

# Zastosowanie modelowania hydraulicznego do oceny wydajności sieci wodociągowych przeciwpożarowych

Use of hydraulic modeling to assess the performance of fire-fighting water supply networks

GRZEGORZ ŚCIERANKA, ANITA JENDROSZCZYK, PAWEŁ GRAJPER, ŚWIATOSŁAW KRZESZOWSKI

DOI 10.36119/15.2025.12.7

Artykuł przedstawia zastosowanie modelowania hydraulicznego w ocenie wydajności sieci wodociągowych wykorzystywanych do celów przeciwpożarowych. Analizuje dwa sposoby symulacji pracy hydrantów w programie EPANET: narzuconą statą wydajność oraz wypływ swobodny zależny od ciśnienia. Wykazano, że modelowanie wypływu swobodnego lepiej odzwierciedla rzeczywiste działanie hydrantów i umożliwia dokładniejszą ocenę, czy wymagana ilość wody może zostać dostarczona, zwłaszcza przy równoczesnym działaniu kilku hydrantów. Wyniki potwierdzają, że modele hydrauliczne są kluczowym narzędziem w analizach pożarowych oraz projektowaniu i modernizacji sieci wodociągowych.

Słowa kluczowe: sieć wodociągowa, Epanet, modelowanie hydrauliczne, hydrant

The article examines how hydraulic modeling, using EPANET, supports the assessment of fire-fighting performance in water supply networks. It compares two approaches to hydrant simulation: fixed discharge and free outflow dependent on pressure. The study demonstrates that free-outflow modeling more accurately reflects real hydrant behavior, enabling better evaluation of whether required fire flows can be achieved, especially when multiple hydrants operate simultaneously or when network conditions are unfavorable. The results show that hydraulic models are essential for analyzing fire scenarios, verifying network capacity, and supporting decisions on design, modernization, and operational reliability of water distribution systems.

Keywords: water supply network, Epanet, hydraulic modeling, fire hydrant

## Wstęp

Modelowanie hydrauliczne sieci wodociągowych już dawno przeszło od fazy badań naukowych do fazy wdrożeniowej. Systematycznie poszerza się grupa operatorów sieci wodociągowych dostrzegających korzyści jakie niesie ze sobą posiadanie modelu hydraulicznego. Kluczowe dla rozwoju modelowania było rozpowszechnienie przez U.S. Environmental Protection Agency programu Epanet. Dzięki opublikowaniu również kodów źródłowych silnik obliczeniowy tego programu stał się bazą do powstania wielu aplikacji komercyjnych.

Dzięki wykorzystaniu modelu hydraulicznego sieci wodociągowej można między innymi:

- analizować warianty modernizacji sieci wodociągowych,
- optymalizować dobór średnic dla nowych i przebudowywanych sieci,
- symulować pracę sieci w warunkach awaryjnych,

- wyznaczać strefy zasilania z poszczególnych źródeł wody,
- analizować pracę sieci w warunkach poboru wody na cele przeciwpożarowe,
- sprawdzać możliwości i warunki podłączenia nowych odbiorców i rozbudowy sieci,
- dobierać układy pompowe,
- dobierać parametry zbiorników sieciowych.

Wśród wymienionych zastosowań ważnym zagadnieniem są analizy pracy sieci w warunkach poboru wody z hydrantów przeciwpożarowych [1]. Na ich podstawie możliwe jest podejmowanie działań dla poprawy wydajności pożarowej sieci wodociągowej [2].

Większość sieci wodociągowych rozdzielczych obok funkcji zaopatrzenia w wodę do celów bytowo-gospodarczych i przemysłowych pełni również funkcje przeciwpożarowe. Wymóg ten powinien wynikać z regulaminu dostarczania wody i odprowadzania ścieków jako aktu prawa

miejscowego uchwalanego przez radę gminy na podstawie projektów opracowanych przez przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne [4]. Hydranty zewnętrzne oprócz funkcji przeciwpożarowej są wykorzystywane w celach eksploatacyjnych. W tym zakresie mogą służyć do odpowietrzania i odwadniania rurociągów, a przede wszystkim do płukania sieci. W przypadku blackout-u i obniżonego ciśnienia mogą służyć do poboru wody zakumulowanej w przewodach wodociągowych, oczywiście przy zastosowaniu odpowiedniej baterii [3]. Hydranty zewnętrzne są również wykorzystywane w procesie kalibracji modeli hydraulicznych sieci wodociągowych. Można na nich zbudować czasowo, przenośne przetworniki ciśnienia z rejestratorami, tworząc dodatkowe punkty kalibracji ciśnienia. Ponadto po otwarciu wybranych hydrantów w czasie kampanii pomiarowej w łatwy sposób uzyskuje się zwiększenie przepływów w rurociągach i tym samym wzrost strat ciśnienia, co pozwala na bardziej miarodajną ocenę

jakości modelu hydraulicznego. Takie zwiększone przepływy pozwalają ujawnić rozbieżności pomiędzy wynikami obliczeń i pomiarów, niezauważalne dla typowych warunków pracy sieci.

Nie ma uniwersalnych wytycznych w zakresie wymaganej zbieżności wyników modelowania z pomiarami terenowymi. Każdy model wymaga indywidualnego rozpatrzenia. Należy brać pod uwagę dokładność danych wejściowych, parametry sieci oraz cele stawiane przed modelem. Załóżmy, że przyjmujemy jako kryterium zbieżności różnicę nie większą niż 2 m pomiędzy wynikami obliczeń wysokości ciśnienia z modelu i pomiarów terenowych dla typowych warunków pracy sieci. Takie kryterium jest zdecydowanie niewystarczające dla wielu sieci, dla których wahania wysokości ciśnienia wynoszą zaledwie kilka metrów. Z większą przychylnością potraktujemy to kryterium, jeżeli rzędne węzłów modelu są podane z małą dokładnością lub jeżeli kalibracja będzie prowadzona dla przepływów pożarowych.

W literaturze można znaleźć wytyczne pomocne przy wyborze kryteriów oceny jakości modelu. Przykładowe wymagania zgodności przedstawiono w tabelach 1 i 2.

**Tabela 1. Kryteria zgodności przepływu [5]**

| Rodzaj przewodu                                           | Dopuszczalna niezgodność natężenia przepływu, % |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Magistrala z przepływem $\geq 10\%$ przepływu całkowitego | $\pm 5$                                         |
| Magistrala z przepływem $< 10\%$ przepływu całkowitego    | $\pm 10$                                        |

**Tabela 2. Kryteria zgodności wysokości ciśnienia [2]**

| Parametr                                     | Wielkość   |           | % wszystkich pomiarów |
|----------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
|                                              | m          | %         |                       |
| Dopuszczalna niezgodność wysokości ciśnienia | $\pm 0,5$  | $\pm 5$   | 85                    |
|                                              | $\pm 0,75$ | $\pm 7,5$ | 95                    |
|                                              | $\pm 2$    | $\pm 15$  | 100                   |

Przystępując do analizy pożarowej należy w pierwszej kolejności określić wymaganą wydajność wodociągu dla celów przeciwpożarowych. Dla jednostek osadniczych zależy ona od liczby mieszkańców i mieści się w zakresie od 5 do 60  $\text{dm}^3/\text{s}$  [7] (tab. 3).

**Tabela 3. Wymagana wydajność sieci wodociągowej dla celów przeciwpożarowych [6]**

| Liczba mieszkańców jednostki osadniczej | Wydajność wodociągu [ $\text{dm}^3/\text{s}$ ] |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------|
| $\leq 2\,000$                           | 5                                              |
| 2 001 ÷ 5 000                           | 10                                             |
| 5 001 ÷ 10 000                          | 15                                             |
| 10 001 ÷ 25 000                         | 20                                             |
| 25 001 ÷ 100 000                        | 40                                             |
| $> 100\,000$                            | 60                                             |

Niejasne pozostaje określenie sposobu poboru wody z hydrantów dla jednostek osadniczych o liczbie mieszkańców powyżej 25 000 tys. Zgodnie z rozporządzeniem [7]: *Sieć wodociągową przeciwpożarową, dla której łączna wymagana ilość wody przekracza 20  $\text{dm}^3/\text{s}$ , należy tak zaprojektować i budować, aby możliwe było jednoczesne pobieranie wody z dwóch sąsiednich hydrantów zewnętrznych.* Zapis ten jest o tyle kontrowersyjny, że przy zachowaniu rozsądnych dopuszczalnych wartości ciśnień w sieciach wodociągowych nie jest możliwe uzyskanie z dwóch sąsiednich hydrantów DN80 łącznej wydajności 40  $\text{dm}^3/\text{s}$  nie wspominając już o 60  $\text{dm}^3/\text{s}$ . W praktyce dla takich sieci w analizach pożarowych przyjmuje się równoczesny pobór wody z dwóch hydrantów z łączną wydajnością 20  $\text{dm}^3/\text{s}$ .

Warto wspomnieć, że rozporządzenie z roku 1964 [8], które stanowiło bazę dla kolejnych uregulowań prawnych w zakresie wymagań przeciwpożarowych dla sieci wodociągowych, uwzględniało dodatkowo równoczesność powstawania pożarów. Przyjmowano wówczas wystąpienie jednego pożaru dla wodociągu o wydajności do 20  $\text{dm}^3$ , dwóch pożarów dla wodociągu o wydajności 40  $\text{dm}^3$  i trzech pożarów dla wodociągu o wydajności 60  $\text{dm}^3$  (tab. 4). Dla dwóch ostatnich przypadków oznaczało to równoczesny pobór wody odpowiednio z 4 i 6 hydrantów. Wymagania te zostały pominięte po zmianie przepisu w roku 1973 [9], w którym podano, że wskaźniki techniczne należy przyjmować zgodnie z Polską Normą [10], która już nie uwzględniała równoczesności wystąpienia pożaru. Wymagania w tym zakresie do dziś nie uległy zmianie. W praktyce dla sieci wodociągowych przeciwpożarowych do ochrony jednostek osadniczych badana jest wydajność dla co najwyżej dwóch sąsiednich hydrantów.

**Tabela 4. Wymagana wydajność sieci wodociągowej dla celów przeciwpożarowych z uwzględnieniem nieobowiązującej obecnie równoczesności wystąpienia pożarów [6]**

| Liczba mieszkańców jednostki osadniczej | Wydajność wodociągu [ $\text{dm}^3/\text{s}$ ] | Liczba mogących równocześnie powstać pożarów |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| $\leq 2\,000$                           | 5                                              | 1                                            |
| 2 001 ÷ 5 000                           | 10                                             | 1                                            |
| 5 001 ÷ 10 000                          | 15                                             | 1                                            |
| 10 001 ÷ 25 000                         | 20                                             | 1                                            |
| 25 001 ÷ 100 000                        | 40                                             | 2                                            |
| $> 100\,000$                            | 60                                             | 3                                            |

Drugim krokiem przy analizach pożarowych jest określenie sposobu modelo-

wania poboru wody. Wydajność nominalna hydrantu zależy od jego średnicy nominalnej i jest określona dla ciśnienia nominalnego 0,2 MPa mierzonego na zaworze hydrantowym podczas poboru wody. Wydajność nominalna hydrantów DN80 zarówno nadziemnych jak i podziemnych nie może być mniejsza niż 10  $\text{dm}^3/\text{s}$ . Należy zaznaczyć, że dla jednostek osadniczych o liczbie mieszkańców do 2000 sieć wodociągowa przeciwpożarowa powinna zapewniać wydajność nie mniejszą niż 5  $\text{dm}^3/\text{s}$  i przy ciśnieniu nie mniejszym niż 0,1 MPa. Hydranty DN100 stosuje się tylko w obiektach budowlanych produkcyjnych i magazynowych, w których wymagana ilość wody do celów przeciwpożarowych do zewnętrznego gaszenia pożaru przekracza 30  $\text{dm}^3/\text{s}$ , w zakładach rafineryjnych i petrochemicznych oraz na magistralnych przewodach wodociągowych przeciwpożarowych. Wydajność nominalna tych hydrantów nie może być mniejsza niż 15  $\text{dm}^3/\text{s}$ .

Porównując wydajność nominalną hydrantu DN80 z wymaganą wydajnością sieci wodociągowej dla celów przeciwpożarowych można założyć, że dla jednostek osadniczych o liczbie mieszkańców do 5 tys. w analizach pożarowych należy przyjmować pobór wody z jednego hydrantu, a w pozostałych przypadkach z dwóch równocześnie działających hydrantów. Należy zaznaczyć, że wymóg wydajności musi być spełniony dla każdego hydrantu w tym najniekorzystniej położonego, a w przypadku równoczesnego poboru wody z dwóch hydrantów powinny to być hydranty sąsiednie. Nie każdy z równocześnie działających hydrantów musi uzyskać wydajność nominalną, ważne, aby ich łączna wydajność nie była mniejsza niż wymagana.

Dyskusyjny jest zapis §7 ust. 2 rozporządzenia [7], zgodnie z którym:

*Wodociąg, który służy nie tylko do celów przeciwpożarowych, powinien mieć wydajność zapewniającą łącznie wymaganą ilość wody dla potrzeb:*

- 1) przeciwpożarowych;
- 2) bytowo-gospodarczych, ograniczonych do 15 %;
- 3) przemysłowych, ograniczonych do niezbędnej obsługi urządzeń technologicznych.

Dośłowne wdrożenie tego zapisu w praktyce oznaczałoby, że sieć wodociągowa jednostki osadniczej będzie zapewniać możliwość zaopatrzenia w wodę do celów przeciwpożarowych tylko w godzinach najmniejszych rozbiórów, czyli w kilku godzinach nocnych. Należy przypomnieć, że podobny zapis występował

we wcześniej obowiązujących przepisach i normach [7, 8] ale wówczas ograniczał się wyłącznie do zakładów pracy czy też obiektów przemysłowych. Mając na uwadze wymaganą niezawodność systemu zaopatrzenia w wodę do celów zewnętrznego gaszenia pożaru należy uwzględnić w analizach pożarowych pobór wody z hydrantów również w godzinie maksymalnego rozbioru wody.

## Analiza

Do analizy przyjęto modelową sieć wodociągową przedstawioną na rysunku 1, dla której wymagana wydajność na cele przeciwpożarowe wynosi  $20 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Sieć prowadzi wodę od źródła rurociągiem DN200 do pierścienia z rur DN125, na którym zabudowano dwa hydranty DN80 w węzłach H1 i H2. Dla celów analizy przyjęto, że sieć zaopatrza w wodę tylko wskazane hydranty, z któ-

Na rysunku 2 przedstawiono wynik obliczeń natężeń przepływów oraz wysokości ciśnień dla analizowanego modelu sieci wodociągowej, w którym narzucono wydajność każdego z dwóch hydrantów równą  $10 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Wysokości śnienia dla hydrantu H1 wyniosła 20,78 m a dla hydrantu H2 20,76 m, zatem w obu przypadkach jest większa niż 0,2 MPa co gwarantuje osiągnięcie rzeczywistej wydajności  $>10 \text{ dm}^3/\text{s}$  dla każdego z hydrantów. Nieznacznie niższe ciśnienie na hydrancie H2 wynika z większych oporów na dłuższej drodze dopływu i oznacza, że rzeczywista wydajność tego hydrantu będzie również nieznacznie niższa od wydajności hydrantu H1. Można zauważyć charakterystyczny dla tego typu układów dopływ dwukierunkowy do hydrantu H2.

Zamknięcie rurociągu pomiędzy hydrantami H1 i H2 zmienia typ sieci z pierścieniowej na rozgałęzioną. Wyniki modelowania dla takiego układu przedsta-

powodować trudność w ocenie spełnienia wymagań wynikających z przepisów przeciwpożarowych.

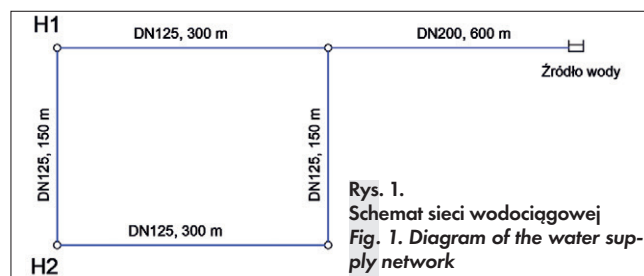
W praktyce pomiar ciśnienia dynamicznego i wydajności hydrantów odbywa się przy wypływie swobodnym. Taki rodzaj wypływu można symulować w modelu hydraulicznym w postaci wycieku z otworu o zadanych parametrach. Program Epanet wyposażony jest w moduł do symulowania wycieków oparty o wywodzące się z równania Bernoulliego powszechnie znane prawo Torricellego:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (1)$$

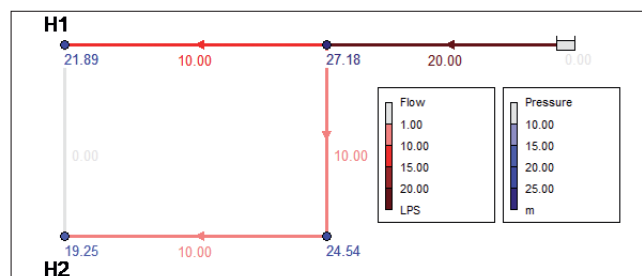
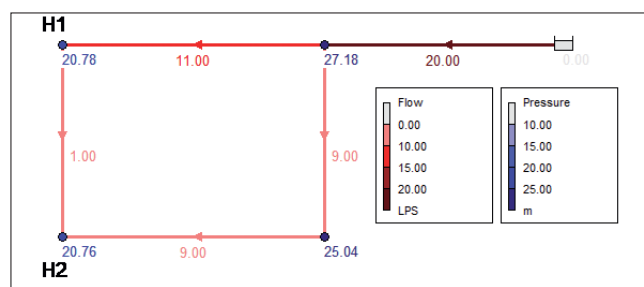
gdzie:

$v$  – prędkość wypływu przez otwór, m/s,  
 $g$  – przyspieszenie ziemskie,  $\text{m/s}^2$ ,  
 $h$  – wysokość ciśnienia przed otworem, m.

Uwzględniając lepkość cieczy oraz zjawisko kontrakcji można wyliczyć wydajność otworu:



Rys. 1.  
Schemat sieci wodociągowej  
Fig. 1. Diagram of the water supply network



Rys. 3.  
Wynik obliczeń natężenia przepływu i wysokości ciśnienia dla układu rozgałęzionego i wymuszonej wydajności hydrantów  $10 \text{ dm}^3/\text{s}$   
Fig. 3. Results of flow rate and pressure head calculations for the branched WSN with hydrant fixed discharge at  $10 \text{ dm}^3/\text{s}$

Rys. 2.  
Wynik obliczeń natężenia przepływu i wysokości ciśnienia dla układu pierścieniowego i wymuszonej wydajności hydrantów  $10 \text{ dm}^3/\text{s}$   
Fig. 2. Results of flow rate and pressure head calculations for the looped WSN with hydrant fixed discharge at  $10 \text{ dm}^3/\text{s}$

rych następuje równoczesny pobór wody, a ciśnienie w źródle wynosi 0,3 MPa.

Modelowanie poboru wody przez hydranty może być realizowane z wydajnością niezależną i zależną od wysokości ciśnienia. W pierwszym przypadku narzuca się wydajność hydrantu i sprawdza czy podczas poboru wody ciśnienie na hydrancie nie spadnie poniżej 0,1 MPa dla wymaganej wydajności  $5 \text{ dm}^3/\text{s}$  i 0,2 MPa w pozostałych przypadkach. Przyjmuje się, że spadek ciśnienia dynamicznego poniżej tych wartości oznacza brak spełnienia wymagań. Taki rodzaj analizy jest zawsze skuteczny dla jednego hydrantu jednak w przypadku równoczesnego poboru wody z dwóch hydrantów w pewnych okolicznościach może nie dawać łatwego do oceny wyniku.

wiono na rysunku 3. W analizowanym przypadku oczywisty jest wzrost wysokości ciśnienia dynamicznego na hydrancie H1 i spadek na hydrancie H2 w porównaniu do układu pierścieniowego. W konsekwencji nastąpi wzrost rzeczywistej wydajności hydrantu H1 i spadek wydajności hydrantu H2. W analizowanym przypadku wydajność hydrantu H2 spadnie poniżej  $10 \text{ dm}^3/\text{s}$  i nie ma gwarancji, że ten niedobór zostanie skompensowany przez zwiększoną wydajność hydrantu H1 w taki sposób, aby ich łączna wydajność nie była mniejsza niż  $20 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Zatem wykonanie modelu sieci wodociągowej przeciwpożarowej z narzuconą stałą wydajnością hydrantów z założenia nie daje informacji o jej faktycznej wydajności, w niektórych przypadkach może

$$Q = \mu \cdot f \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2)$$

gdzie:

$\mu$  – współczynnik wydatku otworu,  
 $f$  – powierzchnia otworu,  $\text{m}^2$ ,  
 $g$  – przyspieszenie ziemskie,  $\text{m/s}^2$ ,  
 $h$  – wysokość ciśnienia przed otworem, m.

W programie EPANET przyjęto formę uproszczoną tego równania:

$$Q = C \sqrt{h} \quad (3)$$

gdzie:

$C$  – współczynnik emitera,  $C = 1000 \cdot \mu \cdot f \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$  (dla  $Q$  wyrażonego w  $\text{dm}^3/\text{s}$ ),  $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^{-0.5}$ .

Zgodnie z powyższym równaniem przyjmując wartości nominalnej wydajności i ciśnienia można wyznaczyć dla

hydrantu DN80 wartość współczynnika  $C = 2.236$ . W obliczeniach należy pamiętać o uwzględnieniu miejscowych strat ciśnienia na: trójniku, zasuwie, kolanie stopowym i hydrancie. Wartość współczynnika  $K_v$  dla hydrantu nadziemnego DN80 dla jednej nasady 65 nie może być mniejsza niż 80, a dla dwóch nasad 65 niż 140 [11]. Dla hydrantu podziemnego DN80 minimalna wartość współczynnika  $K_v$  powinna wynosić 60 [12].

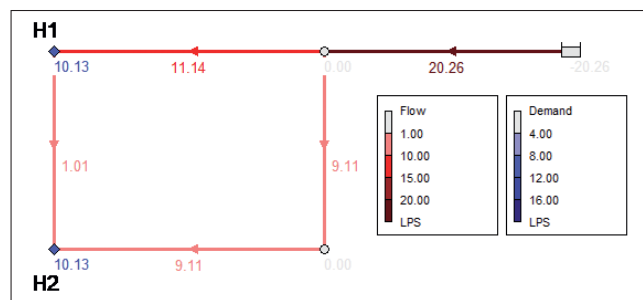
Zamodelowanie wydatku hydrantów w formie wypływu swobodnego pozwala na wyznaczenie rzeczywistej wartości ciśnienia dynamicznego (rys. 4) i rzeczywistej wydajności. W rozpatrywanym przykładzie uzyskano dla układu pierścieniowego na obu hydrantach większą wydajność niż założone  $10 \text{ dm}^3/\text{s}$  (rys. 4). W konsekwencji zwiększonego przepły-

## Podsumowanie

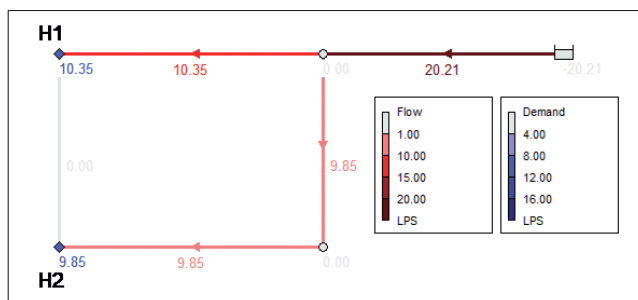
Symulowanie poboru wody z hydrantów zewnętrznych ma wielokrotnie zastosowanie w procesie modelowania hydraulicznego sieci wodociągowych. Już na etapie kalibracji modelu wymuszenie zwiększonych przepływów podczas kampanii pomiarowej pozwala na wyraźniejsze ujawnienie różnic pomiędzy modelem i pomiarami terenowymi. Skalibrowany model sieci wodociągowej pozwala na przeprowadzanie analiz pożarowych dla dowolnych scenariuszy pracy sieci. Przyjęcie stałej zadanej wydajności hydrantów w większości przypadków jest wystarczające do oceny skuteczności dostarczenia wody w odpowiedniej ilości i pod wymaganym ciśnieniem. Taki sposób modelowania nie daje jednak informacji o rzeczywi-

In Advanced Materials Research (Vols. 62–64, pp. 797–801). Trans Tech Publications, Ltd.

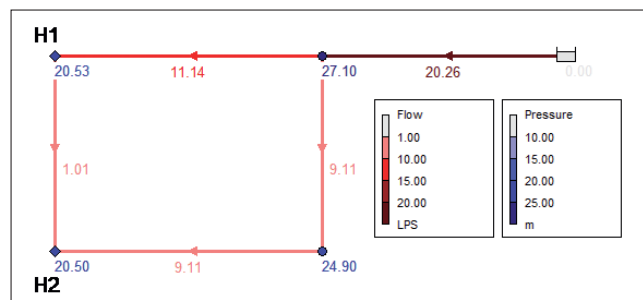
- [3] Szpak D., Różańska A.; A new method of collecting water from an external hydrant in the event of large-scale power failure; INSTAL; 2024; 12; 50-54; DOI: 10.36119/15.2024.12.9
- [4] Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 537, 1688).
- [5] T. M. Walski, D.V. Chase, D.A. Savic, W.M. Grayman, S. Beckwith, E. Koelle. (2023). Advanced water distribution modeling and management. Haestad Methods, Waterbury, USA, 2003.
- [6] Załącznik do rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r. (poz. 1030).
- [7] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych (Dz.U. 2009 nr 124 poz. 1030).
- [8] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 15 czerwca 1964 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia wodnego (Dz.U. 1964 r. Nr 25 poz. 163).



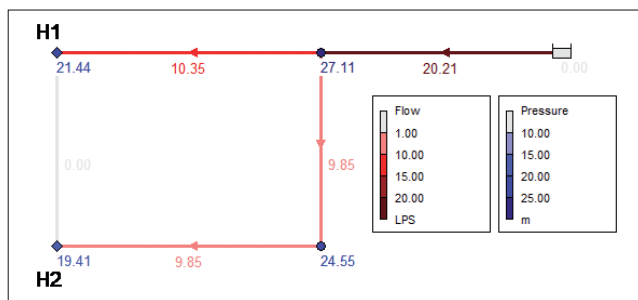
Rys. 4. Wynik obliczeń natężenia przepływu i wydatku hydrantów dla układu pierścieniowego i swobodnego wydatku hydrantów  
Fig. 4. Results of flow rate calculations and fire hydrant discharge for the looped WSN with free fire hydrant outflow



Rys. 6. Wynik obliczeń natężenia przepływu i swobodnego wydatku hydrantów dla układu rozgałęziowego  
Fig. 6. Results of flow rate calculations and free fire hydrant discharge for the branched WSN



Rys. 5. Wynik obliczeń natężenia przepływu i wysokości ciśnienia dla układu pierścieniowego i swobodnego wydatku hydrantów  
Fig. 5. Results of flow rate and pressure head calculations for the looped WSN with free fire hydrant outflow



Rys. 7. Wynik obliczeń natężenia przepływu i wysokości ciśnienia dla układu rozgałęziowego i swobodnego wydatku hydrantów  
Fig. 7. Results of flow rate and pressure head calculations for the branched WSN with free fire hydrant outflow

wu odnotowano również większy spadek ciśnienia (rys. 5).

W układzie rozgałęziowym również możliwe było wyznaczenie wydajności poszczególnych hydrantów. Na podstawie wyników symulacji przedstawionych na rysunku 6 można stwierdzić, że pomimo iż wydajność hydrantu H2 jest mniejsza niż  $10 \text{ dm}^3/\text{s}$  to łączna wydajność obu hydrantów przekracza wymagane  $20 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Odpowiadające tym przepływowi wysokości ciśnienia przedstawiono na rysunku 7.

stej wydajności hydrantów. Rozwiązaniem jest zasymulowanie wypływu swobodnego, przy którym wydajność hydrantów jest zależna od ciśnienia dynamicznego.

## LITERATURA

- [1] C. Xiao, B. Li, G. He, J. Sun, J. Ping, R. (2014) Wang, Fire Flow Capacity Analysis Based on Hydraulic Network Model, 16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA, Procedia Engineering 89, 386 – 394.
- [2] Izinyon, O. C., & Anyata, B. U. (2009). Use of Hydraulic Network Model for Evaluating Fire Flow Capacity of a Water Distribution Network.

- [9] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 30 maja 1973 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia wodnego (Dz.U. 1973 nr 11 poz. 85).
- [10] PN-71/B-02864 Ochrona przeciwpożarowa w budownictwie – Przeciwożarowe zaopatrzenie wodne – Zasady obliczania zapotrzebowania wody do celów przeciwpożarowych do zewnętrznego gaszenia pożaru
- [11] PN-EN 14384:2009 Hydranty przeciwpożarowe nadziemne
- [12] PN-EN 14339:2009 Hydranty przeciwpożarowe podziemne