 2015]. Jednym z wielu przykładów rozwiązań technicznych stosowanych pośrednio w zakresie ochrony atmosfery i bezpośrednio w poprawie stanu tlenowego wód jeziornych są aeratory wody z napędem wiatrowym. Pierwszym w Polsce tego typu rozwiązaniem w latach 1986-1987 był napędzany silnikiem wiatrowym układ elementów roboczych do napędu kompresora na jeziorze Starodworskim w Olsztynie [Lossow, Gawrońska 1992]. Obecnie z pozytywnym skutkiem na wielu jeziorach naszego kraju stosowany jest wiatrowy aerator pulweryzacyjny wody koncepcji Podsiadłowskiego, powodujący emisję gazów (H_2S , NH_3 , CH_4) do środowiska w procesie pulweryzacyjnego napowietrzania tlenem atmosferycznym wód naddennych z deficytem tlenu rozpuszczonego. O ile wiedza dotycząca występowania i emisji gazów do środowiska z rozpylanej pulweryzacyjne wody naddennej jezior przez koło łopatkowe aeratora pulweryzacyjnego jest znana [Osuch i in. 2015] oraz znane są sposoby wyznaczania parametrów eksploatacyjnych tego typu aeratorów wody [Konieczny 2013; 2016b], o tyle znajomość efektu ekologicznego z tytułu zastąpienia energii wytworzonej ze

spalania paliw kopalnych w elektrowniach energią silnika wiatrowego Savoniusa o pionowej osi obrotu, wykorzystywanego do napędu koła łopatkowego aeratora pulweryzacyjnego wody, jest niewiadomą.

Ze względu na efekt cieplarniany w ostatnich latach szczególna uwaga rządów, środowisk przemysłowych i naukowych jest skierowana na emisję dwutlenku węgla i możliwości jej ograniczania [Wróblewska 2015; Lorenz 2005]. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom i mając na względzie planowane w Grudziądzu przez Spółkę Wodną Jeziora Rudnickiego Wielkiego Rzeki Maruszanki oraz Jeziora Rządz zabiegi rekultywacyjne w zlewni i w misie Jeziora Rudnickiego Wielkiego, za cel pracy przyjęto według miesięcy i różnych paliw elektrowni wyznaczenie efektu ekologicznego wyrażonego w $\text{zł}\cdot\text{kWh}^{-1}$ w odniesieniu do emisji dwutlenku węgla z tytułu zastąpienia energii wytworzonej konwencjonalnie energią silnika wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody. Założono przy tym, że niniejsze opracowanie posłuży do popularyzacji technologii aeracji pulweryzacyjnej i przyspieszy działania na rzecz uruchomienia prac rekultywacyjnych i badawczych w Jeziorze Rudnickim Wielkim i w jego zlewni.

2. Metodyka badań

Obliczenia przeprowadzono na bazie danych dobowych zapotrzebowania energii silnika wiatrowego Savoniusa aeratora pulweryzacyjnego wody koncepcji Podsiadłowski [Aerator; Podsiadłowski 2001a; 2001b] opracowanych za lata 1980-2009 w ramach pracy badawczej Koniecznego [2016b] oraz wskaźników emisyjnych Barczyńskiego [2001] o wielkości masy chemicznego zanieczyszczenia środowiska z elektrowni w procesie spalania węgla kamiennego, brunatnego, oleju opałowego i gazu ziemnego o różnych wartościach opałowych i zawartościach siarki (tab. 1).

Tabela 1. Wskaźniki emisyjne (We) do szacowania wielkości masy chemicznego zanieczyszczenia środowiska z elektrowni w procesie spalania węgla kamiennego, brunatnego, oleju opałowego i gazu ziemnego o różnych wartościach opałowych i zawartościach siarki.

R	Wartość opałowa* [MJ·kg ⁻¹]	Ilość siarki S [%]	Wskaźniki emisyjne* We [g·kWh ⁻¹]						
			SO ₂	CO ₂	NO _x	N ₂ O	pył	popiół	Σ
K	29,20	0,9	288·10 ⁻³	781	516·10 ⁻³	42·10 ⁻³	57·10 ⁻³	20,1	802,00
B	8,45	0,3	411·10 ⁻³	1015	739·10 ⁻³	45·10 ⁻³	82·10 ⁻³	63,6	1079,88
O	42,7	0,2	1088·10 ⁻³	858	814·10 ⁻³	60·10 ⁻³	18·10 ⁻³	20,0	879,98
G	43,6	–	–	348	208·10 ⁻³	1·10 ⁻³	–	–	348,21

Oznaczenia: R – rodzaj paliwa, K – węgiel kamienny, B – węgiel brunatny, O – olej opałowy, G – gaz ziemny, * – dla gazu ziemnego w jednostkach masę wyrażono w m³.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Barczyński 2001].

W obliczeniach kosztów efektu ekologicznego z tytułu zastąpienia energii wytworzonej ze źródeł konwencjonalnych energią silnika wiatrowego Savoniusa o pionowej osi obrotu zastosowano średnią cenę ze sprzedaży energii elektrycznej (0,17114 zł·kWh⁻¹) w II kwartale 2016 roku, uzyskaną z zależności [URE 2016]:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n Po_i + \sum_{j=1}^m Pg_j}{\sum_{i=1}^n Eo_i + \sum_{j=1}^m Eg_j} \cdot 1000 \quad (1)$$

w którym: C – średnia cena sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym w II kwartale 2016 roku, zł·MWh⁻¹; Po – przychody ze sprzedaży energii elektrycznej: wytwórców¹ do spółek obrotu poza grupę kapitałową oraz przedsiębiorstw obrotu² do spółek obrotu poza grupę kapitałową w kontraktach bezpośrednich zrealizowane w II kwartale 2016 roku, tys. zł; Eo – wolumen sprzedanej energii elektrycznej: wytwórców do spółek obrotu poza grupę kapitałową oraz przedsiębiorstw obrotu do spółek obrotu poza grupę kapitałową w kontraktach bezpośrednich w II kwartale 2016 roku, MWh; n – liczba spółek objętych badaniem, składających sprawozdanie G-10.1 k i G-10.4(Ob)k w II kwartale 2016 roku; Pg – przychody ze sprzedaży energii elektrycznej (dostarczonej w II kwartale 2016 roku); zrealizowane przez uczestników Towarowej Giełdy Energii S.A., tys. zł; Eg – wolumen sprzedanej energii elektrycznej (dostarczonej w II kwartale 2016 roku) zrealizowanej przez uczestników Towarowej Giełdy Energii S.A., MWh; m – liczba spółek dokonujących sprzedaży na Towarowej Giełdzie Energii S.A. w II kwartale 2016 roku.

Średnią cenę sprzedaży energii elektrycznej (1) przyporządkowano sumarycznym wartościom wskaźników emisji zanieczyszczeń środowiska z rozpatrywanych paliw elektrowni (tab. 1). Z proporcji wyznaczono dla poszczególnych jednostkowych wskaźników emisyjnych ich cenę. Dla dobowego zapotrzebowania energii silnika wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody efekt ekologiczny obliczono na podstawie wzoru:

$$e = E_d \cdot W_c \quad (2)$$

gdzie: e – efekt ekologiczny, zł·doba⁻¹; E_d – zapotrzebowanie energii silnika wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody na proces aeracji wód nadosadowych, kWh·doba⁻¹; W_c – cena jednostkowa wskaźnika emisji zanieczyszczeń, zł·kWh⁻¹.

¹ Zbadano elektrownie ciepłe i elektrociepłownie, czyli wydzielone technicznie i terytorialnie obiekty będące samodzielnymi przedsiębiorstwami lub wchodzące w skład zespołów elektrowni bądź elektrociepłowni, zaklasyfikowane według PKD 2007 do grupy 35.1 oraz do grupy 35.3, składające sprawozdanie G-10.1 k Sprawozdanie o działalności elektrowni cieplnej zawodowej za II kwartał 2016 roku.

² Zbadano przedsiębiorstwa zajmujące się obrotem energią elektryczną i składające sprawozdanie G-10.4(Ob)k Sprawozdanie przedsiębiorstwa energetycznego prowadzącego obrót energią elektryczną za II kwartał 2016 roku.

Mając na uwadze rozkład asymetryczny zbiorowości danych dobowych efektu ekologicznego (2), dla poszczególnych miesięcy i paliw stosowanych w elektrowniach wyznaczono średnią ważoną:

$$x_{sr} = \frac{e_1 \cdot n_1 + e_2 \cdot n_2 + \dots + e_n \cdot n_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n} \quad (3)$$

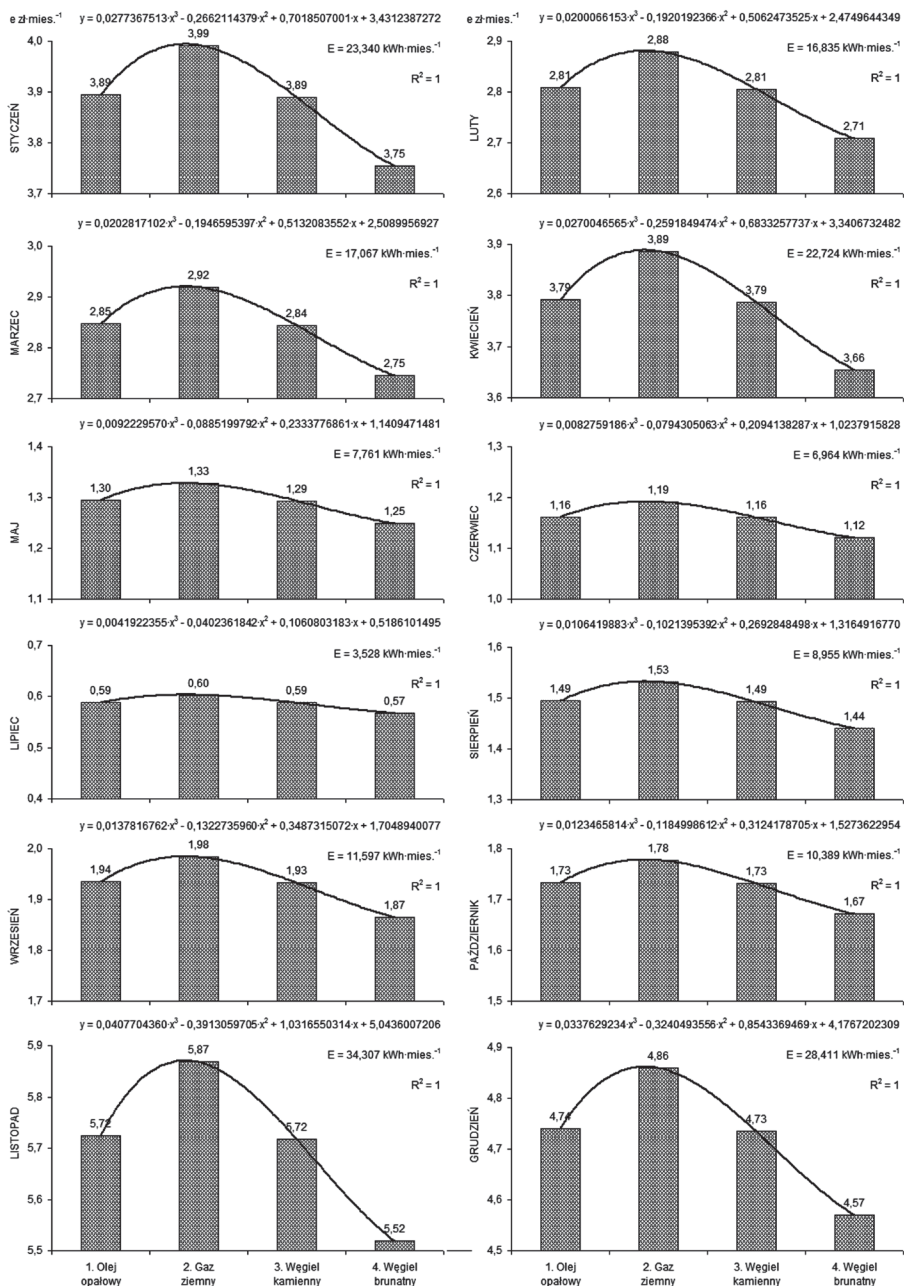
gdzie: x_{sr} – średnia ważona; e_1, e_2, \dots, e_n – maksymalne wartości szeregu rozdzielczego; n_1, n_2, \dots, n_n – liczby obserwacji (liczebność) w szeregu rozdzielczym.

Przy tym maksymalne wartości szeregu rozdzielczego (e) odniesiono i pogrupowano (co $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) według dobowych średnich prędkości wiatru dla Torunia [OGI-MET], przyjmując za początek współrzędnych układu danych prędkość wiatru ($2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) zapewniającą ruch obrotowy silnika wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody [Konieczny 2013; 2016b]. W rozrachunku ekonomicznym efektu ekologicznego (3) koszty inwestycyjne z wytworzenia aeratora pulweryzacyjnego wody do pozyskiwania i przetwarzania energii wiatrowej na proces sztucznej aeracji wód, liczone jako jednostkowe i z uwzględnieniem długiego okresu amortyzacji (20-30 lat), pominięto ze względu na bardzo niskie wartości w odniesieniu do sumarycznych kosztów uzysku energii ze spalania paliw w elektrowniach. Rozpatrując wielkości masy chemicznego zanieczyszczenia środowiska, analizę efektu ekologicznego przeprowadzono na bazie dwutlenku węgla. Średnie ważne dobowe efektu ekologicznego wyrażono w $\text{zł}\cdot\text{mies.}^{-1}$ i zestawiono graficznie w postaci wykresów zmiennych zależnych opisanych równaniami regresji, w których zmienną niezależną jest numer poszczególnego paliwa elektrowni. Równania te i obliczenia statystyczne wyznaczono dla poszczególnych miesięcy za pomocą programów komputerowych Grapher wersja 1.05 oraz Microsoft Exel.

3. Dyskusja i wyniki badań

Efekt ekologiczny w analizie porównawczej aeratorów wody zasilanych energią elektryczną i wietrzną [Podsiadłowski i in. 2000] można definiować jako korzyści powstałe w środowisku z tytułu zastąpienia energii pochodzącej ze źródeł konwencjonalnych energią wiatrową i wyrażać w jednostkach fizycznych masy emitowanych zanieczyszczeń. Przy tym względem całokształtu działalności gospodarczej, polegającej na wytwarzaniu dóbr i świadczeniu usług zgodnie z potrzebami ludności, niezbędna jest znajomość wyceny efektu ekologicznego w postaci wymiernej wielkości ekonomicznej określanej w $\text{zł}\cdot\text{kWh}^{-1}$ energii elektrycznej lub $\text{zł}\cdot\text{GJ}^{-1}$ energii cieplnej [Soliński, Solińska 2001]. Zważywszy na planowane przez Spółkę Wodną Jeziora Rudnickiego Wielkiego Rzeki Maruszanki oraz Jeziora Rządź zabiegi rekultywacyjne Jeziora Rudnickiego Wielkiego [Konieczny 2016a], zagadnienie to, dotyczy także aeratora pulweryzacyjnego wody koncepcji Podsiadłowskiego ze względu na zastosowany w aeratorze wody napęd wiatrowy systemu Savoniusa o

pionowej osi obrotu. W praktyce wycena ekonomiczna efektu ekologicznego jest realizowana za pomocą trzech metod. Według autorów pracy [Soliński, Solińska 2001] bazują one na kosztach zewnętrznych energii z węgla określanych przez Komisję Europejską Exteren E, na wskaźnikach skumulowanego oddziaływania na środowisko oraz na globalnych wskaźnikach strat ekologicznych w stosunku do dochodu narodowego. Z uwagi na powszechność stosowania aeratorów wody z napędem elektrycznym zawarty w metodycy sposób obliczenia kosztów efektu ekologicznego odniesiono jedynie do czynników szkodliwych dla środowiska (tab. 1) wynikających z tradycyjnych procesów wytwarzania energii. W wycenie efektu ekologicznego wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody z tytułu zastąpienia energii wytworzonej w procesie spalania węgla kamiennego, brunatnego, oleju opałowego i gazu ziemnego energią silnika wiatrowego Savoniusa, zużywaną na proces aeracji pulweryzacyjnej wód przydennych jeziora, wyniki obliczeniowe zestawiono do analizy na bazie emisji dwutlenku węgla i wyrażono w zł·mies.⁻¹. Z procedury przeprowadzonych obliczeń (rys. 1) wynika, że aerator pulweryzacyjny wody w warunkach Jeziora Rudnickiego Wielkiego na uzyskanie efektu ekologicznego może zużywać średnio od 3,528 do 34,307 kWh·mies.⁻¹. Największe (powyżej 10,389 kWh·mies.⁻¹) zużycie energii przez silnik wiatrowy aeratora pulweryzacyjnego wody w procesie aeracji pulweryzacyjnej wód nadosadowych występuje od września do kwietnia, a najmniejsze (poniżej 8,955 kWh·mies.⁻¹) jest w czerwcu, lipcu i sierpniu, co wynika z danych dobowych średnich ważonych prędkości wiatru rozpatrywanych w pracy badawczej Koniecznego [2016b] dla poszczególnych miesięcy za lata 1980-2009 na bazie światowego systemu pogodowego [OGIMET]. Zużywanie energii wiatru przez wiatrowe urządzenia i systemy napowietrzające wodę (i inne wiatrowe technologie) jest czystą ekologicznie formą energii. Innymi słowy, zwiększenie wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE) skutkuje zmniejszeniem zakupu energii ze źródeł konwencjonalnych, co w konsekwencji prowadzi do redukcji chemicznego zanieczyszczania biosfery i ograniczenia z elektrowni negatywnego wpływu emisji zanieczyszczeń na środowisko [Graczyk 2011]. Użytkowanie silnika wiatrowego Savoniusa o pionowej osi obrotu do napędu aeratora pulweryzacyjnego wody może zapewnić w warunkach Jeziora Rudnickiego Wielkiego, w kontekście eliminacji uzysku dwutlenku węgla wytworzonego w procesie spalania paliw elektrowni, opłacalność w zakresie od 0,57 do 5,87 zł·mies.⁻¹. Jej najniższe średnie ważne z rozpatrywanych w opracowaniu paliw elektrowni mają miejsce w lipcu (poniżej 0,60 zł·mies.⁻¹), a najwyższe – w listopadzie (powyżej 5,52 zł·mies.⁻¹). Przy tym minimalną i maksymalną wartością dobową efektu ekologicznego za lata 1980-2009 w warunkach wiatrowych Jeziora Rudnickiego Wielkiego, w odniesieniu do eliminacji emisji dwutlenku węgla wytwarzanego w procesie spalania paliw elektrowni, wyznacza zakres od 0,05 do 3,12 zł·dob.⁻¹.



Rys. 1. Efekt ekologiczny (e zł.mies.⁻¹), według miesięcy i paliw elektrowni, w odniesieniu do redukcji dwutlenku węgla w warunkach Jeziora Rudnickiego Wielkiego w Grudniżu z tytułu zastąpienia energii wytworzonej konwencjonalnie energią (E kWh.mies.⁻¹) silnika wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody

Źródło: badania własne.

Przyporządkowując proporcjonalnie wskaźnikom emisyjnym poszczególnych paliw (tab. 1) cenę ze sprzedaży 1 kWh energii elektrycznej [URE 2016], zauważa się, że największe (od 0,60 do 5,87 zł/mies.⁻¹) cenowo korzyści ekologiczne odniesione są dla gazu ziemnego, a najmniejsze (od 0,57 do 5,52 zł/mies.⁻¹) mają miejsce przy wytwarzaniu energii z węgla brunatnego. Przyczynowość takiego stanu w odniesieniu dla gazu ziemnego wynika z emisyjności do środowiska tylko niektórych związków chemicznych (brak uzysku pyłu, popiołu i dwutlenku siarki w procesie spalania) [Barczyński 2001], a przy udziale węgla brunatnego – ze stosunkowo wysokiej emisyjności popiołu (tab. 1) przypadającego na jednostkę wytwarzanej energii.

W celu usprawnienia działań w szacowaniu ceny efektu ekologicznego w warunkach użytkowania aeratora pulweryzacyjnego wody na Jeziorze Rudnickim Wielkim w Grudziądzu wyniki badań z tytułu zastąpienia energii wytworzonej konwencjonalnie energią silnika wiatrowego aeratora opisano równaniami 3. stopnia (rys. 1). Parametry równań regresji (współczynniki regresji i wyraz wolny) do wyznaczania efektu ekologicznego na bazie zużywanego w elektrowni paliwa rozpatrzono względem eksploatacji wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody w poszczególnych miesiącach. Dopasowanie wielomianowych funkcji do empirycznych danych efektu ekologicznego oceniono na bazie współczynnika determinacji (R^2). Jego miara dopasowania zapewnia za pomocą równań regresji w rozpatrywanych miesiącach stuprocentową możliwość określenia wartości efektu ekologicznego. Ponadto statystyczne równania regresji stanowią podstawę do ekonomicznej wyceny porównawczej efektu ekologicznego silnika wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody z zasilanymi elektrycznie urządzeniami do sztucznej aeracji wody o znanych parametrach technicznych [Konieczny 2013; Proske 1984] w odniesieniu do wskaźników emisyjnych i ich wyceny jednostkowej określanej na podstawie ceny ze sprzedaży 1 kWh energii elektrycznej.

4. Podsumowanie i wnioski

Powietrze atmosferyczne to element środowiska naturalnego o szczególnym znaczeniu dla życia na ziemi. Jednocześnie ze względu na powszechność występowania i brak naturalnych barier dla przenikania substancji gazowych i pyłów jest ono odbiorcą dużego ładunku zanieczyszczeń [Szczepańska 2007], w tym emitowanych z procesu spalania paliw kopanych w elektrowniach. Ze względu na konieczność permanentnego korzystania z tego komponentu środowiska przez niemal całą biosferę istnieje szczególna potrzeba jego ochrony [Boba, Jurka, Passia 2014], w tym z wykorzystaniem nowych technologii mogących znacznie wpłynąć na stan środowiska naturalnego. Wymownym tego przykładem są odnawialne źródła energii (OZE), stanowiące jeden z zasadniczych elementów rozwoju zrównoważonego [Korban 2010] prowadzącego do redukcji zapotrzebowania człowieka na zasoby naturalne i ograniczającego straty bioróżnorodności siedlisk i całych ekosystemów

[Kassenberg 2016]. Uwzględniając planowane zabiegi rekultywacyjne w Jeziorze Rudnickim Wielkim w Grudziądzu oraz potrzebę ograniczania skutków emisji zanieczyszczeń do środowiska z tytułu zastąpienia energii wytworzonej konwencjonalnie energią silnika wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody, w niniejszej pracy badawczej niezbędne było zaprezentowanie sposobu wyznaczenia i ekonomicznej wyceny efektu ekologicznego dla wiatrowego napędu Savoniusa aeratora pulweryzacyjnego wody. Mając to na uwadze oraz bazując na wskaźnikach emisyjnych wielkości chemicznego zanieczyszczenia środowiska w odniesieniu do emisji dwutlenku węgla powstałego ze spalania różnych paliw w elektrowniach, sformułowano następujące wnioski:

1. Wiedza o efekcie ekologicznym z tytułu zastąpienia energii wytworzonej z paliw konwencjonalnych o różnych wartościach opałowych i zawartościach siarki energią silnika wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody zapewnia ekonomiczną ocenę korzyści dla środowiska wyrażoną w zł·mies.⁻¹.

2. Z przeprowadzonych obliczeń efektu ekologicznego wynika, że zastosowanie wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody na Jeziorze Rudnickim Wielkim w Grudziądzu zapewni w poszczególnych miesiącach efekt ekologiczny. Jego najniższa średnia ważona ma miejsce w lipcu – od 0,57 do 0,60 zł·mies.⁻¹, a najwyższa jest w listopadzie (od 5,52 do 5,87 zł·mies.⁻¹).

3. Wartość efektu ekologicznego w eksploatacji aeratora pulweryzacyjnego wody wynika z wielkości energii zużytej przez silnik wiatrowy Savoniusa o pionowej osi obrotu na proces aeracji wód nadosadowych. W warunkach Jeziora Rudnickiego Wielkiego w Grudziądzu aerator pulweryzacyjny wody z napędem wiatrowym miesięcznie będzie zużywał średnio od 3,528 do 34,307 kWh energii.

Literatura

- Aerator, *Technologia rekultywacji jezior głębokich. Technologia rekultywacji jezior płytkich. Technologia mobilnej aeracji pulweryzacyjnej z precyzyjną inaktywacją fosforu*, www.aerator.pl (23.11.2016).
- Barczyński A., 2001, *Aspekty ekologiczne używania gazu ziemnego*, Czysta Energia, nr 4, s. 12-13.
- Boba J., Jurka T., Passia H., 2014, *Emisja podstawowych zanieczyszczeń pyłowo-gazowych w krajowej energetyce w latach 2005-2011 – wstępna analiza wyników badań ankietowych*, Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal, tom 17, zeszyt 2, s. 93-112.
- Ciechanowicz W., 1997, *Energia, środowisko i ekonomia*, Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa.
- Graczyk A.M., 2011, *Wybór technologii odnawialnych źródeł energii dostosowanych do warunków rozwoju Dolnego Śląska*, [w:] *Kryzys a rozwój zrównoważony rolnictwa i energetyki*, Graczyk A. (red.), Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
- Kassenberg A., 2016, *Niskoemisyjny rozwój Polski – wybrane zagadnienia*, [w:] *Ekonomia i środowisko. Księga jubileuszowa Profesora Bogusława Fiedora*, Czaja S., Graczyk A. (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.

- Kastrau E., 2015, *Ocena zasobów odnawialnych źródeł energii w Polsce*, [w:] *Zarządzanie środowiskiem i zrównoważona energetyka*, Dyrda D., Ptak M. (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Jelenia Góra.
- Konieczny R., 2013, *Wpływ wybranych parametrów technicznych i technologicznych na wydajność aeratora pulweryzacyjnego*, Monografie nr 15, *Inżynieria w rolnictwie*, ITP Falenty.
- Konieczny R., 2016a, *Jeziro Rudnickie Wielkie: stan jakości i możliwości rekultywacji wód*, Ekspertyza Katedry Agrotechnologii i Analizy Jakości, maszynopis Wydziału Inżynierii i Ekonomicznego Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
- Konieczny R., 2016b, *Zapotrzebowanie energetyczne wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody w warunkach Jeziora Rudnickiego Wielkiego*, [w:] *Ekonomika ochrony środowiska i ekoinnowacje*, Becla A. (red.), Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 454, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, Wrocław.
- Korban Z., 2010, *Wybrane aspekty wykorzystania energetyki wiatrowej w Polsce*, *Górnictwo i Geologia*, tom 5, zeszyt 2, s. 79-90.
- Kwiatkowska M., 2015, *Energia rozproszona nowym kierunkiem gmin*, [w:] *Zarządzanie środowiskiem i zrównoważona energetyka*, Dyrda D., Ptak M. (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Jelenia Góra.
- Lorenz U., 2005, *Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczania*, Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Sympozja i Konferencje, nr 64, Instytut GSMiE PAN, Kraków.
- Lossow L., Gawrońska H., 1992, *Możliwości i ograniczenia zawartości fosforu i azotu w wodach jezior sztucznie napowietrzanych*, [w:] *Problemy zanieczyszczenia i ochrony wód powierzchniowych – dziś i jutro*, materiały konferencyjne, UMA, Seria Biologia, nr 49.
- OGIMET, *Global Summary of the Day (GSOD) Selection*, www.ogimet.com/gsocd.phtml.en (16.03.2013).
- Osuch E., Osuch A., Podsiadłowski S., Przybył J., Walkowiak R., 2015, *Zmienność emisji gazów podczas aeracji pulweryzacyjnej*, [w:] *Aktualne problemy inżynierii biosystemów*, Lipiński M., Przybył J. (red.), Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Poznań.
- Podsiadłowski S., 2001a, *Aeracja jezior strefy umiarkowanej – cz. I*, *Ekopartner*, nr 6, s. 15-16.
- Podsiadłowski S., 2001b, *Aeracja jezior strefy umiarkowanej – cz. II*, *Ekopartner*, nr 8, s. 35.
- Podsiadłowski S., Mastyński J., Andrzejewski W., Konieczny R., 2000, *Aeracja jezior*, [w:] *Rybacktwo jeziorowe*, V Krajowa Konferencja Rybackich Użytkowników Jezior, Olsztyn, 14-16.06.2000, Instytut Rybacktwo Śródlądowego, Olsztyn.
- Prospe Ch., 1984, *Produktionstechnische und betriebswirtschaftliche Überlegungen zur intensiven Fischhaltung*, *Landtechnik*, nr 11, s. 491-493.
- Soliński I., Solińska M., 2001, *Ekologiczne podstawy systemu wspierania rozwoju energii odnawialnej w Polsce*, [w:] *Rozwój energetyki wiatrowej w Polsce północnej – konieczność czy idealizm*, materiały konferencyjne Międzynarodowych Targów Szczecińskich, Wydawnictwo Hogben.
- Szczepańska J., 2007, *Działalność człowieka a środowisko*, [w:] *Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim w 2006 roku. Część II. Emisja zanieczyszczeń do powietrza*, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Łodzi.
- URE, 2016, *Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w sprawie średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym w II kwartale 2016 roku*, nr 45, Warszawa, <https://www.ure.gov.pl/pl/stanowiska/6695,Informacja-nr-452016.html> (23.11.2016).
- Wróblewska K., 2015, *Zielone certyfikaty jako system wsparcia producentów energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych*, Dyrda D., Ptak M. (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Jelenia Góra.