

Tomasz ŁUKASZEWSKI, Mariusz NOWAK

*Institut Informatyki  
Politechnika Poznańska*

## INTELLIGENTNE SYSTEMY STEROWANIA W INŻYNIERII ŚRODOWISKA WYKORZYSTUJĄCE PODEJŚCIE PREDYKCYJNE

### INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING WITH THE PREDICTIVE APPROACH

*In this paper we present intelligent control systems with the prediction of the water consumption. The goal of the use of such a prediction is to achieve a very high quality of control systems with reduced cost of control processes. The prediction allows to minimize or even eliminate the changes of control systems comparing to the classical approach without the prediction. We use a naïve Bayesian classifier and its adaptive extension for the prediction. Experimental results show that this approach is appropriate.*

## 1. Wprowadzenie

W preambule Ramowej Dyrektywy Wodnej 2000/60/WE (RDW) z dnia 23 października 2000 roku można znaleźć stwierdzenie: „...woda nie jest produktem handlowym takim jak każdy inny, ale raczej dziedzicznym dobrem, które musi być chronione, bronię i traktowane jako takie...”. Głównym celem opracowanej kilkanaście lat temu dyrektywy jest zobowiązanie państw członkowskich Unii Europejskiej do racjonalnego wykorzystania i ochrony zasobów wodnych w myśl zasady zrównoważonego rozwoju oraz *osiągnięcie dobrego stanu wszystkich wód* do 2015 roku. W Ramowej Dyrektywie Wodnej dyskutowany jest problem zabezpieczenia zaopatrzenia w wodę dla ludzi, rolnictwa i przemysłu. Wdrożenie dyrektywy ma zagwarantować dostęp do wody o jak najlepszej jakości między innymi poprzez jej pozyskiwanie i uzdatnianie z wykorzystaniem nowoczesnych, energooszczędnych systemów wodociągowych [1]. Uzdatnianie i transport wody w systemie wodociągowym jest procesem energochłonnym. Szacuje się, że w Polsce na wszelkiego rodzaju transport wody przypada zużycie 30 mld kWh, co wiąże się z emisją ogromnych ilości zanieczyszczeń atmosfery. Celowe jest zatem poszukiwanie metod prowadzących do zmniejszania energochłonności procesów transportu wody między innymi poprzez zwiększanie sprawności instalacji pompowych i modyfikację strategii sterowania pracą tych systemów [2].

Jednym z miejsc, gdzie instalacje pompowe generują największy odsetek całocięwych kosztów funkcjonowania systemów transportu cieczy są instalacje wodociągowe. Pobór wody i zapotrzebowanie na nią przez konsumentów ma charakter deterministyczno-

losowy. Wielkość zużycia wody przez odbiorców podlega bowiem pewnym prawidłowościom obserwowanym w pewnych godzinach, dniach tygodnia, porach roku czy też typu odbiorcy. Na te prawidłowości w poborze wody dodatkowo mogą nakładać się różnego rodzaju czynniki losowe wynikające z nagłej zmiany pogody, imprez sportowych, dni świątecznych czy też awarii. Podstawowym zadaniem systemów zaopatrzenia w wodę jest dostarczenie ludności, rolnictwu i zakładom przemysłowym wody o wymaganej jakości, ilości oraz pod odpowiednim ciśnieniem. Celem każdego operatora systemu wodociągowego musi być wykonanie powyższego zadania przy jak największej niezawodności działania urządzeń wodociągowych oraz przy optymalnie niskich kosztach operacyjnych [5].

W klasycznym podejściu, w którym nie uwzględnia się prognozowania zmian zapotrzebowania, sterowanie typu reakcyjnego realizowane jest w oparciu o bieżącą analizę różnicy pomiędzy aktualnym zapotrzebowaniem na dany zasób, a dysponowaną w danej chwili jego ilością. Uzyskanie wysokiej jakości sterowania wymaga ponoszenia wysokich kosztów związanych np. z częstą ingerencją w sposób pracy urządzeń wykonawczych. Jednym z rozwiązań prowadzącym do uzyskania wysokiej jakości sterowania przy niższych kosztach jest wykorzystanie prognozowania poboru wody w celu zmniejszenia stopnia ingerencji w sposób pracy urządzeń wodociągowych. Przykładowo, mając dostęp do prognozowanego poboru wody oraz ustalając możliwość wystąpienia dopuszczalnej (bezpiecznej) różnicy pomiędzy poborem wody a dysponowaną jej ilością, można zmniejszyć stopień ingerencji w sposób pracy urządzeń wykonawczych, a nawet nie dokonywać żadnej ingerencji, w sytuacjach gdy klasyczne sterowanie (bez prognozowania poboru wody) wiązałoby się ze znacznie większym stopniem ingerencji. Zmniejszony stopień ingerencji w działanie urządzeń wodociągowych można osiągnąć w sytuacji przewidywanej zmiany poboru wody, która mogłaby spowodować przekroczenie dopuszczalnej różnicy pomiędzy poborem wody, a dysponowaną jej ilością i konieczność ingerencji w sposób pracy urządzeń w sposób dość znaczny (np. zwiększony pobór wody w godzinach wieczornych czy też godzinach rozpoczęcia prac obiektów przemysłowych, itp.). W takiej sytuacji, zastosowanie odpowiednio wcześniej zmniejszonego stopnia ingerencji, w celu dostosowania dysponowanej ilości wody do przewidywanej zmiany poboru wody (w naszym przykładzie byłoby to stopniowe zwiększanie dysponowanej ilości wody przed przewidywanym wystąpieniem zwiększonego poboru), powinno być mniej kosztowne niż opóźniona ale znaczna ingerencja w sposób pracy urządzeń wykonawczych. Brak ingerencji w sposób pracy urządzeń wodociągowych można zastosować w sytuacji wystąpienia dopuszczalnej różnicy pomiędzy poborem wody a dysponowaną jej ilością, gdy przewidywane jest pozostanie tej różnicy w dopuszczalnych ustalonych granicach (np. godziny nocne, godziny pracy fabryk i zakładów). W takiej sytuacji brak ingerencji nie generuje żadnych dodatkowych kosztów.

Prognozowanie poboru wody można realizować na wiele sposobów. Najmniej kosztownym rozwiązaniem jest przypadek posiadania pełnych danych dla każdej godziny, dnia tygodnia i pory roku. Posiadanie pełnych danych wymaga jednak poświęcenia pewnego czasu na ich zebranie. Ponadto, posiadanie pełnych danych byłoby możliwe, gdyby zostały uwzględnione takie czynniki jak temperatura, wilgotność, opady, imprezy masowe, awarie, anomalie pogodowe. Zauważmy, że w początkowej fazie pracy systemu sterowania przy założeniu, że odbiorcy wykazują pewną dynamikę zmian, nie można mówić o możliwości posiadania pełnych danych. Podsumowując, zakładamy że nie jest możliwe zebranie pełnych danych, z tego powodu prognozowanie poboru wody musi być zrealizowane w inny sposób, np. z danych częściowych.

Aktualnie stosowanym w badaniach naukowych podejściem do problemu generalizacji danych (w naszym wypadku prognozowania poboru wody z danych częściowych) jest uczenie maszynowe, a dokładniej mówiąc uczenie nadzorowane i klasyfikatory. W pracy proponujemy zastosowanie naiwnego klasyfikatora bayesowskiego [3, 4].

## 2. Problem optymalnego sterowania w instalacjach pompowych

Proces projektowania nowej lub modernizacji już istniejącej instalacji pompowej wymaga określenia optymalnego układu rurociągów oraz ustalenia optymalnej liczby możliwie najlepszych pomp. Najlepsze z punktu widzenia projektanta pompy powinny charakteryzować się racjonalnymi znamionowymi parametrami pracy, najbardziej ekonomicznym sposobem regulacji oraz najmniejszym zużyciem energii elektrycznej. Wybór sposobu regulacji polega na ustaleniu jaka liczba pomp w zespole ma posiadać regulowaną prędkość obrotową, czy i w jakim zakresie wydajności ma być stosowana regulacja dławieniowa oraz jaka liczba pomp będzie pracowała jednocześnie. Istotnym jest także sposób zmian prędkości obrotowej pompy oraz uwzględnianie wpływu prędkości obrotowej na wartość sprawności pompy lub zespołu pomp [2].

Celem procesu regulacji w instalacjach pompowych jest dostosowanie parametrów pracy pompy, takich jak wydajność lub wysokość podnoszenia, do zmieniających się w czasie wymagań odbiorców wody. W zależności od rodzaju pompy stosuje się następujące typy regulacji: dławieniową, zmiennooobrotową lub polegającą na zmianie kąta ustawienia łopatek wirnika. Skokową zmianę wydajności systemu, w którym pracuje więcej niż jedna pompa uzyskuje się poprzez włączanie lub wyłączanie odpowiedniej liczby pomp. W pompowniach wodociągowych wydajność instalacji zależy od zmiennego zapotrzebowania, którego nie da się z góry dokładnie ustalić. Posiadając dostęp do danych statystycznych, można dokonać prognozowania zakresu zmienności zapotrzebowania na wodę w ciągu doby, tygodnia, miesiąca, kwartału lub roku [4].

Problem optymalnego sterowania w dużych instalacjach wodociągowych nie polega wyłącznie na minimalizacji zużycia energii w ciągu doby przez silniki napędowe zainstalowanych pomp, pracujących w różnych przedziałach czasu i z różnymi wydajnościami. Należy w taki sposób sterować pracą pomp, aby minimalizowane było całkowite chwilowe zużycie energii zużywanej przez zainstalowane pompy. Dla tak zdefiniowanej funkcji celu, w sytuacji odpowiednio zmniejszonego zapotrzebowania na wodę, korzystniejsze jest wyłączenie niektórych pomp niż praca wszystkich pomp z obniżonymi prędkościami obrotowymi. Inne możliwe do zastosowania algorytmy bieżącej regulacji wydajności obiektów pompowych pod kątem minimalizacji zużywanej energii uwzględniają zmiany sprawności w odpowiednich punktach pracy zespołów pomp, sugerując pracę z najwyższymi ich sprawnościami osiąganymi przy różnych prędkościach obrotowych danych pomp.

Praktyczne wykorzystanie metod optymalizacji pracy pomp poprzez zastosowanie odpowiednich algorytmów sterowania jest możliwe pod warunkiem wykorzystania komputerowych systemów sterowania. Konieczne jest posiadanie odpowiednich komputerowych narzędzi symulacyjnych w celu doboru odpowiedniej strategii sterowania, a docelowo wdrożenie globalnej optymalizacji pracy kilku połączonych zespołów pompowych pracujących w rozbudowanym systemie wodociągowym [5].

W pracy nie rozważamy problemu sterowania w instalacjach pompowych ze względu na fakt, że jest to problem niezależny od problemu prognozowania poboru wody. Jakkolwiek dalsze badania mogą dotyczyć problemu sterowania, a nawet połączenia rozwiązań dla obu wyżej wymienionych problemów.

### 3. Prognozowanie poboru wody z wykorzystaniem naiwnego klasyfikatora bayesowskiego

We wstępie do pracy zauważyliśmy, że jednym podejściem uzyskania wysokiej jakości sterowania przy niższych kosztach jest zastosowanie prognozowania poboru wody w celu zmniejszenia stopnia ingerencji w sposób pracy urządzeń. W pracy proponujemy zastosowanie naiwnego klasyfikatora bayesowskiego. W dalszej części artykułu przedstawiony zostanie naiwny klasyfikator bayesowski.

Naiwny klasyfikator bayesowski, pomimo prostoty i silnych założeń o niezależności warunkowej, działa bardzo dobrze, konkurencyjnie z innymi dobrze znanymi technikami indukcyjnymi takimi jak: drzewa decyzyjne i sieci neuronowe. Naiwny klasyfikator bayesowski jest często używany do problemów klasyfikacji, w których próbuje się zbudować klasyfikator z danego zbioru  $T$  przykładów uczących z etykietami klasy. Przyjmuje się, że dany jest zbiór  $n$  atrybutów  $A_1, A_2, \dots, A_n$ . Przykład (uczący lub testowy) jest reprezentowany przez wektor  $(v_1, v_2, \dots, v_n)$ , gdzie  $v_i$  jest specyficzną wartością atrybutu  $A_i$ . Dla przykładów uczących definiujemy ponadto wartość  $C_j$ , jaką przyjmuje klasa (etykieta klasy). Klasyfikator bayesowski (również naiwny klasyfikator bayesowski) klasyfikuje nową obserwację  $E$  przez wybór klasy  $C_j$  o największym prawdopodobieństwie  $P(C_j|E)$ , tak jak przedstawiono poniżej:

$$P(C_j|E) = \frac{P(C_j)P(E|C_j)}{P(E)} \quad (1)$$

$P(E)$  jest ignorowane w przypadku, gdyż jest takie samo dla każdej klasy i nie wpływa na wartości relatywne tych prawdopodobieństw:

$$P(C_j|E) \propto P(C_j)P(E|C_j) \quad (2)$$

Ponieważ  $E$  jest kompozycją  $n$  wartości, możemy rozbić to wyrażenie:

$$P(C_j|v_1, v_2, \dots, v_n) \propto P(C_j)P(v_1, v_2, \dots, v_n|C_j) \quad (3)$$

Gdzie  $P(v_1, v_2, \dots, v_n|C_j)$  jest prawdopodobieństwem wystąpienia przykładu  $E$  pod warunkiem przynależności do klasy  $C_j$ ;  $P(C_j)$  jest prawdopodobieństwem a priori klasy  $C_j$ .

Naiwny klasyfikator bayesowski zakłada, że atrybuty są niezależne warunkowo od podanych wartości klasy, co daje:

$$P(C_j|v_1, v_2, \dots, v_n) \propto P(C_j)\prod P(v_i|C_j) \quad (4)$$

$P(v_i|C_j)$  jest prawdopodobieństwem, że instancja klasy  $C_j$  ma wartość atrybutu  $A_i$  równą  $v_i$ . Prawdopodobieństwa w powyższym wzorze muszą być oszacowane z przykładów uczących, na przykład używając częstotliwości względnej:

$$P(C_j) = \frac{n_j}{n} \quad P(v_i|C_j) = \frac{n_{ij}}{n_j} \quad (5)$$

Gdzie  $n$  jest liczbą przykładów uczących,  $n_j$  jest liczbą przykładów uczących z etykietą klasy  $C_j$ ,  $n_{ij}$  jest liczbą przykładów uczących, w których atrybut  $A_i$  ma wartość  $v_i$  i etykietą klasy jest  $C_j$ .

W celu zastosowania klasyfikatora do prognozowania poboru wody należy przede wszystkim ustalić, jakiego rodzaju atrybuty będą brane pod uwagę i jakie będą ich wartości. Ze względu na specyfikę problemu, gdzie wielkość zużycia wody przez odbiorców podlega pewnym prawidłowościom obserwowanym w odpowiednich godzinach, dniach tygodnia, porach roku oraz jest zależna od typu odbiorcy, proponujemy użycie następujących atrybutów:

- godzina (zbiór wartości to pełne godziny),
- dzień tygodnia (roboczy, sobota, niedziela, święto),
- pora roku (wiosna, lato, jesień, zima).

Ze względu na fakt, że konieczne może być oszacowanie wielkości zużycia wody zanim dokonamy zebrania danych historycznych, można dokonać tego dla każdego typu odbiorcy oddzielnie (firmy, użytkownicy prywatni, działkowicze itp.), a następnie wykonać agregację tych szacunkowych danych. Po zebraniu rzeczywistych danych, dane szacunkowe mogą pozostać w zbiorze danych uczących lub można je usunąć po pewnym czasie.

Kolejnym istotnym aspektem problemu prognozowania poboru wody jest możliwość wystąpienia zmian w zapotrzebowaniu na wodę, nie będących krótkookresowymi zaburzeniami lecz zmianami długookresowymi. Przyczyną tego typu zmian może być awaria, której usuwanie trwa znaczny okres czasu, zmiana liczby osób zamieszkujących dany teren wynikająca z wybudowania i zasiedlenia nowych budynków czy też wybudowanie nowych zakładów produkcyjnych. Tego typu zmiany długookresowe mogą być skokowe (zachodzące w ciągu kilku dni) lub trwające dłuższy okres czasu (kilka tygodni lub miesięcy). W celu uwzględnienia w klasyfikatorze tego typu zmian proponujemy rozszerzenie klasyfikatora o element adaptacyjny, który zwiększy istotność zebranych danych dotyczących poboru wody z okresu poprzedzającego moment prognozowania wody. Istotność danych będziemy modelowali za pomocą wag, których wartość będzie rosła liniowo lub wykładniczo.

## 4. Eksperyment badawczy

Celem eksperymentu jest zweryfikowanie użyteczności naiwnego klasyfikatora bayesowskiego dla problemu prognozowania wody. Rozpatrujemy problem opisany w rozdziale 3: dane są szacunkowe wielkości zużycia wody oraz zbierane są dane rzeczywiste. Dane szacunkowe zostały przyjęte w oparciu o Rozporządzenie ministra infrastruktury dotyczące określenia przeciętnych norm zużycia wody [6]. W eksperymencie badawczym ograniczono się do problemu prognozowania poboru wody dla wybranej godziny (8 rano) przez okres 20 tygodni (5 miesięcy letnio-jesiennych) i następujących atrybutów:

- dzień tygodnia (roboczy, wolny),
- temperatura (ciepło, zimno).

Przyjęto następujące dane szacunkowe poboru wody:

- Dobowe zużycie wody w budownictwie wielorodzinnym - 160 litrów/ mieszkańca (niezależnie od dnia tygodnia); w godz. 8.00-9.00 zużycie wynosi 4,95% dobowego zużycia w budownictwie wielorodzinnym.
- Dobowe zużycie wody w budownictwie jednorodinnym - 100 litrów/ mieszkańca (niezależnie od dnia tygodnia); w godz. 8.00-9.00 zużycie wynosi 4,45% dobowego zużycia wody w budownictwie jednorodinnym.
- Dobowe zużycie wody przez instytucje i urzędy - 15 litrów mieszkańca (w dni robocze); w godz. 8.00-9.00 zużycie wynosi 3,0% dobowego zużycia wody w urzędach.
- Dobowe zużycie wody na utrzymanie zieleni miejskiej - 5 litrów mieszkańca (w okresie o wysokich temperaturach); w godz. 8.00-9.00 zużycie wynosi 12,5% dobowego zużycia wody w urzędach.

W oparciu o ww. dane szacunkowe zdefiniowano w pracy następujące wartości poboru wody w godz. 8.00-9.00 dla możliwych kombinacji wartości atrybutów „dzień tygodnia” i „temperatura”:

Tab. 1. Dane szacunkowe poboru wody

Tab.1. Estimates of water consumption

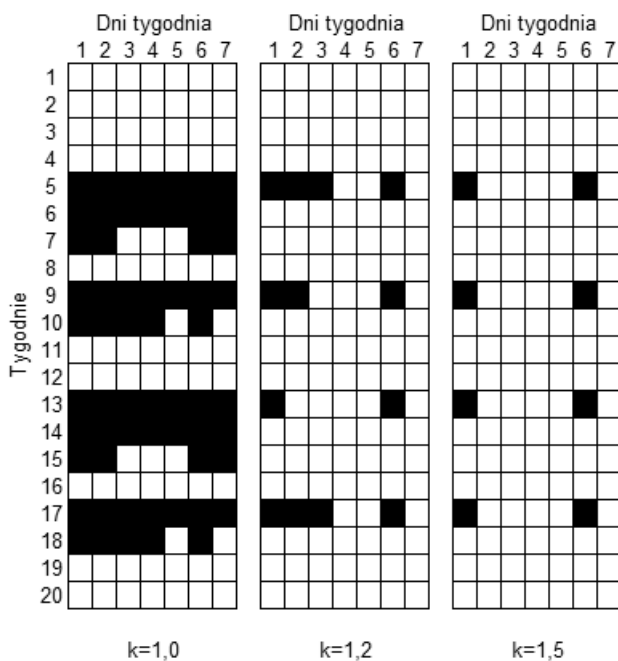
Dzień tygodnia	Temperatura	Szacunkowe zużycie wody [litry/mieszk.]
roboczy	zimno	$160 \cdot 4,95\% + 100 \cdot 4,45\% + 15 \cdot 3\% = 12,82$
roboczy	ciepło	$160 \cdot 4,95\% + 100 \cdot 4,45\% + 15 \cdot 3\% + 5 \cdot 12,5\% = 13,45$
wolny	zimno	$160 \cdot 4,95\% + 100 \cdot 4,45\% = 12,37$
wolny	ciepło	$160 \cdot 4,95\% + 100 \cdot 4,45\% + 5 \cdot 12,5\% = 13,00$

Scenariusz eksperymentu zakładał uzupełnianie danych szacunkowych o sztucznie wygenerowane dane za okres 20 tygodni, które to dane zawierały zmiany długookresowe (4 tygodniowe), odbiegającego od danych szacunkowych, wprowadzone na początku 5 i 13 tygodnia. Zmiany te trwały 4 tygodnie, po którym to okresie nastąpił powrót do zużycia wody zgodny z danymi szacunkowymi. Pobór wody zdefiniowano następująco:

- 1 – 4 tydzień: przez pierwsze dwa tygodnie panował okres „zimny”, po którym nastąpił okres ciepły; zamodelowane zużycie wody było równe zużyciu szacunkowemu.
- 5 – 8 tydzień: zamodelowano awarię systemów podlewania zieleni miejskiej w okresie o wysokiej temperaturze; zamodelowane zużycie wody, pomimo okresu ciepłego, było równe szacunkowemu zużyciu za okres „zimny”.
- 9 – 12 tydzień: zamodelowano usunięcie awarii systemów podlewania zieleni miejskiej w okresie o wysokiej temperaturze; zamodelowane zużycie wody było równe szacunkowemu zużyciu za okres „ciepły”.
- 13 – 16 tydzień: zamodelowano utrzymanie podlewania zieleni miejskiej w okresie o niskiej temperaturze; zamodelowane zużycie wody było równe szacunkowemu zużyciu za okres „zimny”.

- 17 – 20 tydzień: zamodelowano zaniechanie podlewania zieleni miejskiej w okresie o niskiej temperaturze; zamodelowane zużycie wody było równe szacunkowemu zużyciu za okres „zimny”.

Tak zdefiniowany scenariusz zmian zużycia wody miał na celu zbadanie, po jakim czasie prognozy poboru wody (wyniki generowane przez naiwny klasyfikator bayesowski) będą poprawne. Postawiona hipoteza badawcza mówi, że klasyfikator rozszerzony o element adaptacyjny, który zwiększy istotność zebranych danych dotyczących poboru wody z okresu poprzedzającego moment prognozowania wody powinien generować poprawne rezultaty po krótszym okresie czasu niż standardowy klasyfikator, w którym dane historyczne stanowią jedynie zbiór, bez zróżnicowania tych danych ze względu na moment czasu ich pojawienia się w bazie danych.



Rys. 1. Wyniki eksperymentu badawczego

Fig. 1. Results of the experiment

Na rys. 1 przedstawiono wyniki eksperymentu badawczego dla standardowego naiwnego klasyfikatora bayesowskiego ( $k=1,0$ ) oraz dwóch wersji adaptacyjnych tego klasyfikatora ( $k=1,2$  i  $k=1,5$ ). Współczynnik  $k$  jest użyty w celu zwiększenia istotności zebranych danych dotyczących poboru wody z okresu poprzedzającego moment prognozowania wody: obserwacje dotyczące poboru wody mnożone są przez wagę równą wadze z dnia poprzedniego pomnożonej przez wartość  $k$ . Dla  $k = 1$ , wszystkie obserwacje są równie istotne. Dla  $k > 1$  obserwacje z okresu poprzedzającego moment prognozowania są bardziej istotne od starszych obserwacji. Dla wartości  $k > 1,5$  działanie klasyfikatora

jest równoważne wyznaczeniu prognozy w oparciu o najmniej odległą w czasie obserwację poboru wody, zgodną z charakterystyką dnia, dla którego należy wyznaczyć prognozę poboru wody.

Przypomnijmy, że w rozważanym scenariuszu wprowadzamy długookresowe zmiany w modelowanym zużyciu wody w pierwszym dniu w tygodniach: 5, 9, 13 i 17. Poprawna prognoza klasyfikatora została zaznaczona kolorem białym, błędna prognoza została zaznaczona kolorem czarnym.

Najmniej błędnych prognoz zaobserwowano dla klasyfikatora ze współczynnikiem  $k=1,5$ , który dla każdej zmiany trendu generował tylko jedną błędną prognozę dla pierwszego dnia roboczego i pierwszego dnia wolnego (1 i 6 dzień tygodnia). Klasyfikator scharakteryzowany wartością współczynnika  $k=1,2$  podawał błędne prognozy przez sumarycznie dłuższy okres czasu, w porównaniu z klasyfikatorem dla  $k=1,5$ , ale znacznie krócej niż klasyfikator z wartością parametru  $k=1$ .

## 5. Podsumowanie

Inteligentne systemy sterowania okazują się konieczne praktycznie w każdym złożonym systemie technologiczny. Liczba kryteriów oceny skuteczności tego typu systemów sterowania jest różna, jednak w znacznej większości przypadków jest to problem wielokryterialny. Dlatego tak ważne jest efektywne działanie tych systemów pod każdym względem. Jednym z kryteriów jest wysoka jakość sterowania. W pracy wskazaliśmy, że uzyskanie wysokiej jakości sterowania w systemach dystrybucji wody wymaga ponoszenia wysokich kosztów związanych np. z częstą ingerencją w sposób pracy urządzeń wykonawczych. Jednym z podejść uzyskania wysokiej jakości sterowania przy niższych kosztach jest zastosowanie prognozowania poboru wody w celu zmniejszenia stopnia ingerencji w sposób pracy urządzeń [4].

W pracy zaproponowaliśmy użycie naiwnego klasyfikatora bayesowskiego do problemu prognozowania poboru wody. Przeprowadzony eksperyment obliczeniowy potwierdził zasadność i skuteczność użycia tego klasyfikatora. Scenariusz eksperymentu wykazał, że rozszerzenie adaptacyjne klasyfikatora pozwala uzyskać poprawne rezultaty znacznie szybciej niż klasyfikator standardowy, czego spodziewaliśmy się planując eksperyment. W szczególnym wypadku adaptacyjne rozszerzenie klasyfikatora pozwala uzyskać poprawne wyniki z jednodniowym opóźnieniem.

Dalsze prace badawcze przewidują weryfikację skuteczności działania adaptacyjnych rozszerzeń naiwnego klasyfikatora bayesowskiego dla problemów o większej złożoności. W zrealizowanym eksperymencie ograniczyliśmy się bowiem do dwóch atrybutów, które przyjmują jedynie dwie różne wartości oraz czterech decyzji. Rzeczywiste problemy opisywane są liczniejszym zbiorem atrybutów, a zmiany zachodzą nieregularnie i trwają różny okres czasu. W konsekwencji dobranie parametrów adaptacyjnego rozszerzenia klasyfikatora będzie problemem trudniejszym i wymagać będzie przeprowadzenia złożonych eksperymentów badawczych.



## Bibliografia

- [1] Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityk wodnej. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:05:32000L0060:PL:PDF> (dostęp: 01.03.2014)
- [2] Jędrał, W. Efektywność energetyczna pomp i instalacji pompowych, *Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A.*, Warszawa 2007
- [3] Łukaszewski, T., Józefowska, J., Ławrynowicz, A., Józefowski, Ł. Handling the description noise using an attribute value ontology, *Control and Cybernetics*, 40(2)/2011, (275-292)
- [4] Łukaszewski, T., Nowak, M. Inteligentne systemy sterowania w inżynierii środowiska z wykorzystaniem predykcji bazującej na klasyfikatorze Bayesowskim, w: *Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód*, Zbysław Dymaczewski, Joanna Jeż-Walkowiak (red.), Wyd. PZiTS Oddział Wielkopolski, Poznań, Polska 2012 r., (259-266 Tom I)
- [5] Nowak, M. Nowe rozwiązania systemów sterowania, monitorowania i wizualizacji w gospodarce wodno-ściekowej, w: *Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód*, Zbysław Dymaczewski, Joanna Jeż-Walkowiak (red.), Wyd. PZiTS Oddział Wielkopolski, Poznań, Polska 2012 r., (339-357 Tom I)
- [6] Rozporządzenie ministra infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody (Dz. U. 2002 nr 8 poz. 70). <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20020080070> (dostęp: 01.03.2014)

