

DIAGNOSTYKA DOBORU ŚREDNIC PRZEWODÓW WODOCIĄGOWYCH ZA POMOCĄ SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH TYPU MLP: PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Jacek DAWIDOWICZ*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Obliczenia systemów dystrybucji wody wykonywane są najczęściej wielokrotnie, gdyż po pierwszych obliczeniach z reguły nie uzyskuje się poprawnego rozwiązania z technicznego punktu widzenia. Pojawiają się różnorodne problemy, które powinny być rozpoznane i zlokalizowane. Po każdym przebiegu obliczeniowym następuje ocena wyników, korekta danych i kolejne obliczenia. Przyjmując, że obliczenia są wieloetapowym procesem mającym na celu uzyskanie właściwego rozwiązania, można mówić o procesie obliczeniowym oraz diagnostyce procesu obliczeniowego. W niniejszym artykule zamieszczono przykład obliczeniowy metody diagnostycznej, mającej na celu ocenę poprawności doboru średnic przewodów wodociągowych. Proponowana metoda opiera się na teorii diagnostyki procesów oraz modelowania neuronowego.

Słowa kluczowe: system dystrybucji wody, obliczenia hydrauliczne, dobór średnic, diagnostyka procesów, sieci neuronowe.

1. Wprowadzenie

Obliczenia hydrauliczne systemów dystrybucji wody realizowane są za pomocą specjalistycznych programów komputerowych. Obliczenia można podzielić na dynamiczne (ang. *extended period analysis*; *dynamic analysis*) (Knapik, 2000a i 2000b; Kulbik, 2004; Rossman, 2000; Siwoń, 1998; Walski i in., 2003) i statyczne, inaczej określane jako obliczenia w warunkach ustalonych (ang. *steady-state analysis*) (Biedugnis, 1998; Gupta, 2006; Orłowski, 1997). W niniejszej pracy rozważano obliczenia za pomocą modelu statycznego dla godziny maksymalnego poboru wody przez odbiorców. Przepływy dla tych warunków są podstawą do wymiarowania średnic przewodów sieci wodociągowej oraz innych elementów systemu dystrybucji wody (Knapik i Bajer, 2010; Mielcarzewicz, 2000).

Obliczenia systemów dystrybucji wody wykonywane są najczęściej wielokrotnie, gdyż po pierwszym przebiegu obliczeniowym z reguły nie uzyskuje się poprawnego rozwiązania z technicznego punktu widzenia. Pojawiają się różnorodne problemy, które powinny być rozpoznane i zlokalizowane. W związku z powyższym można przyjąć, że jest to wieloetapowy proces obliczeniowy. Przyjmując, że obliczenia są procesem mającym na celu uzyskanie właściwego rozwiązania, można mówić o diagnostyce procesu obliczeniowego. W niniejszym artykule zamieszczono przykład obliczeniowy proponowanej

metody diagnostycznej, polegającej na ocenie poprawności doboru średnic przewodów wodociągowych.

2. Model neuronowy do oceny średnic na odcinkach obliczeniowych

W niniejszej pracy wykorzystano sieć neuronową typu perceptron wielowarstwowy (ang. MLP – *multilayer perceptron*). Jednym z podstawowych zadań wykonywanych przy użyciu sztucznych sieci neuronowych jest rozpoznawanie i klasyfikacja wzorców, czyli przydzielenie obiektu na podstawie jego cech charakterystycznych do pewnej klasy. Sieci neuronowe znajdują zastosowanie szczególnie tam, gdzie nie ma prostych reguł klasyfikacji, a obiekt opisany jest wieloma zmiennymi, które decydują o przynależności do klasy (Bishop, 1996; Masters, 1996; Osowski, 2000; Tadeusiewicz, 1993). Szczegóły badań nad strukturami sieci neuronowych do klasyfikacji średnic przewodów opisano w pracy (Dawidowicz, 2015).

Zbiór zmiennych wejściowych sieci neuronowej składa się z następujących pozycji:

- L – długość odcinka obliczeniowego przewodu wodociągowego w m,
- Q_p – przepływ na początku odcinka obliczeniowego w l/s,

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: j.dawidowicz@pb.edu.pl

- Q_k – przepływ na końcu odcinka obliczeniowego w l/s, przy założeniu możliwości występowania rozbiórów odcinkowych,
 - k – współczynnik chropowatości bezwzględnej w mm.
- Zmienną wyjściową sieci jest zmienna nominalna SR opisująca średnice nominalne przewodów wodociągowych (Dawidowicz, 2015).

W neuronach warstwy wyjściowej zastosowano funkcję aktywacji typu *Softmax* (1). Jest to funkcja wykładnicza, której wartość zostaje dodatkowo znormalizowana w taki sposób, aby suma aktywacji wszystkich M neuronów warstwy wyjściowej sieci była równa 1. Oprócz tego, że sygnały z sieci są podstawą do rozpoznania odpowiedniej klasy, dodatkowo wartości wyjściowe poszczególnych neuronów mogą być interpretowane jako oszacowania prawdopodobieństw przynależności danego sygnału wyjściowego do poszczególnych klas (Bridle, 1990). Powyższą cechę funkcji *Softmax* wykorzystano w metodzie diagnostycznej doboru średnic przewodów. Funkcja *Softmax* przedstawia się następująco:

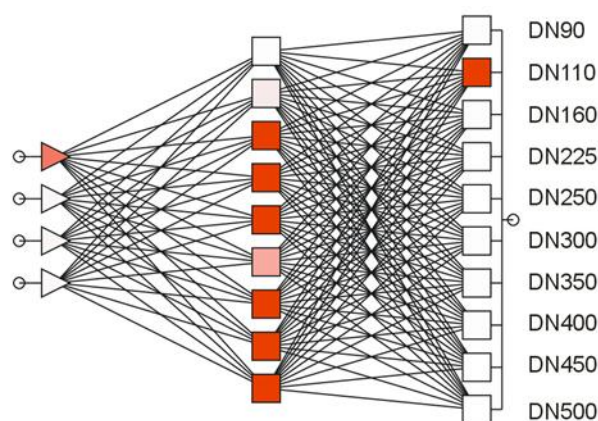
$$y = \frac{e^S}{\sum_{m=1}^M e^{S_m}} \quad y = (0 \dots + 1) \quad (1)$$

gdzie: S to zagregowana wartość wejściowa neuronu, a M jest liczbą neuronów warstwy wyjściowej.

W wyniku uczenia różnych struktur perceptronu wielowarstwowego do oceny średnic przewodów przyjęto sieć neuronową składającą się z następujących elementów (Dawidowicz, 2015):

- warstwa wejściowa z neuronami dla 4 zmiennych wejściowych,
- jedna warstwa ukryta zbudowana z 36 neuronów z logistyczną funkcją aktywacji,
- warstwa wyjściowa zbudowana z 10 neuronów z funkcją aktywacji *Softmax*, odpowiadające średnicom ze zmiennej nominalnej SR .

Schemat sieci realizującej zadanie klasyfikacji wielokryterialnej, różniące się jedynie liczbą neuronów w warstwie ukrytej pokazano na rysunku 1. Wartości aktywacji neuronów warstwy wyjściowej dla funkcji *Softmax* pokazano w tabeli 1.



Rys. 1. Schemat sieci neuronowej do klasyfikacji średnic przewodów wodociągowych (Dawidowicz, 2015)

Tab. 1. Wartości aktywacji neuronów warstwy wyjściowej dla funkcji *Softmax* (Dawidowicz, 2015)

Średnica przewodu przypisana do neuronu warstwy wyjściowej	Aktywacja neuronu warstwy wyjściowej
DN90	0,0000000000000000
DN110	0,8281449000000000
DN160	0,1718551000000000
DN225	0,0000000000000000
DN250	0,0000000000000003
DN300	0,0000000000000000
DN350	0,0000000000000000
DN400	0,0000000000000100
DN450	0,0000000000000001
DN500	0,0000000000000002
Suma aktywacji:	1,0000000000000000

3. Metoda diagnostyczna poprawności doboru średnic przewodów wodociągowych

Diagnostyka techniczna kojarzona jest przede wszystkim z uszkodzeniami urządzeń (Cholewa i Kaźmierczak, 1995). Niezwykle ważną i intensywnie rozwijającą się dziedziną jest również diagnostyka procesów. Zajmuje się ona rozpoznawaniem zmian stanu procesów, gdzie procesy rozumiane są jako ciąg celowych działań realizowanych w ustalonym czasie przez określony zbiór maszyn, urządzeń lub programów komputerowych (Kościelny, 2002a i 2002b). Każdy proces można rozumieć jako niezależny obiekt diagnozowania, który posiada wejścia oraz wyjścia, opisujące efekt jego działania. Chcąc uzyskać odpowiednią jakość przebiegu procesu, powinien on być diagnozowany, tak by w momencie zaistnienia niewłaściwych wartości parametrów procesu dokonać odpowiedniej korekty naprawczej.

W przypadku obliczeń hydraulicznych systemów dystrybucji wody, jednym z problemów diagnostycznych

jest poprawność doboru średnic przewodów wodociągowych. Proponowana metoda diagnostyki wyników obliczeń polega na porównaniu średnicy przyjętej do obliczeń (dobrej lub istniejącej na sieci) ze średnicą uzyskaną z modelu wartości wzorcowych, który został sporządzony na podstawie zbioru wyników obliczeń, w których średnice były skorygowane w procesie obliczeniowym i uznana za poprawne. Powyższe porównanie średnic można rozumieć jako ocenę odchyłań (residuów) pomiędzy wartościami wzorcowymi uzyskanymi z modelu i przyjętymi do obliczeń.

Diagnostyka procesów zajmuje się rozpoznawaniem zmian stanów procesów. W niniejszej pracy przyjęto „stan poprawny procesu” (SPP), w którym wyniki można uznać za poprawne, kończący proces obliczeniowy oraz „stan niepoprawny procesu” (SNP), wymagający dalszych korekt danych i kolejnych przebiegów obliczeniowych specjalistycznego programu komputerowego. Przyjmuje się, że końcowy stan procesu będzie poprawny SPP, jeśli wynik z testu diagnostycznego dla wszystkich przewodów wodociągowych będzie poprawny, tzn. przyjmie wartość „poprawna średnica” (PŚ). Należy jednak nadmienić, że wynik testu z założenia nie jest obligatoryjny. Ostateczna decyzja należy do osoby realizującej obliczenia.

W proponowanej metodzie diagnostycznej ocena poprawności doboru średnic przewodów odbywa się na podstawie klasyfikacji średnic ze zmiennej nominalnej SR za pomocą sieci neuronowej opisanej w rozdziale 3. Sieć neuronowa jest w tym przypadku modelem wartości wzorcowych, który został sporządzony na podstawie zbioru wyników obliczeń, w których średnice były skorygowane w procesie obliczeniowym i uznane za poprawne. Średnica nominalna DN_{SSN} uzyskana z modelu neuronowego porównywana jest ze średnicą rzeczywistą DN. Jako średnica rzeczywista DN, rozumiana jest średnica projektowana, przyjęta do obliczeń hydraulicznych lub istniejąca w funkcjonującym systemie. Porównanie średnic DN_{SSN} z modelu neuronowego oraz DN można rozumieć jako ocenę residuum w modelu diagnostycznym. Metoda diagnostyczna podaje propozycję średnicy na odcinku obliczeniowym oraz dokonuje oceny średnicy istniejącej lub przyjętej do obliczeń. W metodzie wykorzystano dwa aspekty funkcjonowania sztucznej sieci neuronowej, to znaczy wynik klasyfikacji oraz wartość aktywacji funkcji *Softmax* w warstwie wyjściowej.

Przyjęto następujące oznaczenia dla wartości aktywacji neuronów warstwy wyjściowej, stosowane w metodzie diagnostycznej:

- ADN_{ZW} – aktywacja neuronu w warstwie wyjściowej z funkcją *Softmax* o najwyższej wartości (neuron zwycięski), w sieci do klasyfikacji średnic przewodów,
- ADN_m – aktywacje neuronów warstwy wyjściowej z funkcją *Softmax*, o wartościach niższych od neuronu zwycięskiego, w sieci do klasyfikacji średnic przewodów.

W celu oceny średnicy wprowadzono trzy możliwe diagnozy:

- PŚ – poprawna średnica,
- BŚ – błędna średnica,
- NŚ – nieokreślona średnica.

Zestawienie kryteriów diagnostycznych do oceny średnic na podstawie wyników klasyfikacji za pomocą sztucznej sieci neuronowej, aktywacji neuronów warstwy wyjściowej oraz proponowanych średnic przewodów na poszczególnych odcinkach obliczeniowych zamieszczono w tabeli 2.

W przypadku, gdy średnica z modelu neuronowego DN_{SSN} jest równa średnicy rzeczywistej DN oraz aktywacja neuronu wyjściowego odpowiadającego danej średnicy ADN_{ZW} jest wyższa niż próg akceptacji (0,9), a aktywacje pozostałych neuronów ADN_m są niższe niż próg odrzucenia (0,1), średnica przewodu pozostaje bez zmian oraz uzyskuje się diagnozę opisaną jako poprawna średnica (PŚ). Jeżeli średnica z modelu neuronowego DN_{SSN} jest różna od średnicy rzeczywistej DN i aktywacje neuronów kształtują się jak wyżej, uzyskuje się błędną średnicę (BŚ) oraz propozycję przyjęcia na danym odcinku średnicy DN_{SSN} . Ponadto istnieje możliwość wystąpienia klasyfikacji, gdy aktywacje neuronów znajdują się w przedziale (0,1-0,9). W takim wypadku uzyskuje się warunkowe propozycje średnic DN, dodatkowo opisane w tabeli wyników jako nieokreślona średnica (NŚ).

W dłuższym okresie XX wieku, powszechnie były stosowane przewody wodociągowe o średnicy nominalnej DN90, stąd uwzględniono je w metodzie diagnostycznej. Obecnie, ze względu na warunki zaopatrzenia w wodę do celów przeciwpożarowych, powinno się stosować średnice nie mniejsze niż DN110. W związku z powyższym dla średnicy DN90 sporządzono odrębne kryteria diagnostyczne, uwzględniające aktualne wymagania projektowe. W przypadku, gdy na sieci wodociągowej występuje średnica DN90 i sieć neuronowa dokona klasyfikacji DN_{SSN90} oraz aktywacja neuronu zwycięskiego ADN_{ZW} odpowiadającego średnicy DN90 jest wyższa niż próg akceptacji (0,9), a aktywacje pozostałych neuronów ADN_m są niższe niż próg odrzucenia (0,1), pomimo że klasyfikacja jest poprawna diagnoza przyjmuje wartość błędna średnica (BŚ) z propozycją średnicy DN110. Podobnie jak wcześniej, gdy wartości aktywacji neuronów znajdują się w przedziale (0,1-0,9) diagnoza przyjmuje wartość nieokreślona średnica (NŚ), a system diagnostyczny proponuje średnicę DN110.

W sytuacji, gdy zostanie przyjęta do obliczeń hydraulicznych średnica DN110, a sieć neuronowa zaproponuje średnicę DN90 w obu przypadkach aktywacji neuronów metoda diagnostyczna proponuje zachowanie średnicy DN110. Informacja, że sieć neuronowa sklasyfikowała średnicę DN_{SSN90} , może być traktowana jako wskazówka do zalecenia okresowego płukania przewodu na danym odcinku ze względu na niewielkie przepływy. W zależności od wartości aktywacji, diagnoza przyjmuje wartość poprawna średnica (PŚ) lub nieokreślona średnica (NŚ).

Tab. 2. Kryteria diagnostyczne przy ocenie średnic przewodów (Dawidowicz, 2015)

Porównanie średnic dla danego odcinka	Aktywacje neuronów warstwy wyjściowej sieci neuronowej	Proponowana średnica	Diagnoza średnicy dla odcinka obliczeniowego
$DN = DN_{SSN}$	$ADN_{Zw} > 0,9$ dla pozostałych neuronów $ADN_m < 0,1$	DN	PŚ
$DN = DN_{SSN}$	$0,5 < ADN_{Zw} < 0,9$ dla pozostałych neuronów $0,1 < ADN_m < 0,5$	DN	NŚ
$DN \neq DN_{SSN}$	$ADN_{Zw} > 0,9$ dla pozostałych neuronów $ADN_m < 0,1$	DN_{SSN}	BŚ
$DN \neq DN_{SSN}$	$0,5 < ADN_{Zw} < 0,9$ dla pozostałych neuronów $0,1 < ADN_m < 0,5$	DN_{SSN}	NŚ
$DN_{90} = DN_{SSN90}$	$ADN_{Zw} > 0,9$ dla pozostałych neuronów $ADN_m < 0,1$	DN110	BŚ
$DN_{90} = DN_{SSN90}$	$0,5 < ADN_{Zw} < 0,9$ dla pozostałych neuronów $0,1 < ADN_m < 0,5$	DN110	NŚ
$DN_{110} \neq DN_{SSN90}$	$ADN_{Zw} > 0,9$ dla pozostałych neuronów $ADN_m < 0,1$	DN110	PŚ
$DN_{110} \neq DN_{SSN90}$	$0,5 < ADN_{Zw} < 0,9$ dla pozostałych neuronów $0,1 < ADN_m < 0,5$	DN110	NŚ

Tab. 3. Wariant 1 – tabela odcinków dla istniejącego systemu dystrybucji wody (Dawidowicz, 2015)

WP	WK	L	DN	DN_{SSN}	Q_{odc}	Q_p	Q_k	Δh_l	V	ADN_{Zw}	Diagnoza
-	-	m	mm	mm	l/s	l/s	l/s	m	m/s	-	
P	1	900	400	400	0,0	146,8	146,8	3,2	1,2	1,0000	PŚ
1	2	620	400	400	2,1	140,8	138,7	2,0	1,1	1,0000	PŚ
2	3	420	250	250	1,4	39,5	38,1	1,2	0,8	1,0000	PŚ
2	7	550	250	250	0,9	38,8	37,9	1,6	0,8	1,0000	PŚ
2	14	800	250	250	0,0	55,4	55,4	4,7	1,1	0,9910	PŚ
3	4	600	225	225	1,5	27,1	25,6	2,3	0,8	1,0000	PŚ
3	8	510	110	110	1,8	6,0	4,2	3,2	0,6	1,0000	PŚ
4	5	320	160	160	2,1	13,1	11,0	1,6	0,7	1,0000	PŚ
4	9	450	110	110	1,9	6,5	4,6	3,4	0,7	1,0000	PŚ
5	6	420	110	110	0,0	5,0	5,0	2,6	0,6	1,0000	PŚ
7	10	520	225	225	2,2	22,4	20,2	1,3	0,6	1,0000	PŚ
7	8	260	110	110	1,6	7,6	6,0	2,9	0,8	1,0000	PŚ
8	9	480	110	110	1,2	5,1	3,9	2,4	0,6	0,9998	PŚ
9	12	500	110	90	3,3	3,5	0,2	0,5	0,2	1,0000	PŚ
10	11	350	160	160	2,5	15,2	12,7	2,3	0,8	1,0000	PŚ
11	12	400	110	110	1,9	5,7	3,8	2,2	0,6	0,9999	PŚ
11	13	400	110	90	0,0	3,0	3,0	0,9	0,4	1,0000	PŚ
14	15	490	225	225	2,6	31,6	29,0	2,5	0,9	0,9997	PŚ
14	18	600	225	225	1,8	20,8	19,0	1,3	0,6	1,0000	PŚ
15	16	550	225	225	2,5	24,0	21,5	1,6	0,7	1,0000	PŚ
16	17	580	110	110	2,1	6,0	3,9	3,5	0,6	1,0000	PŚ
16	19	660	110	90	3,8	4,3	0,5	1,0	0,3	1,0000	PŚ
16	21	760	110	110	2,2	6,2	4,0	4,8	0,6	0,9999	PŚ
18	19	570	160	160	2,1	15,0	12,9	3,7	0,8	1,0000	PŚ
19	20	560	160	160	1,3	9,4	8,1	1,5	0,5	0,9937	PŚ
20	17	920	110	90	2,0	3,1	1,1	1,1	0,3	0,9998	PŚ

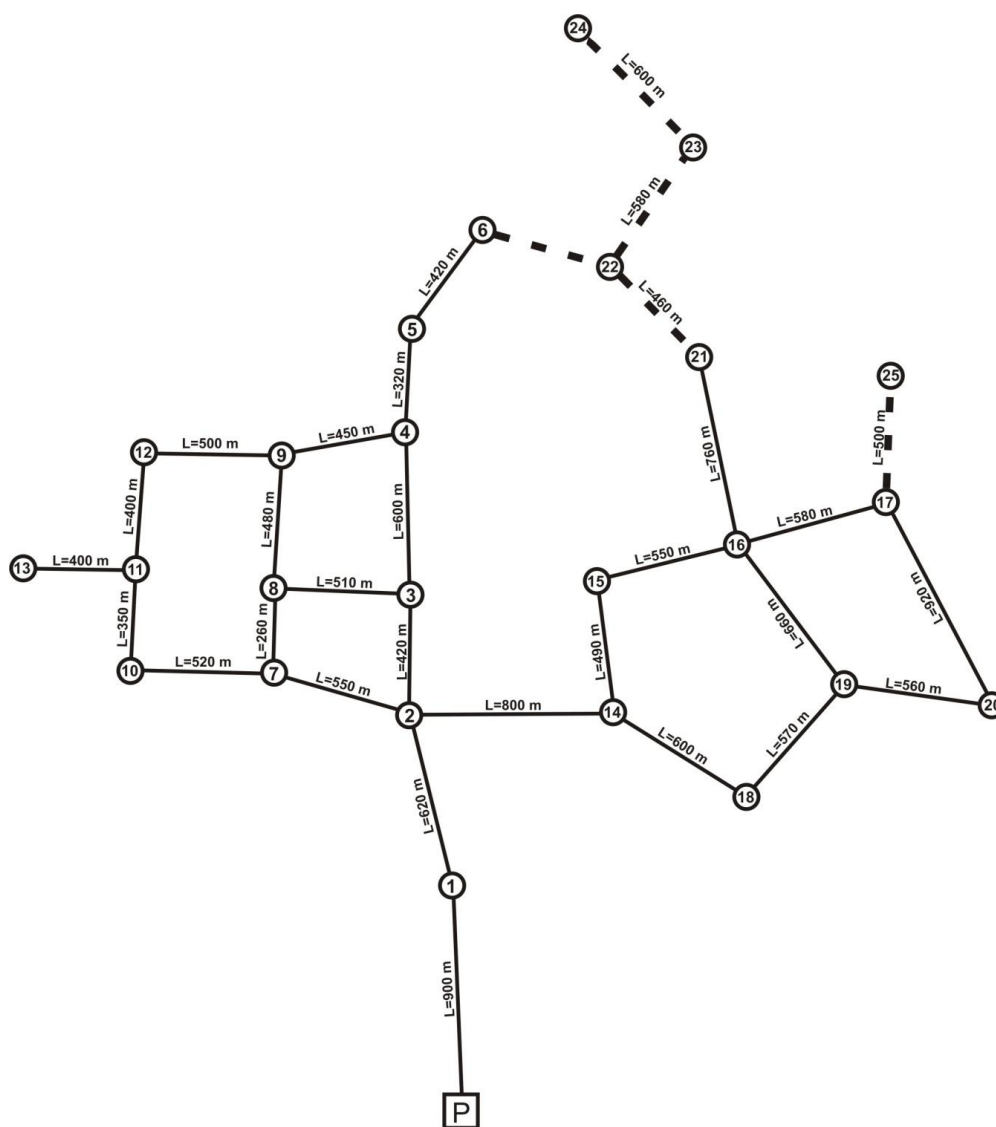
Dla wszystkich odcinków, którym metoda diagnostyczna przypisała status błędna średnica (BŚ), wymagana jest korekta średnicy. Diagnoza w postaci nieokreślona średnica (NŚ) wskazuje, że należy przeanalizować proponowane przez metodę rozwiązanie dla danego odcinka, czyli dokonać wyboru statusu diagnozy na PŚ lub BŚ. W przypadku wystąpienia odcinków ze statusem BŚ, końcowy stan procesu obliczeniowego przyjmuje wartość SNP. Należy dokonać korekty średnic i przeprowadzić obliczenia ponownie. Stan końcowy procesu przyjmuje wartość SPP w przypadku, gdy dla wszystkich odcinków zostanie uzyskany status poprawna średnica (PŚ).

Wynik diagnozy średnicy oraz wartości aktywacji neuronów zwycięskich ADN_{ZW} warstwy wyjściowej sieci neuronowej, powinny być zamieszczane w wynikach obliczeń dla poszczególnych odcinków systemu dystrybucji wody, co pokazano na przykładzie obliczeniowym w rozdziale 4.

4. Przykład obliczeniowy korekty średnic przewodów wodociągowych

Wykonano obliczenia hydrauliczne dla przykładowej sieci wodociągowej (rys. 2) dokonując jednocześnie diagnostyki doboru średnic na poszczególnych odcinkach obliczeniowych.

Wyniki obliczeń odcinków dla wariantu pierwszego zamieszczono w tabeli 3. Większość średnic uzyskana z sieci neuronowej DN_{SSN} jest równa średnicom rzeczywistym DN przy wysokiej aktywacji neuronu warstwy wyjściowej ADN_{ZW} . Wyjątkami są odcinki 9-12, 11-13, 16-19, 17-20 na których test diagnostyczny zaleca przyjęcie średnicy DN_{90} , lecz w związku z wymaganiami przeciwpożarowymi zastosowano średnice DN_{110} . Na odcinkach powyższych występują niewielkie przepływy i niskie wartości prędkości przepływu. W związku z powyższym na tych odcinkach należy zalecić okresowe płukanie przewodu. Dla wszystkich odcinków uzyskano wysokie wartości aktywacji ADN_{ZW} oraz wynik diagnozy PŚ.



Rys. 2. Schemat przykładowego systemu dystrybucji wody (Dawidowicz, 2015)

Istniejący system dystrybucji wody ma być rozbudowany na terenach nie przewidzianych wcześniej w planach zagospodarowania przestrzennego pod zabudowę, stąd pojawia się problem przepustowości średnic istniejącego systemu. Nowe odcinki systemu pokazano na rysunku 2 linią przerywaną. W związku ze zmianą przepływów w sieci pojawia się konieczność korekty średnic przewodów na wybranych odcinkach.

Wyniki obliczeń wariantu 2 dla węzłów systemu rozbudowanego zamieszczono w tabeli 4. Na odcinkach 2-14, 4-5, 5-6, 14-15, 16-21 system diagnostyczny zaleca zmianę średnicy na większą. We wszystkich przypadkach jest to poparte wysoką wartością aktywacji neuronu danej średnicy ADN_{ZW} . Dla powyższych odcinków został przyjęty status diagnozy BŚ. Wiąże się to koniecznością korekty średnic i wykonania kolejnych obliczeń systemu dystrybucji wody. Na odcinkach 9-12, 16-19, 23-24

system diagnostyczny generuje średnicę DN90, lecz status diagnozy przyjmuje wartość PŚ, sugerując pozostawienie średnicy bez zmian. Może to sugerować konieczność wprowadzenia zalecenia okresowego płukania przewodów.

W wariantcie 3 pokazano wyniki obliczeń po dokonaniu korekty średnic na wskazanych w wariantcie 2 odcinkach przewodów (tab. 5). Odcinki, które wcześniej wykazywały nieprawidłowości, po korekcie średnic uznane są przez test diagnostyczny za poprawne. Pojawił się natomiast problem na odcinku 19-20, w przypadku którego po korekcie średnic przewodów, nastąpiła zmiana przepływu i sugerowana jest mniejsza średnica DN110, zamiast DN160. W tym wypadku należałoby dokonać kolejnej korekty lub pozostawić średnicę nie zmienioną z zaleceniem okresowego płukania przewodu.

Tab. 4. Wariant 2 – tabela odcinków dla rozbudowanego systemu dystrybucji wody (Dawidowicz, 2015)

WP	WK	L	DN	DN _{SNN}	q _{odc}	Q _p	Q _k	Δh _l	V	ADN _{ZW}	Diagnoza
-	-	m	mm	mm	l/s	l/s	l/s	M	m/s	-	
P	1	900	400	400	0,0	159,2	159,2	3,8	1,2	0,9401	NŚ
1	2	620	400	400	2,1	153,2	151,1	2,4	1,2	1,0000	PŚ
2	3	420	250	250	1,4	45,3	43,9	1,6	0,9	1,0000	PŚ
2	7	550	250	250	0,9	39,5	38,6	1,6	0,8	1,0000	PŚ
2	14	800	250	300	0,0	61,3	61,3	5,8	1,2	1,0000	BŚ
3	4	600	225	225	1,5	32,9	31,4	3,4	1,0	0,8099	NŚ
3	8	510	110	110	1,8	6,0	4,2	3,2	0,6	1,0000	PŚ
4	5	320	160	225	2,1	19,6	17,5	3,6	1,1	1,0000	BŚ
4	9	450	110	110	1,9	5,8	3,9	2,6	0,6	1,0000	PŚ
5	6	420	110	160	0,0	11,5	11,5	13,2	1,4	1,0000	BŚ
7	10	520	225	225	2,2	22,7	20,5	1,4	0,6	1,0000	PŚ
7	8	260	110	110	1,6	7,9	6,3	3,2	0,9	0,9996	PŚ
8	9	480	110	110	1,2	5,5	4,3	2,8	0,6	1,0000	PŚ
9	12	500	110	90	3,3	3,2	-0,1	0,3	0,2	1,0000	PŚ
10	11	350	160	160	2,5	15,5	13,0	2,4	0,8	1,0000	PŚ
11	12	400	110	110	1,9	6,0	4,1	2,5	0,6	1,0000	PŚ
11	13	400	110	90	0,0	3,0	3,0	0,9	0,4	1,0000	PŚ
14	15	490	225	250	2,6	36,0	33,4	3,2	1,0	1,0000	BŚ
14	18	600	225	225	1,8	22,3	20,5	1,5	0,6	1,0000	PŚ
15	16	550	225	225	2,5	28,4	25,9	2,2	0,8	1,0000	PŚ
16	17	580	110	110	2,1	7,6	5,5	6	0,8	0,9883	PŚ
16	19	660	110	90	3,8	3,7	-0,1	0,6	0,2	1,0000	PŚ
16	21	760	110	160	2,2	9,6	7,4	13,1	1,0	0,9964	BŚ
18	19	570	160	160	2,1	16,5	14,4	4,5	0,9	0,9656	PŚ
19	20	560	160	160	1,3	10,3	9,0	1,8	0,6	0,9999	PŚ
20	17	920	110	110	2,0	5,0	3,0	3,6	0,5	1,0000	PŚ
17	25	500	110	90	1,5	3,5	2,0	1	0,3	1,0000	PŚ
21	22	760	110	90	1,1	3,4	2,3	1,6	0,4	0,9549	PŚ
22	23	580	110	110	1,5	6,6	5,1	4,8	0,7	1,0000	PŚ
23	24	600	110	90	1,1	3,1	2,0	1	0,3	1,0000	PŚ
6	22	480	110	110	1,2	6,5	5,3	4,1	0,7	1,0000	PŚ

Tab. 5. Wariant 3 – tabela odcinków obliczeń rozbudowanego systemu po korekcie średnic przewodów (Dawidowicz, 2015)

WP	WK	L	DN	DN _{SNN}	q _{odc}	Q _p	Q _k	Δh _i	V	ADN _{ZW}	Diagnoza
-	-	m	mm	mm	l/s	l/s	l/s	m	m/s	-	
P	1	900	400	400	0,0	159,2	159,2	3,8	1,2	0,9401	PŚ
1	2	620	400	400	2,1	153,2	151,1	2,4	1,2	1,0000	PŚ
2	3	420	250	250	1,4	44,8	43,4	1,6	0,9	1,0000	PŚ
2	7	550	250	250	0,9	39,5	38,6	1,6	0,8	1,0000	PŚ
2	14	800	300	300	0,0	61,8	61,8	2,2	0,9	1,0000	PŚ
3	4	600	225	225	1,5	32,4	30,9	3,3	0,9	0,9629	PŚ
3	8	510	110	110	1,8	6,0	4,2	3,2	0,6	1,0000	PŚ
4	5	320	225	225	2,1	19,1	17,0	0,6	0,5	1,0000	PŚ
4	9	450	110	110	1,9	5,9	4,0	2,7	0,6	1,0000	PŚ
5	6	420	160	160	0,0	11,0	11,0	1,7	0,6	1,0000	PŚ
7	10	520	225	225	2,2	22,7	20,5	1,4	0,6	1,0000	PŚ
7	8	260	110	110	1,6	7,9	6,3	3,1	0,9	0,9996	PŚ
8	9	480	110	110	1,2	5,4	4,2	2,8	0,6	1,0000	PŚ
9	12	500	110	90	3,3	3,2	-0,1	0,3	0,2	1,0000	PŚ
10	11	350	160	160	2,5	15,5	13,0	2,4	0,8	1,0000	PŚ
11	12	400	110	110	1,9	6,0	4,1	2,5	0,6	1,0000	PŚ
11	13	400	110	90	0,0	3,0	3,0	0,9	0,4	1,0000	PŚ
14	15	490	250	250	2,6	38,9	36,3	1,4	0,8	1,0000	PŚ
14	18	600	225	225	1,8	19,9	18,1	1,2	0,6	1,0000	PŚ
15	16	550	225	225	2,5	31,3	28,8	2,7	0,9	0,9996	PŚ
16	17	580	160	160	2,1	10,4	8,3	1,7	0,6	0,9998	PŚ
16	19	660	110	90	3,8	3,3	-0,5	0,4	0,2	1,0000	PŚ
16	21	760	160	160	2,2	10,1	7,9	2,1	0,5	0,9995	PŚ
18	19	570	160	160	2,1	14,1	12,0	3,3	0,8	1,0000	PŚ
19	20	560	160	110	1,3	7,5	6,2	0,9	0,4	0,9772	BŚ
20	17	920	110	90	2,0	2,2	0,2	0,4	0,2	1,0000	PŚ
17	25	500	110	90	1,5	3,5	2,0	1,0	0,3	1,0000	PŚ
21	22	760	110	110	1,1	3,9	2,8	2,2	0,4	0,9798	PŚ
22	23	580	110	110	1,5	6,6	5,1	4,8	0,7	1,0000	PŚ
23	24	600	110	90	1,1	3,1	2,0	1,0	0,3	1,0000	PŚ
6	22	480	110	110	1,2	6,0	4,8	3,4	0,7	1,0000	PŚ

5. Podsumowanie i wnioski

W niniejszej pracy zamieszczono przykład obliczeniowy metody diagnostyki średnic przewodów systemu dystrybucji wody. Przyjęto, że obliczenia systemu dystrybucji wody należy rozumieć jako proces, gdyż zadanie powyższe jest realizowane poprzez wielokrotne wykonanie obliczeń ze stopniowym dochodzeniem do poprawnych rezultatów. Po każdym przebiegu obliczeniowym następuje ocena wyników, korekta danych i kolejne obliczenia. Proponowana metoda opiera się na teorii diagnostyki procesów oraz modelowania neuronowego. Opisano sieć neuronową, będącą modelem wzorcowym, do klasyfikacji średnic przewodów wodociągowych na podstawie danych z obliczeń hydraulicznych.

Uzyskane wyniki pozwalają wnioskować, że powyższa metoda mogłaby być uzupełnieniem tradycyjnych metod obliczeniowych w komputerowych systemach symulacji systemów dystrybucji wody.

Literatura

- Biedugnis S. (1998). Metody informatyczne w wodociągach i kanalizacji. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa.
- Bishop C. M. (1996). *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford Univ. Press.
- Bridle J.S. (1990). Probabilistic interpretation of feedforward classification network outputs, with relationships to statistical pattern recognition. W: *Neurocomputing: Algorithms, Architectures and Applications*. Fogelman-Soulie F., Hérault J. (Eds.), Springer-Verlag, 227-236.
- Cholewa W., Kaźmierczak J. (1995). Diagnostyka techniczna maszyn. Przetwarzanie cech sygnałów. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice.
- Dawidowicz J. (2015). Diagnostyka procesu obliczeń systemu dystrybucji wody z zastosowaniem modelowania neuronowego. Biblioteka Inżynierii Środowiska, Rozprawy Naukowe nr 268, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej*.
- Gupta R.K. (2006). Analysis and Control of Flows in Pressurized Hydraulic Networks. PhD, *UNESCO-IHE Institute*, Delft.

- Knapik K. (2000a). Dynamiczne modele w badaniach sieci wodociągowych. *Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej*, Kraków.
- Knapik K. (2000b). Dynamiczne modele sieci wodociągowej. *Czasopismo Techniczne*, nr 54-57-Ś, 23-31.
- Knapik K., Bajer J. (2010). Wodociągi. Podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych. *Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej*, Kraków.
- Kościelny J.M. (2002a) Metodologia diagnostyki procesów. W: Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania. Monografia Komitetu Automatyki i Robotyki PAN. Red. J. Korbiacz, J.M. Kościelny, Z. Kowalczyk, W. Cholewa. *Wydawnictwa Naukowo-Techniczne*, Warszawa, 57-110.
- Kościelny J.M. (2002b). Modele w diagnostyce procesów. W: Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania. Monografia Komitetu Automatyki i Robotyki PAN. Red. J. Korbiacz, J.M. Kościelny, Z. Kowalczyk, W. Cholewa. *Wydawnictwa Naukowo-Techniczne*, Warszawa, 29-55.
- Kulbik M. (2004). Komputerowa symulacja i badanie terenowe miejskich systemów wodociągowych. Monografie 49, *Wydawnictwa Politechniki Gdańskiej*, Gdańsk.
- Masters T. (1996). Sieci neuronowe w praktyce. Programowanie w języku C++. *Wydawnictwa Naukowo-Techniczne*, Warszawa.
- Mielcarzewicz Wł. (2000). Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę. Wyd. II, *Arkady*, Warszawa.
- Orłowski R. (1997). Modelowanie matematyczne przepływów ustalonych w systemach wodociągowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej*, Gdańsk.
- Osovski S. (2000). Sieci neuronowe do przetwarzania informacji. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa.
- Rossman L.A. (2000). EPANET 2 User's manual, EPA/600/R-00/057. *National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency*, Cincinnati, OH, USA.
- Siwoń Z. (1998). Hydraulic analysis of water distribution systems. *Environment Protection Engineering*, Vol. 24, No. 3-4, 5-14.
- Tadeusiewicz R. (1993). Sieci neuronowe. *Akademicka Oficyna Wydawnicza*, Warszawa.
- Walski M.T., Chase D.V., Savic D.A., Grayman W.M., Beckwith S., Koelle E. (2003). *Advanced Water Distribution Modeling And Management*. Haestad Methods Solution Center, *Haestad Press*.

DIAGNOSTICS DIAMETER SELECTION OF WATER PIPES BY USING MLP ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS: CASE OF STUDY

Abstract: Calculations of water distribution systems are the most frequently performed, because after the first calculations the correct solution, from a technical point of view, are generally not obtained. After each run the calculation takes evaluation of the results, correction of data and next calculation. Assuming that the calculation is a process to obtain the right solutions, we can talk about the process of calculation and diagnosis of the calculation. This article provides an example of calculation diagnostic method aimed at assessing the selection of diameter water pipes. The proposed method is based on the theory of diagnostic processes and neural modelling.

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach realizacji pracy statutowej S/WBiŚ/2/14.