

Wojciech Cieżak, Zbigniew Siwoń, Jan Cieżak

Modelowanie poboru wody w osiedlach mieszkaniowych

Podczas kalibracji komputerowych modeli przepływu wody w systemach dystrybucji oraz w analizie symulacyjnej działania tych systemów bardzo złożonym zadaniem jest określenie dobowego profilu poboru wody w węźle. Rozwiązanie tego problemu jest trudne, przede wszystkim z uwagi na [1]:

- złożony, deterministyczno-losowy, charakter procesu zużycia wody wodociągowej,
- nierównomierność poboru wody zarówno w czasie, jak i w przestrzeni,
- wpływ warunków ciśnieniowych panujących w sieci rozdzielczej i instalacjach wodociągowych na pobór wody.

W praktyce, szczególnie w warunkach obserwowanej w Polsce tendencji spadkowej poboru wody, niewłaściwe określenie dobowych profili węzłowych poborów wody staje się jedną z najważniejszych przyczyn błędów, zarówno w procesie kalibracji modeli, jak i w rezultacie symulacji działania systemu dystrybucji wody [1,2]. Z tego względu pomiary poboru wody przez wybranych odbiorców (grupy odbiorców) oraz właściwa analiza wyników tych pomiarów, umożliwiająca wyznaczenie oddzielnych histogramów chwilowego (najczęściej uśrednianych w przedziałach 15-min., 30-min. lub 60-min.) poboru wody w czasie doby przez określone grupy odbiorców, stanowią jeden z zasadniczych elementów zarówno procesów kalibracji i weryfikacji modelu, jak i dynamicznego modelowania przepływu wody w systemach dystrybucji na potrzeby bieżącej eksploatacji systemów oraz programowania ich modernizacji i rozbudowy. Do modelowania i prognozowania histogramów chwilowego poboru wody przez wszystkich jej odbiorców oraz przez ich określone grupy powinny być wykorzystywane stochastyczne modele procesu poboru wody z miejskich sieci wodociągowych, bazujące na statystycznych szeregach czasowych wyników pomiarów.

W obecnie stosowanych w praktyce modelach stochastycznych danymi wyjściowymi do analiz i prognoz są wyłącznie zbiory chronologicznie uszeregowanych obserwacji poboru wody (w całym systemie wodociągowym, w wydzielonym rejonie sieci wodociągowej lub przez grupę określonych odbiorców wody, np. w osiedlach mieszkaniowych) w przeszłości oraz obserwacja bieżąca stanowiąca predyktor, zatem nie są potrzebne informacje dotyczące zmiennych zewnętrznych.

Do opisu i bieżącego prognozowania wartości i zmienności w czasie poboru wody z sieci wodociągowej najczęściej stosowane są modele klasy ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average Model – skalkowany model autoregresji i średniej ruchomej) oraz metody wykładniczego wygładzania

szeregów czasowych. Alternatywą dla tych metod są sztuczne sieci neuronowe [3,4]. Wyniki praktycznej weryfikacji tych trzech grup metod wykazały, że w modelowaniu i prognozowaniu szybkozmiennych szeregów czasowych krótkotrwałych (uśrednionych w przedziałach czasu równych lub mniejszych niż 1 h) poborów wody, przydatność metod wykładniczego wygładzania szeregów czasowych jest bardzo ograniczona, dlatego w praktyce w dynamicznym modelowaniu przepływu w systemach dystrybucji wody mogą być wykorzystywane modele ARIMA i sztuczne sieci neuronowe [5–11]. Te ostatnie są stosunkowo nowym narzędziem, które może być wykorzystane do opisu i prognozowania szeregów czasowych poboru wody. Rozwój teorii tych sieci i związanych z nimi zastosowań jest obserwowany na świecie w ostatnich kilkunastu latach, tj. od czasu, gdy została opracowana metoda uczenia sieci wielowarstwowej, określana jako metoda wstecznej propagacji błędu. Jedną z zalet sieci neuronowych jest łatwość ich adaptacji do zmiennych warunków środowiska. Cecha ta predestynuje je do opisu zależności i systemów zmieniających się w czasie. Nieustanna ewolucja zmian dynamiki poboru wody oraz wpływ warunków zewnętrznych znacząco utrudniają stosowanie wszelkich metod obliczeniowych opartych na koncepcji modelu stacjonarnego. Tymczasem w przypadku sieci neuronowej zmiany zachodzące w modelowanym obiekcie nie stanowią zwykle przeszkody. W chwili pojawienia się nowych danych przeprowadzony może zostać zawsze proces douczenia sieci (lub uczenia od nowa), co umożliwia uwzględnienie w tworzonej modelu informacji zawartych także w najnowszych obserwacjach.

Znanych jest wiele typów i rodzajów sieci neuronowych, różniących się między sobą strukturą i działaniem. Obecnie najpopularniejszym i najlepiej opisanym teoretycznie modelem jest perceptron wielowarstwowy, składający się z trzech lub więcej warstw (wejściowej, ukrytych i wyjściowej) oraz zawartych w nich neuronów. W sieci perceptronowej każdy z neuronów oblicza ważoną sumę swoich wejść, a wyznaczony w ten sposób poziom pobudzenia staje się argumentem funkcji aktywacji (najczęściej jest to funkcja liniowa lub hiperboliczna), za pomocą której jest obliczana wartość wyjściowa neuronu. Następnie w każdej warstwie należy dobrać wartości wag i wartości progowe (bias) wszystkich neuronów. Proces ten jest realizowany za pomocą algorytmu uczenia. Najczęściej stosowanymi algorytmami uczenia są wsteczna propagacja błędów, gradienty sprzężone, Quasi-Newtona (BFGS), Levenberga-Marquardta oraz Delta-bar-delta. Proces uczenia (doboru wag do poszczególnych neuronów) jest ważnym zadaniem, ponieważ od niego zależy w znacznej mierze, czy wyznaczony model będzie dobrze opisywał wartości przyszłe (nieznane mu). Na obecnym etapie rozwoju teorii sztucznych sieci neuronowych proces ten nie jest sformalizowany, bowiem nie ma jednoznacznej metody optymalnego doboru

zarówno liczby warstw, neuronów, jak i wag oraz progów w taki sposób, aby zapewnić minimalizację błędu działania sieci. Należy przeprowadzić szereg eksperymentów, uwzględniając różne wartości parametrów i wybrać na ich podstawie model optymalny. W analizie zaprezentowanej w artykule zostały wykorzystane sieci perceptronowe.

Analiza i predykcja szeregów czasowych obserwacji krótkotrwałego poboru wody

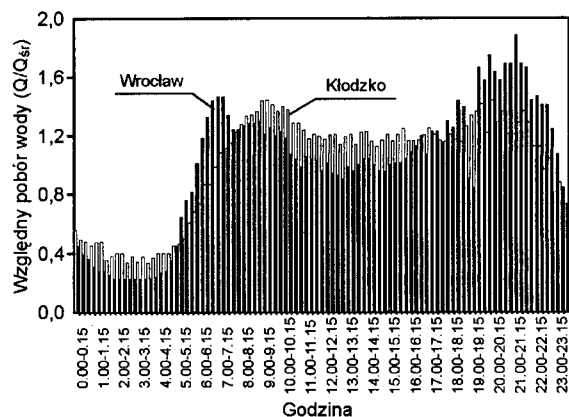
Do zilustrowania metodyki modelowania i prognozowania przy użyciu sieci neuronowych dobowych histogramów chwilowego poboru wody przez określone grupy odbiorców wykorzystano zbiory wyników pomiarów zużycia wody w osiedlach mieszkaniowych, zaopatrywanych z wydzielonych rejonów sieci wodociągowej we Wrocławiu i Kłodzku. Osiedla te charakteryzuje zasadniczo odmienna liczba mieszkańców.

Wydzielona strefa sieci wodociągowej we Wrocławiu, z której zaopatrywanych jest w wodę ok. 100 tys. mieszkańców osiedli Nowy Dwór, Kozanów, Gądów i Muchobór Mały (w przeważającej większości z budynkami 11-kondygnacyjnymi) z kompletem usług, jest zasilana z jednego źródła (pompownia strefowa przy ul. Bystrzyckiej), a woda jest tłoczona dwoma rurociągami, na których są zamontowane przepływomierze elektromagnetyczne z ciągłą rejestracją wskazań.

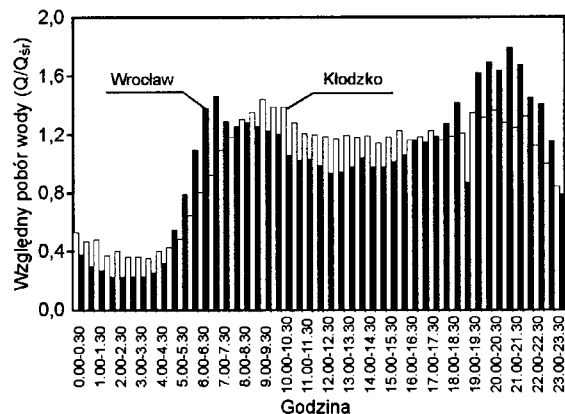
Wydzielony rejon sieci wodociągowej w Kłodzku obejmuje osiedle im. Leona Kruczkowskiego o zabudowie wielorodzinnej z budynkami 5- i 11-kondygnacyjnymi oraz osiedle z zabudową jednorodzinną w rejonie ulic Św. Wojciecha, Korytowskiej, Zajączkowej, Noworudzkiej, M. Kromera, J. Długosza i Objazdowej, zwyczajowo nazywane Osiedlem Św. Wojciecha. Łączna liczba mieszkańców tych osiedli wynosi około 10 tys. Źródłem zasilania sieci jest pompownia przy ul. Dusznickiej. Pomiary całkowitego poboru wody przez wszystkich odbiorców na terenie osiedli dokonywane są za pomocą przepływomierza elektromagnetycznego oraz wodomierza, z ciągłymi rejestracjami wskazań.

W analizach ilustrujących metodykę modelowania i prognozowania dobowych histogramów chwilowego poboru wody wykorzystano chronologicznie uszeregowane wyniki pomiarów godzinowego (uśrednionego w przedziałach 60-min.) zużycia wody w wydzielonych rejonach sieci wodociągowej w okresach od 25-04-2001 do 15-10-2001 we Wrocławiu i od 01-06-2006 do 11-02-2007 w Kłodzku. Każdy szereg czasowy poddano analizom mającym na celu wyeliminowanie tzw. błędów grubych, spowodowanych awariami w systemie dystrybucji wody oraz w układach pomiarowych. Na rysunkach 1–3 podano przykładowe histogramy względnych wartości chwilowych (uśrednionych w przedziałach 15-min., 30-min. i 60-min.) poboru wody w obu analizowanych rejonach sieci wodociągowej.

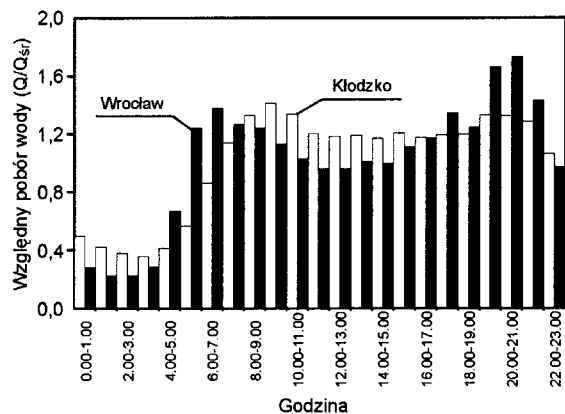
Zbiory wyników pomiarów godzinowego poboru wody podzielono na szeregi czasowe zawierające odpowiednio zbiory obserwacji z dni roboczych, sobót oraz dni wolnych od pracy (niedziele i święta) w czasie od 25-04-2001 do 16-09-2001 (wydzielony rejon sieci wodociągowej we Wrocławiu) oraz od 01-06-2006 do 31-12-2006 (wydzielony rejon sieci wodociągowej w Kłodzku). Przedziały czasu od 17-09-2001 do 15-10-2001 (wydzielony rejon sieci wodociągowej we Wrocławiu) oraz od 01-01-2007 do 11-02-2007 (wydzielony rejon sieci wodociągowej w Kłodzku) zostały wyodrębnione w celu sprawdzenia jakości prognoz generowanych przez wybrane optymalne modele prognostyczne.



Rys. 1. Dobowe histogramy piętnastominutowego poboru wody w wydzielonych rejonach sieci wodociągowej we Wrocławiu i Kłodzku



Rys. 2. Dobowe histogramy półgodzinnego poboru wody w wydzielonych rejonach sieci wodociągowej we Wrocławiu i Kłodzku



Rys. 3. Dobowe histogramy godzinowego poboru wody w wydzielonych rejonach sieci wodociągowej we Wrocławiu i Kłodzku

Wyniki analiz szeregów czasowych godzinowego poboru wody z wydzielonego rejonu sieci wodociągowej we Wrocławiu

Wybrane wyniki analiz szeregów czasowych wartości chwilowych poborów wody z wydzielonego rejonu sieci wodociągowej we Wrocławiu zostały zaprezentowane w pracy [6]. W niniejszym artykule omówiono szczegółowo wyniki analiz zbioru obserwacji dotyczących godzinowego poboru wody. Przeprowadzono badania mające na celu określenie:

- opóźnień (5 d, 10 d i 15 d),
- liczby warstw ukrytych (1 lub 2 warstwy),
- liczby neuronów w poszczególnych warstwach ukrytych (1+25 neuronów).

Tabela 1. Wyniki analiz wyboru optymalnych struktur sieci perceptronowych, w przypadku szeregu czasowego godzinowego poboru wody, przyjętych do generowania prognoz (wydzielony rejon sieci wodociągowej we Wrocławiu)

Dzień	Struktura modelu	Średni pobór wody m^3/h	Bezwzględny średniokwadratowy błąd modelu m^3/h	Względny średniokwadratowy błąd modelu %	Współczynnik korelacji
Roboczy	metoda uczenia: I etap – Quasi-Newtona, 700 epok, II etap – gradienty sprzężone, 700 epok				
	MLP s120 1:120-9-1:1	447,59	25,68	5,74	0,9896
Sobota	metoda uczenia: Quasi-Newtona, 600 epok				
	MLP s60 1:60-6-1:1	505,03	25,59	5,07	0,9933
Niedziela (święto)	metoda uczenia: Quasi-Newtona, 700 epok				
	MLP s120 1:120-9-1:1	463,30	33,03	7,13	0,9893

Tabela 2. Analiza jakości prognozy wg optymalnej sieci perceptronowej (wydzielony rejon sieci wodociągowej we Wrocławiu, horyzont prognozy równy 1 d)

Dzień tygodnia	Data	Średni pobór wody m^3/h	Bezwzględny średniokwadratowy błąd prognozy m^3/h	Względny średniokwadratowy błąd prognozy %
Poniedziałek	08-10-2001	539,06	37,01	6,86
Wtorek	09-10-2001	519,17	37,84	7,29
Środa	10-10-2001	509,10	37,90	7,44
Czwartek	11-10-2001	498,31	29,93	6,01
Piątek	12-10-2001	514,94	46,48	9,03
Sobota	13-10-2001	636,64	66,17	10,39
Niedziela	14-10-2001	569,41	37,65	6,61

W analizach zastosowano następujące funkcje aktywacji: w warstwach wejściowej i wyjściowej – liniową, natomiast w warstwach ukrytych – hiperboliczną. Wybór zbiorów, tj. uczącego (50% obserwacji) oraz walidacyjnego i testowego (odpowiednio po 25% obserwacji), został przeprowadzony w taki sposób, aby zapewnić w każdym z nich dane z całego zakresu analizowanego szeregu czasowego poboru wody. Przed podaniem na wejście sieci zmienne zostały przekształcane za pomocą metody minimax – wartości przeskalowano liniowo tak, że najmniejsza wartość ze zbioru uczącego przyjęła wartość 0, a największa 1.

Po przeprowadzeniu analiz, w przypadku każdego szeregu wybrano po jednej strukturze sieci perceptronowej, wykazującej wstępnie najmniejsze względne średniokwadratowe błędy modelu. Modele charakteryzujące się najmniejszymi względnymi średniokwadratowymi błędami poddano dokładnej analizie, aby zminimalizować błędy prognoz. W tym celu zastosowano:

- jedno- lub dwuetapowy proces uczenia z zastosowaniem różnych metod uczenia, m.in. wsteczną propagację błędu, gradienty sprzężone, Quasi-Newtona (BFGS),

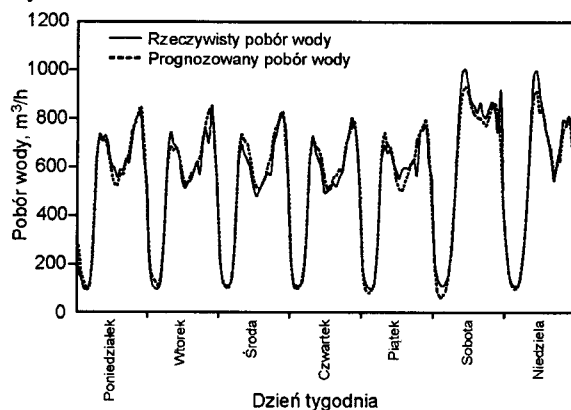
- redukcję wag metodą Weigenda w celu uniknięcia przeuczenia sieci,

- różną liczbę epok (od 50 do 2000) oraz powtórnie przeanalizowano wartości opóźnień czasowych,

- funkcję aktywacji: w warstwach wejściowej i wyjściowej – liniową, w warstwie ukrytej – hiperboliczną.

Rezultatem analiz było uzyskanie struktur sieci perceptronowych wykazujących najmniejsze średniokwadratowe błędy w modelowaniu i prognozowaniu dobowych profili godzinowego poboru wody. W tabeli 1 zestawiono przykładowe struktury optymalnych sieci, a także metody ich uczenia i błędy średniokwadratowe.

Przykładem praktycznej skuteczności prognozowania przy wykorzystaniu wielowarstwowych perceptronowych sieci neuronowych są wyniki analiz zamieszczone w tabeli 2 oraz na rysunku 4.



Rys. 4. Rzeczywisty i prognozowany wg optymalnej sieci perceptronowej godzinowy pobór wody w czasie od 08-10-2001 do 14-10-2001 w wydzielonym rejonie sieci wodociągowej we Wrocławiu (horyzont prognozy równy 1 d)

Wyniki analiz wskazują na względnie dobrą jakość predykcji, porównywalną lub lepszą od jakości predykcji wg modeli klasy ARIMA i metod wykładniczego wygładzania szeregów czasowych omówionych w pracach [8,9,11]. Dowodzą one także, że w procedurach doboru optymalnych sieci perceptronowych można ograniczyć:

- opóźnienie: do 5 d tego samego typu (dni robocze, soboty lub niedziele i święta),

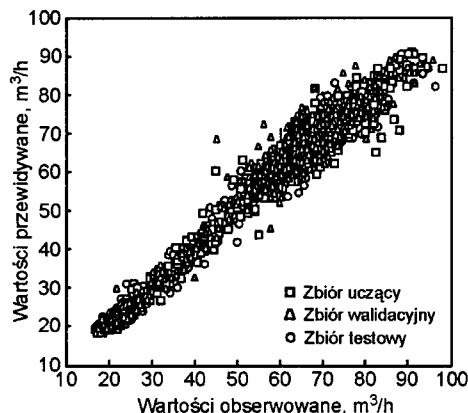
- liczbę warstw ukrytych: do 1,

- liczbę neuronów w warstwie ukrytej: do 15.

Wniosek ten został uwzględniony w analizach zaprezentowanych w dalszej części artykułu.

Wyniki analiz szeregów czasowych godzinowego poboru wody z wydzielonego rejonu sieci wodociągowej w Kłodzku

W badaniach wykorzystano jednoetapowy proces uczenia (Quasi-Newtona – BFGS) oraz zastosowano różne funkcje aktywacji w warstwach wejściowej i wyjściowej (liniową, logistyczną, tg hip, wykładniczą i sinusoidalną). Zbiory: uczący, testowy i walidacyjny obejmowały odpowiednio 50%, 25% i 25% ogólnej liczby obserwacji. Przed podaniem na wejście sieci zmienne zostały przekonwertowane za pomocą metody



Rys. 5. Struktura optymalnej sieci perceptronowej wraz z analizą jakościową modelu prognostycznego (godzinowy pobór wody w dniach roboczych w czasie od 01-06-2006 do 31-12-2006; wydzielony rejon sieci wodociągowej w Kłodzku)

minimax. Po przeprowadzeniu analiz w przypadku każdego szeregu uzyskano struktury sieci perceptronowych wykazujące najmniejsze średniokwadratowe błędy w modelowaniu i prognozowaniu. W tabeli 3 zestawiono przykładowe struktury optymalnych sieci, a także metody ich uczenia i błędy średniokwadratowe, a przykładowy schemat optymalnej sieci neuronowej oraz analizę jakościową modelu prognostycznego pokazano na rysunku 5. Praktyczną skuteczność modelowania i prognozowania przy wykorzystaniu perceptronowych sieci neuronowych ilustrują wyniki analiz zamieszczone w tabelach 4 i 5 oraz na rysunku 6.

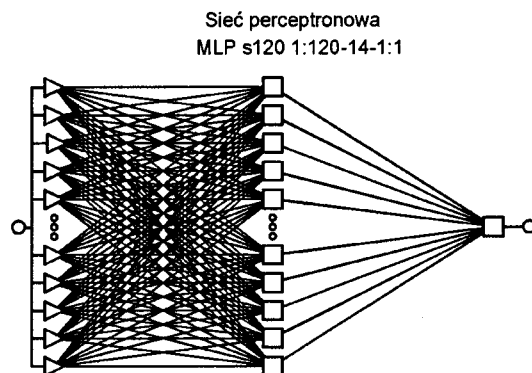


Tabela 3. Wyniki analiz wyboru optymalnych struktur sieci perceptronowych, w przypadku szeregu czasowego godzinowego poboru wody, przyjętych do generowania prognoz (wydzielony rejon sieci wodociągowej w Kłodzku)

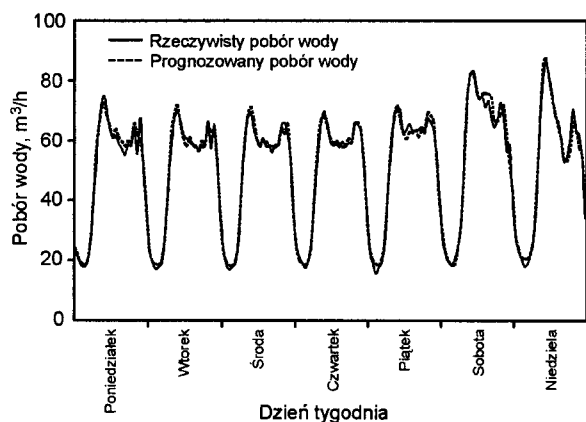
Dzień	Struktura modelu	Średni pobór wody m^3/h	Bezwzględny średniokwadratowy błąd modelu m^3/h	Względny średniokwadratowy błąd modelu %	Współczynnik korelacji
Roboczy	metoda uczenia: Quasi-Newtona (BFGS), 37 epok				
	MLP s120 1:120-14-1:1	55,08	2,91	5,29	0,9888
Sobota	metoda uczenia: Quasi-Newtona (BFGS), 54 epoki				
	MLP s60 1:60-13-1:1	58,73	3,04	5,18	0,9907
Niedziela (święto)	metoda uczenia: Quasi-Newtona (BFGS), 38 epok				
	MLP s120 1:120-11-1:1	51,86	3,53	6,80	0,9854

Tabela 4. Statystyki wartości godzinowego poboru wody

Podzbiór danych	Uczenie	Walidacja	Test	Wszystkie
dni robocze – MLP s120 1:120-14-1:1				
Średnia, m^3/h	55,03	54,71	55,24	55,00
Odchylenie standardowe, m^3/h	19,81	19,93	20,05	19,90
Współczynnik korelacji	0,9909	0,9868	0,9886	0,9888
soboty – MLP s60 1:60-13-1:1				
Średnia, m^3/h	58,51	57,87	59,35	58,54
Odchylenie standardowe, m^3/h	23,06	22,64	24,06	23,16
Współczynnik korelacji	0,9931	0,9893	0,9898	0,9907
niedziele i święta – MLP s120 1:120-11-1:1				
Średnia, m^3/h	52,64	51,97	51,44	52,20
Odchylenie standardowe, m^3/h	21,45	21,36	21,10	21,33
Współczynnik korelacji	0,9899	0,9800	0,9863	0,9854

Tabela 5. Analiza jakości prognozy wg optymalnej sieci perceptronowej (wydzielony rejon sieci wodociągowej w Kłodzku, horyzont prognozy równy 1 d)

Dzień tygodnia	Data	Średni pobór wody m^3/h	Bezwzględny średniokwadratowy błąd prognozy m^3/h	Względny średniokwadratowy błąd prognozy %
Poniedziałek	05-02-2007	49,77	2,72	5,47
Wtorek	06-02-2007	49,10	1,97	4,02
Środa	07-02-2007	49,19	1,67	3,40
Czwartek	08-02-2007	49,47	1,37	2,77
Piątek	09-02-2007	51,47	2,20	4,28
Sobota	10-02-2007	55,15	2,97	5,39
Niedziela	11-02-2007	51,55	2,48	4,82



Rys. 6. Rzeczywisty i prognozowany wg optymalnej sieci perceptronowej godzinowy pobór wody w czasie od 05-02-2007 do 11-02-2007 w wydzielonym rejonie sieci wodociągowej w Kłodzku (horyzont prognozy równy 1 d)

Podsumowanie

Zaprezentowana w pracy analiza skuteczności sztucznych sieci neuronowych w bieżącym prognozowaniu dobowych profili godzinowego poboru wody w osiedlach mieszkaniowych wskazuje na względnie dobrą jakość predykcji, porównywalną lub lepszą od jakości predykcji wg modeli klasy ARIMA i metod wykładniczego wygładzania szeregów czasowych.

Optymalne struktury sieci perceptronowych nie są skomplikowane, przez co proces ich douczania lub uczenia od nowa nie wymaga długotrwałych obliczeń. W procedurach doboru tych struktur można ograniczyć:

- opóźnienie: do 5 d tego samego typu (dni robocze, soboty oraz niedziele i święta),
- liczbę warstw ukrytych: do 1,
- liczbę neuronów w warstwie ukrytej: do 15.

Sieci neuronowe mogą być wykorzystywane między innymi w procesach kalibracji modeli przepływu wody w systemach wodociągowych oraz w komputerowych badaniach symulacyjnych działania tych systemów.

Doboru optymalnych struktur sieci można dokonać w oparciu o pakiety „Sieci neuronowe” programu STATISTICA (wersje od 6 do 8).

LITERATURA

1. Z. SIWOŃ: Symulacyjne modele przepływów w systemach dystrybucji wody – problemy kalibracji i weryfikacji modeli. Mat. konf. „GIS, modelowanie i monitoring w zarządzaniu systemami wodociagowymi i kanalizacyjnymi”, Warszawa 2005, ss. 157–183.
2. Z. SIWOŃ, W. CIEŻAK: Wybrane problemy kalibracji modeli przepływów w systemach dystrybucji wody. Instal, 2008, wyd. specjalne, ss. 79–85.
3. A. JAIN, L.E. ORMSBEE: Evaluation of short-term water demand forecast modeling techniques: Conventional methods versus AI. Journal AWWA, 2002, No. 94(7), pp. 64–72.
4. T. SŁONIMSKI, K. DUZINKIEWICZ, M. KWESIELEWICZ, D. TRAWICKI: Analiza możliwości zastosowania sztucznych sieci neuronowych do prognozowania zapotrzebowania na wodę w miejskich sieciach wodociagowych. Mat. konf. „Technologia i automatyzacja systemów wodociagowych i kanalizacyjnych – TiASWiK '99”, Stawiska 1999, ss. 235–242.
5. W. CIEŻAK, P. MALINOWSKI, Z. SIWOŃ: Metodologia budowy neuronowego modelu prognostycznego godzinowego rozbioru wody. Gaz Woda Technika Sanitarna, 2005, nr 9, ss. 9–12.
6. W. CIEŻAK, Z. SIWOŃ, J. CIEŻAK: Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do prognozowania szeregów czasowych krótkotrwałego poboru wody w wybranych systemach wodociagowych. Ochrona Środowiska, 2006, vol. 28, nr 1, ss. 39–44.
7. P. LICZNAK, J. ŁOMOTOWSKI: Prognozowanie dobowych rozbiorów wody przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, PZITS, Poznań 2004, ss. 175–183.
8. Z. SIWOŃ, J. STANISŁAWSKI: Modelowanie i prognozowanie szeregów czasowych godzinowego poboru wody w miastach i regionach wiejskich. Instytut Budownictwa Wodnego PAN, Rozprawy Hydrotechniczne, 1993, z. 56, ss. 3–32.
9. Z. SIWOŃ: Problemy krótkoterminowego prognozowania poboru wody w miejskich systemach wodociagowych. Mat. konf. „Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody”, Politechnika Śląska, Szczyrk 2003, ss. 323–332.
10. Z. SIWOŃ, W. CIEŻAK, J. CIEŻAK: Bieżące prognozowanie godzinowego poboru wody z miejskich sieci wodociagowych. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 2005, nr 30, ss. 15–33.
11. Z. SIWOŃ, W. CIEŻAK, J. CIEŻAK: Użytkowe metody bieżącego prognozowania krótkotrwałego poboru wody w systemach wodociagowych. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, PZITS, Poznań–Zakopane 2006, ss. 119–155.

Cieżak, W., Siwoń, Z., Cieżak, J. Water Demand Modeling for Housing Estates. *Ochrona Środowiska* 2008, Vol. 30, No. 2, pp. 23–28.

Abstract: The principles of determining and forecasting 24-hour water demand histograms for specific user groups are discussed, using two different water supply subsystems as examples (in Wrocław and Klodzko). The applicability of artificial neural networks to the calibration and verification of hydraulic models, as well as to the modeling of flow in water supply systems, has been confirmed. Analysis of the efficiency of artificial neural networks in forecasting 24-hour profiles of hourly water demand in housing estates has revealed a relatively high quality of prediction, which is comparable to, or higher than, the quality of the predictions obtained with models of ARIMA class or with exponential smoothing of the time series.

It has been demonstrated that the optimal structures of perceptron networks are not of a complex nature, so the process of their education or re-education does not require long-lasting computations. In the procedures of choosing those structures the delay can be reduced to 5 days of the same category (working days, weekends, national holidays, bank holidays), the number of hidden layers to 1, and the number of neurons in the hidden layer to 15. Neural networks can also be used for calibrating the models of water flow in water supply systems, as well as for computer simulations showing how these systems function. The optimal structures of the networks can be chosen using the packets 'Neural networks' of the software STATISTICA (v. 6 to 8).

Keywords: Water supply system, water demand, modeling, forecasting, artificial neural networks.