

SYSTEM PRECYZYJNEGO DOZOWANIA KOAGULANTU W AERATORZE PULWERYZACYJNYM Z NAPĘDEM WIETRZNYM PRZY UŻYCIU WNIOSKOWANIA ROZMYTEGO

Andrzej Osuch¹, Piotr Rybacki¹, Stanisław Podsiadłowski¹,
Ewa Osuch¹, Przemysław Przygodziński¹

¹ Instytut Inżynierii Biosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 50, 60-627 Poznań, e-mail: andrzej.osuch@up.poznan.pl, prybacki@up.poznan.pl, ewa.osuch@up.poznan.pl, stapod@up.poznan.pl, p.przygodzinski@interia.pl

STRESZCZENIE

Jedną ze stosowanych metod wspomagających rekultywację jezior jest metoda aeracji pulweryzacyjnej. Stosowanie aeratorów napędzanych wyłącznie siłą wiatru poprawia stan zbiorników wodnych, jednocześnie nie pogarszając środowiska naturalnego. Proces aeracji pulweryzacyjnej z napędem wietrzny polega na napowietrzaniu wód strefy naddennej, przy jednoczesnym usuwaniu szkodliwych gazów przemiany beztlenowej. Aeratory tego typu dzięki niepowtarzalnej metodzie działania umożliwiają ponadto dozowanie koagulantów inaktywacyjnych wraz z natlenioną wodą do toni jeziora. Przebieg dozowania koagulantu można uzależnić od prędkości wiatru, która ma wpływ na wydajność jego pracy, dlatego wraz z zwiększeniem prędkości wiatru zawór dozownika koagulantów powinien być mocniej otwarty. Jedną z metod oceny stanu jezior jest pomiar przezroczystości wody. Im miększa widoczność, tym najprawdopodobniej stan zbiornika wodnego jest lepszy. Dawkowanie koagulantu można więc uzależnić również od przezroczystości wody. Analogicznie wraz ze zwiększeniem przezroczystości wody zawór dozownika powinien być bardziej przymknięty. Sterowanie pracą zaworu spustowego dozownika koagulantu można równocześnie uzależnić od obydwu czynników. W pracy zaprojektowano metodę sterowania zaworem spustowym dozownika koagulantu przy użyciu wnioskowania rozmytego.

Słowa kluczowe: aerator pulweryzacyjny, rekultywacja jezior, dozownik koagulantu, logika rozmyta

SYSTEM OF PRECISE DOSING OF COAGULANT IN THE PULVERIZING AERATOR POWERED BY WIND USING FUZZY LOGIC

ABSTRACT

One of the methods used to support land restoration lakes is the method of pulverizing aeration. Use of aerators powered exclusively by wind improves the condition of reservoirs, while not compromising the environment. The pulverizing aeration process drive is windy on the water aeration zone near bottom, while removing harmful gases anaerobic metabolism. Aerators of this type due to the unique method of operation also enable dosing of inactivation coagulants with oxygenated water to the depths of the lake. Mileage coagulant dosing can be made dependent on the speed of the wind, which has an impact on the performance of his work, because with the increase of wind speed dispensing valve coagulants should be stronger open. One of the methods for assessing the state of lakes is to measure water transparency. The softer visibility, the most likely state of the water is better. Dosage of coagulant so you can make the transparency of the water. Similarly, with increasing transparency water dispensing valve should be more covered up. Control of the drain valve dispenser coagulant can be simultaneously dependent on two factors. The study was designed method of control drain valve dispenser coagulant using fuzzy inference.

Keywords: pulverizing aerator, lakes restoration dispenser coagulant, fuzzy logic

WPROWADZENIE

Jeziora odgrywają bardzo ważną rolę w przyrodzie i życiu człowieka [Kajak 1998, 2001].

Wskutek działalności antropogenicznej wiele jezior w Polsce i na Świecie uległo zeutrofizowaniu [Harper 1992]. Przyczyny i skutki eutrofizacji jezior są szeroko opisane w literaturze limnologicznej.

gicznej [Hillbricht-Ilkowska 1989, Kajak 1998, Kalff 2001, Osuch i inni 2016b]. Intensyfikacja eutrofizacji jezior, objawiająca się między innymi silnym zakwitaniem fitoplanktonu i zmniejszeniem przezroczystości wody, wpływa niekorzystnie zarówno na organizmy żyjące w wodnym ekosystemie, jak również na gospodarcze możliwości korzystania z wody [Choiński i Kaniecki 1996, Czaplicka-Kotas i inni 2012, Osuch i inni 2016a, Żmudziński i inni 2002, Podsiadłowski i Gołdyn 2009, Pliński 2009]. Rozwój urbanizacji dwudziestego wieku przyczynił się do przyspieszenia procesu eutrofizacji wód [Zdanowski 1983, Kubiak 2005, Lossow 1998]. Najbardziej zauważalne pogorszenie się wód jeziornych nastąpiło w ostatnim trzydziestoleciu, którego powodem była ciągła intensyfikacja produkcji rolnej poprzez wprowadzanie do gleby coraz większej ilości nawozów mineralnych i chemicznych środków ochrony roślin, jak również wzrost znaczenia turystyki i przemysłu lokalnego [Osuch i inni 2015, Rybacki i inni 2016]. Eutrofizacja zaliczana jest do największych zagrożeń dla bioróżnorodności w słodkowodnych zbiornikach wodnych. Ponad 85% jezior badanych w ostatnich latach, charakteryzuje się stężeniem fosforu i przezroczystością odpowiednią dla zbiorników eutroficznych. Podczas zakwitania fitoplanktonu w zbiornikach jeziornych dochodzi do znacznego zacieńczenia wód, zmniejszenia przezroczystości oraz do deficytów tlenowych w naddennej strefie wody jeziornej. Użyźniona woda jeziorna powoduje jego zakwit, następnie skutek obumierania glonów materia organiczna opada na dno jeziora, gdzie ulega rozkładowi i dostarcza nowe partie biogenów do akwenu [Reynolds 2003, Zębek i Szwejkowska 2014]. Ochrona jezior polega na znalezieniu sposobu spowolnienia, zahamowania, a nawet cofnięcia procesów degradacyjnych lub usunięcia ich ujemnych następstw [Lossow 1995a, Lossow 1995b, Lossow i Gawrońska 1998]. Podstawowym sposobem ochrony jakości wód jest ograniczenie bądź likwidacja źródeł ich zasilania w biogeny. Niestety, niektóre zbiorniki wodne osiągnęły wysokie stadium degradacji, wówczas konieczne jest wprowadzanie odpowiednich metod rekultywacji [Osuch i inni 2015]. Rekultywacja jezior polega często na łączeniu kilku metod poprawiających stan zbiorników wodnych, jednakże dużą popularnością cieszą się metody nieinwazyjne, lub mało inwazyjne. Jedną z obecnie stosowanych nieinwazyjnych metod rekultywacji jezior jest metoda aeracji pulweryzacyjnej z napędem wietrznym w połączeniu inaktywacją fosforu w toni jeziora. Poza dozowaniem

koagulantów na dopływach i na powierzchni jezior, stosuje się również dozowniki koagulantów, będące integralną częścią aeratorów. Dozowniki pozwalają na inaktywowanie natlenionej wody, która dostarczana jest do strefy naddennej. Praca zaworu spustowego dozownika koagulantów może być uzależniona zarówno od prędkości wiatru oraz przezroczystości wody. Precyzyjne sterowanie przepływem koagulantu z dozownika można uzyskać przy zastosowaniu logiki rozmytej.

Pojęcie zbioru rozmytego (*fuzzy sets*) zostało wprowadzone w 1965 roku przez amerykańskiego badacza L. A. Zadeha, którego celem była chęć modelowania procesów złożonych. Głównym działem teorii zbiorów rozmytych jest logika rozmyta (*fuzzy logic*), stosowana do modelowania i sterowania złożonymi systemami [Piegat, 1999; Zadeh, 1968; Zadeh, 1988; Rybacki i inni 2013].

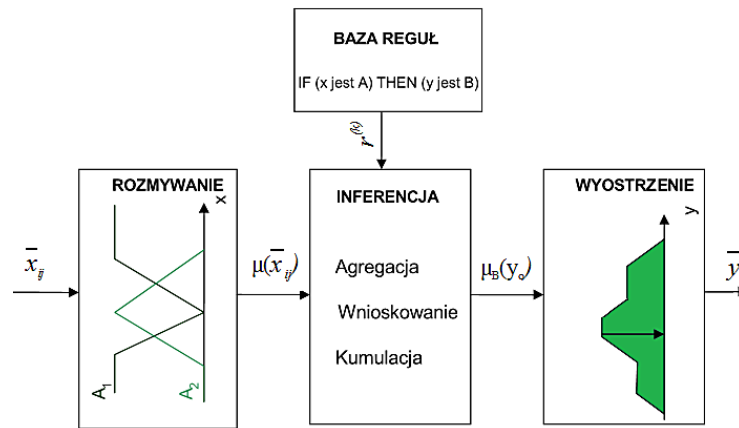
CEL, ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Celem pracy jest przedstawienie metody sterowania zaworem spustowym aplikatora do koagulantu, będącego integralną częścią aeratora pulweryzacyjnego z napędem wietrznym, z wykorzystaniem logiki rozmytej. Argumentami uzasadniającymi wybór wniosku jako narzędzia badawczego dla rozwiązania problemu postawionego w pracy jest naśladowanie ludzkiego sposobu wnioskowania.

Model rozmyty, proponowanej metody, składa się z trzech zasadniczych bloków: fuzyfikacji (rozmywania), inferencji (wnioskowania) oraz defuzyfikacji (wyostrzenia), tworzących wspólną strukturę (rys. 1).

Blok fuzyfikacji realizuje operacje rozmywania wartości wejściowych. Wartości te mogą mieć zarówno charakter ostry (prędkość wiatru) lub rozmyty (stan jakości wód). W ramach bloku inferencji, na podstawie przynależności wartości wejściowych do zbiorów rozmytych określa się wynikową funkcję przynależności konkluzji bazy reguł, która stanowi podstawowy jego element. Ostatnim etapem logiki rozmytej jest sprowadzenie funkcji przynależności konkluzji do jednej ostrej wartości, która stanowić będzie wyjście z modelu i reakcję na wartości wejściowe (prędkość wiatru, przezroczystość wody). W proponowanej metodzie będzie to liczbowa wartość, określająca położenie zaworu spustowego dozownika koagulantu.

Na wejściu do systemu rozmytego należy zdefiniować kształt funkcji przynależności, od-



Rys. 1. Struktura modelu rozmytego procesu sterowania zaworem spustowym dozownika koagulantów
 Fig. 1. The structure of fuzzy model of the process control drain valve dispenser coagulants

wzorowującej obszar rozważań X na przedziale domkniętym $[0;1]$. Zbiór wejściowy $A-i$ metody zawiera 4 terminy (rys. 2).

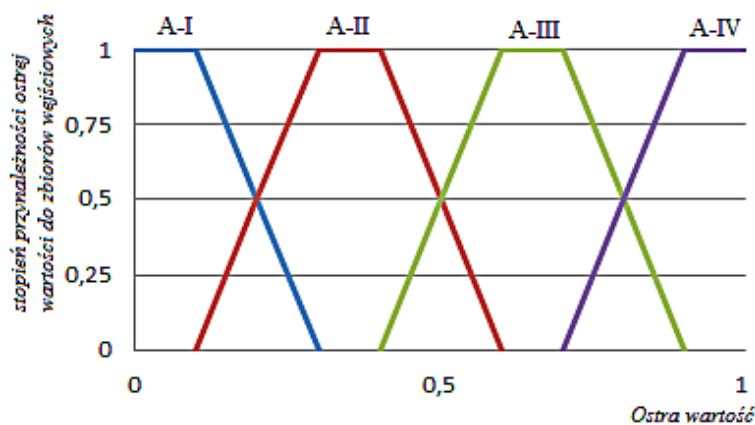
Każda z terminów wyraża lingwistyczną ocenę analizowanych wartości pomiarowych: zbiór $A - I$ – ocena bardzo mała (bardzo mała prędkość wiatru, bardzo duża przezroczystość wody), zbiór $A - II$ – ocena mała (mała prędkość wiatru, duża przezroczystość wody), zbiór $A - III$ – ocena duża (duża prędkość wiatru, mała przezroczystość wody), zbiór $A - IV$ – ocena bardzo duża (bardzo duża prędkość wiatru, bardzo mała przezroczystość wody).

Bazę reguł interpretuje się jako zbiór związków przyczynowo- skutkowych, istniejących pomiędzy zbiorami wejściowymi $\bar{A} - i$ oraz zbiorami wyjściowymi B_i , które w dalszym ciągu są zbiorami rozmytymi. Każda reguła składa się z dwóch części: poprzednika, który jest zbiorem warunków oraz z następnika, zawierającego konkluzję. Na podstawie stwierdzenia spełnienia

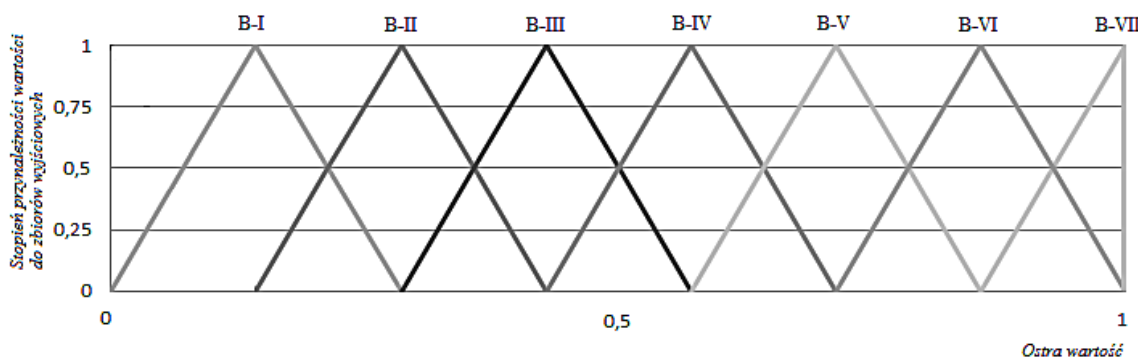
poszczególnych reguł, oblicza się stopień aktywizacji ich konkluzji w postaci funkcji przynależności $\mu_{B_i}(y)$. Stopień aktywizacji konkluzji pozwala znaleźć wynikową funkcję przynależności konkluzji bazy reguł.

Ostatnim etapem modelowania rozmytego jest defuzyfikacja, która obejmuje proces sprowadzenia zbioru rozmytego $B(y)$, stanowiącego wyjście z bloku inferencji do jednej wartości ostrej \bar{y} , będącej jednocześnie liczbową wartością wskazującą ustawienie zaworu spustowego.

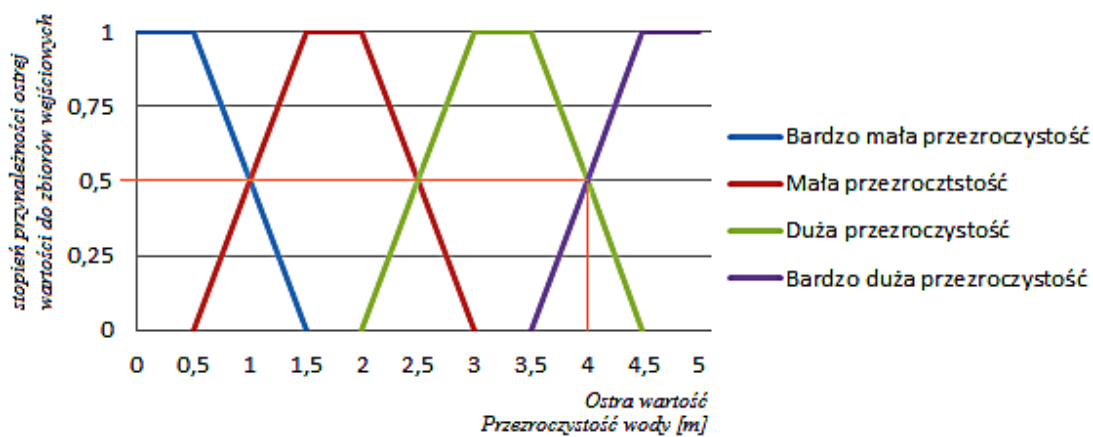
Zbiór wyjściowy $B(y)$ modelu rozmytego procesu ustawienia zaworu spustowego dozownika koagulantów zawiera 7 terminów (rys. 4). Każda z nich wyraża końcową ocenę, którą charakteryzują wielkości lingwistyczne: zbiór BI – zawór całkowicie otwarty, zbiór BII – zawór otwarty w 85%, zbiór $BIII$ – zawór otwarty w 70%, zbiór BIV – zawór otwarty w 50%, zbiór BV – zawór otwarty w 30%, zbiór BVI – zawór otwarty w 15%, zbiór $BVII$ – zawór całkowicie zamknięty.



Rys. 2. Funkcje przynależności zbioru wejściowego A-i modelu rozmytego
 Fig. 2. Membership functions input file A-model and fuzzy



Rys. 3. Funkcje przynależności zbioru wyjściowego B(yi)
 Fig. 3. Membership functions of the output file B (yi)



Rys. 4. Funkcja przynależności zbioru wejściowego przezroczystości wody
 Fig. 4. The membership of a set of input water transparency

W proponowanej metodzie wspomagania procesu decyzyjnego zastosowano metodę środka maksimum, która za ostrego reprezentanta \bar{y}_{FOM} rozmytego zbioru konkluzji wynikowej przyjmuje średnią wartość y_i odpowiadającą maksymalnemu stopniowi przynależności $\mu_B(y_i)$.

WYNIKI I ANALIZA BADAŃ

Sterowanie pracą zaworu spustowego będzie uzależnione od prędkości wiatru, a co za tym idzie od przepływu wody przez komorę pulweryzacyjną aeratora oraz od przezroczystości wody, co ma na celu uwzględnienie stanu jakości wód jeziora. Dane wejściowe obydwu parametrów pozwalają na wyznaczenie zbiorów wejściowych. Na początku zgodnie z metodyką został określony kształt funkcji przynależności, odwzorowującej obszar rozważań X na przedziale domkniętym $[0;1]$. Jako dane wejściowe dla sprawdzenia działania metodyki zostały określone wartości wejściowe. Zgodnie z założeniem prędkość wia-

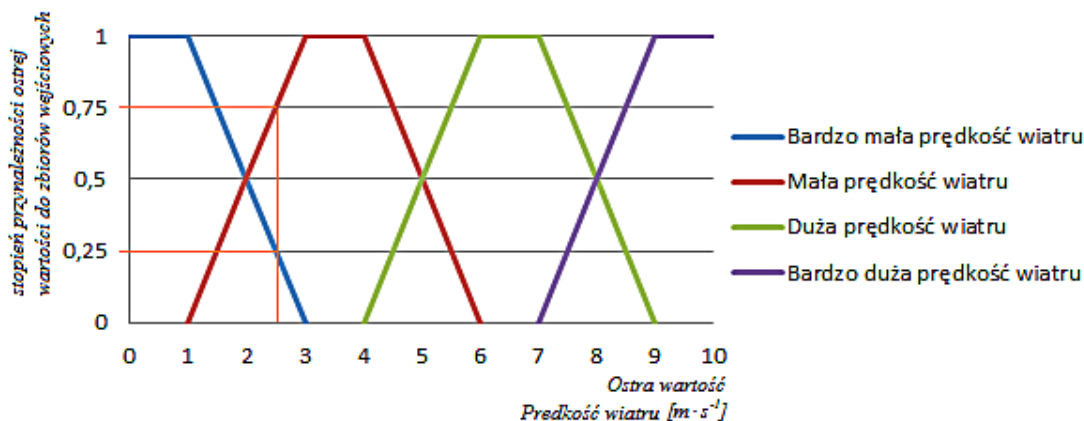
tru wynosi $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, natomiast przezroczystość wody 4. Na podstawie danych wejściowych zostały określone przynależności ostrych wartości do zbiorów wejściowych (rys 5,6).

Przezroczystość wody o wartości 4 m przynależy zarówno do duża przezroczystość i bardzo duża przezroczystość. Odpowiednio stopień przynależności do zbiorów wejściowych wynosi 0,5 dla dużej przezroczystości wody i 0,5 dla bardzo dużej przezroczystości wody. Przynależności do zbiorów dla przezroczystości wody można zapisać następująco:

$$\mu_{\text{duża przezroczystość wody}}(Ww=4)=0,5$$

$$\mu_{\text{bardzo duża przezroczystość wody}}(Ww=4)=0,5$$

Prędkość wiatru o wartości $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ przynależy zarówno do zbioru bardzo mała prędkość wiatru i mała prędkość wiatru. Odpowiednio stopień przynależności do zbiorów wejściowych wynosi 0,25 dla bardzo małej prędkości wiatru i 0,75 dla małej prędkości wiatru. Przynależ-



Rys. 5. Funkcja przynależności zbioru wejściowego prędkości wiatru
 Fig. 5. The membership of a set of input wind speed

ności do zbiorów dla prędkości wiatru można zapisać następująco:

$$\mu_{\text{bardzo mała prędkość wiatru}}(Pw=2,5)=0,25$$

$$\mu_{\text{mała prędkość wiatru}}(Pw=2,5)=0,75$$

W kolejnym etapie określone zostały przesłanki, jakie muszą być spełnione aby aktywować regułę. W tabeli 1 przedstawiono wszystkie możliwe warianty działania systemu sterowania zaworem.

Na podstawie przynależności ostrej wartości do zbiorów wejściowych uwzględniając założenia z tabeli 1 została opracowana baza reguł. Na tym etapie odrzucone zostają reguły, które przyjmują wartości zerowe. Lingwistycznie można zapisać je w następujący sposób:

1. IF (bardzo mała prędkość wiatru) and (duża przezroczystość wody) THEN (zawór otwarty w 15%)
2. IF (bardzo mała prędkość wiatru) and (bardzo duża przezroczystość wody) THEN (zawór całkowicie zamknięty)
3. IF (mała prędkość wiatru) and (duża przezroczystość wody) THEN (zawór otwarty w 30%)
4. IF (mała prędkość wiatru) and (bardzo duża przezroczystość wody) THEN (zawór otwarty w 15%)

Na podstawie wartości przynależności ostrych wartości wejściowych do zbiorów rozmytych, w oparciu o bazę reguł, wyznaczone zostały przynależności do zbiorów wyjściowych, co graficznie zostało przedstawione na rycinach 6–9.

$$\mu_c(x) = \text{Min}[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \text{MIN}[\mu_{\text{bardzo mała prędkość wiatru}} = 0,25; \mu_{\text{duża przezroczystość wody}} = 0,5] = 0,25 \quad (1)$$

$$\mu_c(x) = \text{Min}[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \text{MIN}[\mu_{\text{bardzo mała prędkość wiatru}} = 0,25; \mu_{\text{bardzo duża przezroczystość wody}} = 0,5] = 0,25 \quad (2)$$

$$\mu_c(x) = \text{Min}[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \text{MIN}[\mu_{\text{mała prędkość wiatru}} = 0,75; \mu_{\text{duża przezroczystość wody}} = 0,5] = 0,5 \quad (3)$$

$$\mu_c(x) = \text{Min}[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \text{MIN}[\mu_{\text{mała prędkość wiatru}} = 0,75; \mu_{\text{bardzo duża przezroczystość wody}} = 0,5] = 0,5 \quad (4)$$

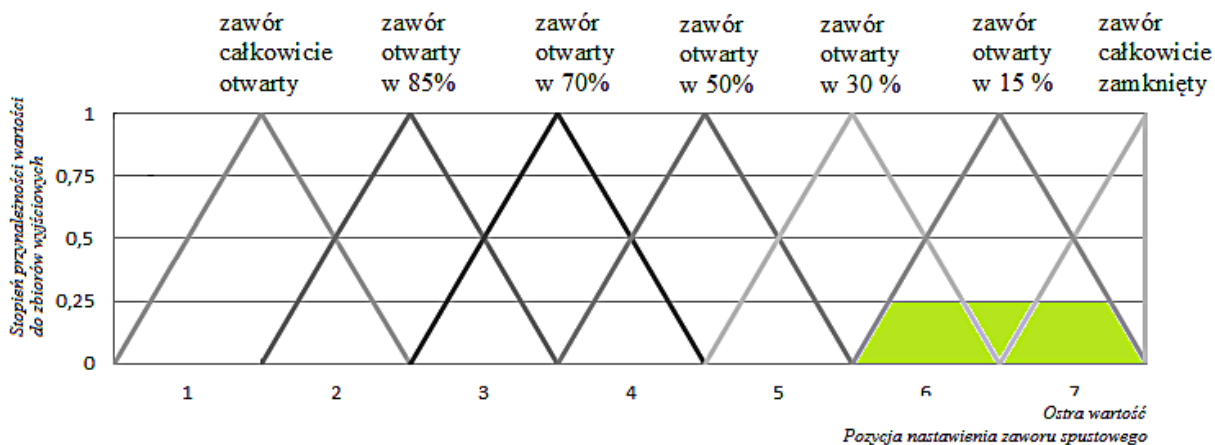
Kolejnym krokiem jest kumulacja otrzymanych przynależności do zbiorów wyjściowych. Operacje tą można uzyskać następujący wzór:

$$\mu_c(x) = \text{Max}[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

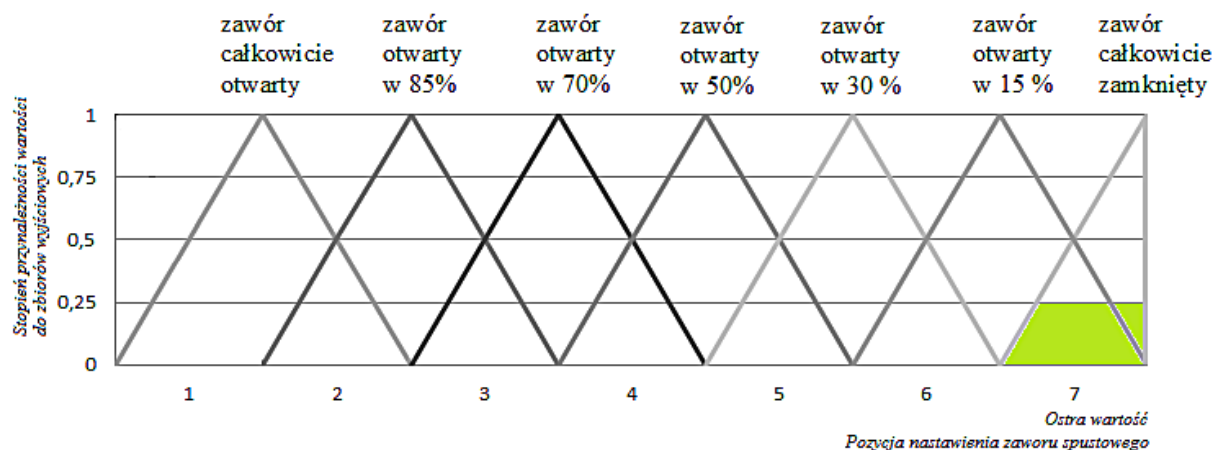
Ostatnim krokiem jest wyostrenie uzyskanych wyników. Wyostrenie ma na celu

Tabela 1. Przesłanki aktywujące reguły z bazy reguł
 Table 1. Rationale activating the rules of the rule base

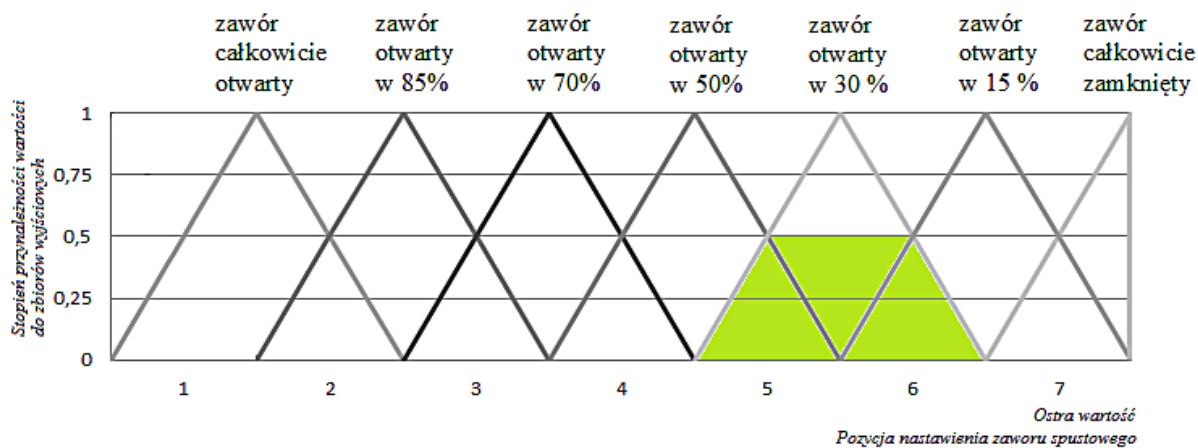
	Bardzo mała przezroczystość	Mała przezroczystość	Duża przezroczystość	Bardzo duża przezroczystość
Bardzo duża prędkość wiatru	zawór całkowicie otwarty	zawór otwarty w 85%	zawór otwarty w 70%	zawór otwarty w 50%
Duża prędkość wiatru	zawór otwarty w 85%	zawór otwarty w 70%	zawór otwarty w 50%	zawór otwarty w 30%
Mała prędkość wiatru	zawór otwarty w 70%	zawór otwarty w 50%	zawór otwarty w 30%	zawór otwarty w 15%
Bardzo mała prędkość wiatru	zawór otwarty w 50%	zawór otwarty w 30%	zawór otwarty w 15%	zawór całkowicie zamknięty



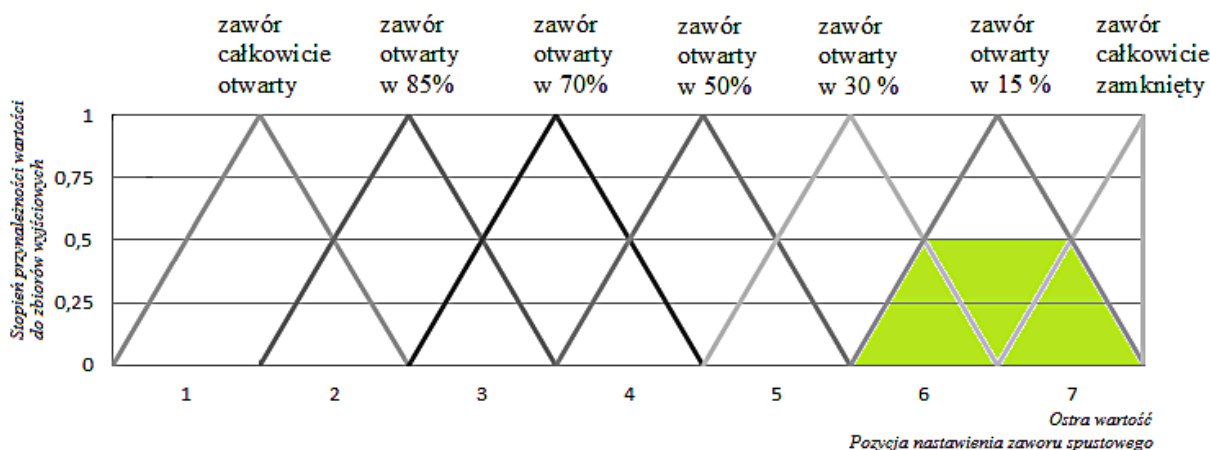
Rys. 6. Przynależność do zbiorów wyjściowych dla reguły 1
 Fig. 6. Belonging to the collection of output for the rule 1



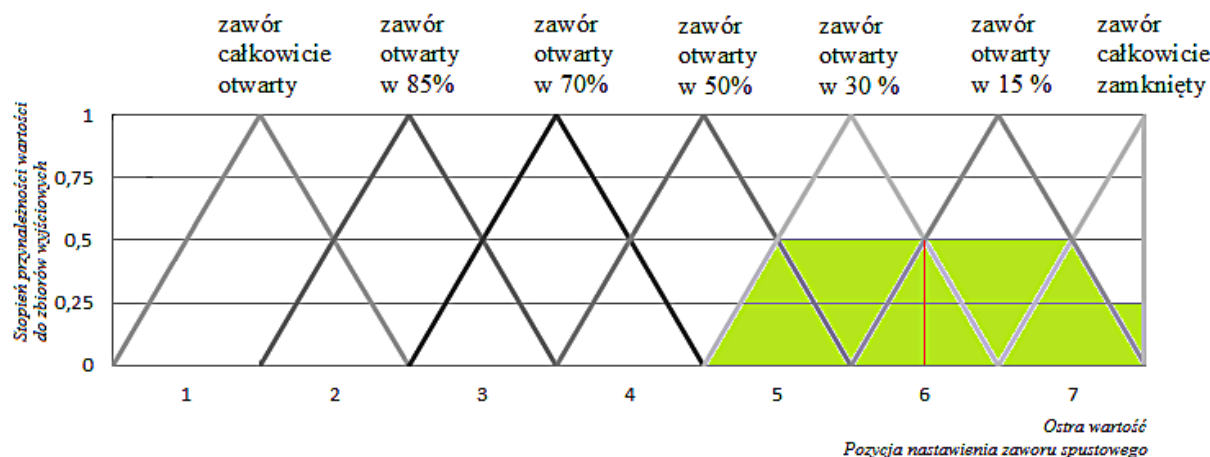
Rys. 7. Przynależność do zbiorów wyjściowych dla reguły 2
 Fig. 7. Belonging to the collection of output for the rule 2



Rys. 8. Przynależność do zbiorów wyjściowych dla reguły 3
 Fig. 8. Belonging to the collection of output for the rule 3



Rys. 9. Przynależność do zbiorów wyjściowych dla reguły 4
 Fig. 9. Belonging to the collection of output for the rule 1



Rys. 10. Wynikowy zbiór przynależności
 Fig. 10. The resulting collection of belonging

przekształcenie wynikowego zbioru rozmytego na określoną wartość rzeczywistą stanowiącą wartość wyjścia z modelu. Wynik końcowy można uzyskać na kilka sposobów, jednakże w pracy została wybrana metoda środka maksimum. Wynikowy zbiór przynależności wraz z określeniem wartości środka maksimum przedstawiony został na rycinie 10.

WNIOSKI

1. Opracowana metoda sterowania zaworem spustowym dozownika koagulantu pozwoli na precyzyjne aplikowanie preparatu czynnego, co może poprawić skuteczność rekultywacji zbiornika wodnego.
2. Zastosowanie wnioskowania rozmytego do sterowania zaworem pozwala na uzależnienie pracy od więcej niż jednego czynnika, co po-

prawia precyzję ustawienia w zależności od warunków miejscowych.

3. Metoda pozwala na rozwiązywanie trudnych zadań decyzyjnych, może więc być wykorzystywana w innych dziedzinach życia.

LITERATURA

1. Choński A., Kaniecki A. 1996. Wielka encyklopedia geografii świata. Wody ziemi. Wyd. Kurpisz s.c., Poznań, 4, 39–40.
2. Czaplicka-Kotas A., Ślusarczyk Z., Pieta M., Szostak A. 2012. Analiza zależności między wskaźnikami jakości wody w Jeziorze Gocza-kowickim w aspekcie zakwitów fitoplanktonu. Ochrona Środowiska, 34(1), 21–27.
3. Harper D. 1992. Eutrophication of freshwaters: principles, problems and restoration. Chapman and Hall, London

4. Hillbricht-Ilkowska A. 1986. Różnorodność biologiczna siedlisk słodkowodnych – problemy, potrzeby, działania. Idee Ekologiczne. Ser. Szkice, 13/7, 13–55.
5. Kajak Z. 1998. Hydrobiologia – limnologia, Ekosystemy wód śródlądowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
6. Kajak Z., 2001. Eutrofizacja jezior, wyd. PWN, Warszawa.
7. Kalf J. 2001. Limnology. Protice Hall, New Jersey.
8. Kubiak J., Tórz A. 2005. Eutrofizacja. Podstawowe problemy ochrony wód jeziornych na Pomorzu Zachodnim. Słupskie Prace Biologiczne, 2, 17–36.
9. Lossow K. 1995a. Odnowa jezior. Ekoprofit, 5, 11–15.
10. Lossow K. 1995b. Zanikające jeziora. Ekoprofit, 7(8), 40–45.
11. Lossow K. 1998. Ochrona i rekultywacja jezior – teoria i praktyka. Idee ekologiczne. Ser. Szkice 13(7), 55–71.
12. Lossow K., Gawrońska H. 1998. External input to Lake Wadag – Effective and Estimate Loadings. Pol. J. Envir. Stud., 7 (2), 95–98.
13. Osuch A., Osuch E., Podsiadłowski S., Rybacki P., Ratajczak J., Mioduszevska N. 2016a. Ocena możliwości wpływu zasilania zewnętrznego na stężenie biogenów w wodzie Jeziora Strzeszyńskiego. Inżynieria i Ochrona Środowiska. 19(1), 5–14.
14. Osuch A., Rybacki P., Osuch E., Adamski M., Buchwald T., Staszak Ż. 2016b. Ocena stanu jakości wód Jeziora Łomno. Inżynieria Ekologiczna 46, 24–30.
15. Osuch E., Osuch A., Podsiadłowski S., Przybył J., Walkowiak R. 2015. Zmienność emisji gazów podczas aeracji pulweryzacyjnej. Aktualne problemy inżynierii biosystemów. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, 44–52.
16. Piegat A. 1999. Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa.
17. Pliński M. 2009. Przyczyny i skutki zakwitów sinicowych. IV Ogólnopolskie Warsztaty Sinicowe „Toksyczne zakwity sinic w wodach słodkich i słonawych”. Uniwersytet Gdański, Instytut Oceanografii, Regionalne Centrum Sinicowe, Polskie Towarzystwo Hydrobiologiczne, Gdynia, 4–8.
18. Podsiadłowski S., Gołdyn R. 2009. Metody zrównoważonej rekultywacji jezior. Wielkopolski Biuletyn Ekologiczny 3/2009.
19. Reynolds C.S. 2003. The development of perceptions of aquatic eutrophication and its control, Ecohydrology & Hydrobiology, 3(2), 149–163.
20. Rybacki P., Ratajczak J., Osuch E., Osuch A. 2016. Analiza procesu inaktywacji jonów fosforowych w wodzie Jeziora Durowskiego. Inżynieria Ekologiczna 47, 33–39.
21. Rybacki, R., Rzeźnik, C., Durczak, K. 2013. Wykorzystanie wnioskowania rozmytego w procesie decyzyjnym zakupu ciągnika rolniczego. Inżynieria Rolnicza, 4(147), 281–290.
22. Zadeh L.A. 1965. Fuzzy sets. Information and Control. 8(3), 338–353.
23. Zadeh L.A. 1988. Fuzzy Logic. Computer, 1(4), 83–93.
24. Zdanowski B. 1983. Chlorophyll content and visibility of Secchi's disc in 46 lakes. Ekol. Pol., 31, 333–352.
25. Zębek E., Szwejkowska M. 2014. Ocena wpływu podczyszczonych ścieków deszczowych na liczebność sinic w śródmiejskim jeziorze Jeziorak Mały przy zróżnicowanej wysokości opadów atmosferycznych, Ochrona Środowiska, 36 (1), 27–31.
26. Żmudziński I., Kornijów R., Bolałek A., Górniak A., Olańczuk-Neyman K., Pęczalska A., Korzeniowski K., 2002. Słownik hydrobiologiczny. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.