

Analiza numeryczna hydraulicznych warunków pracy wybranej sieci wodociągowej

Numerical analysis of hydraulic operation conditions for a selected water supply system

URSZULA KĘPA

DOI 10.36119/15.2023.5.8

W artykule przedstawiono analizę warunków hydraulicznych pracy sieci wodociągowej projektowanej w celu zaopatrzenia w wodę mieszkańców niewielkiej jednostki osadniczej. Określono wpływ dobranych średnic przewodów na pracę niewielkiego układu sieci. Obliczone maksymalne godzinowe zapotrzebowanie na wodę dla miejscowości, dla okresu perspektywnego, było równe $Q_{hmax}=2,83 \text{ dm}^3/\text{s}$. Zapotrzebowanie na wodę do celów p.poż przyjęto zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych w wysokości $Q_{ppoż.}=5,0 \text{ dm}^3/\text{s}$. Łączna długość sieci wynosiła 2309 mb, a sieć składała się z trzech przewodów rozdzielczych (promieni) zasilanych z hydroforni.

Analizę warunków pracy sieci wykonano dla dwóch wariantów dobranych średnic. W pierwszym przyjęto średnice przewodów zgodne z Rozporządzeniem. W drugim średnice przewodów dobrano w taki sposób, aby uzyskać odpowiednie minimalne prędkości przepływu wody. Jednocześnie porównano straty ciśnienia występujące w obu wariantach. Przeanalizowano również pracę sieci przy przepływach tylko gospodarczych, bez uwzględnienia przepływu na cele p.poż., w warunkach, jakie zazwyczaj panują w trakcie eksploatacji. Do analizy wykorzystano wykonany w programie Epanet 2 model hydrauliczny sieci.

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że obowiązujące przepisy prawne w przypadku niewielkich, nowych systemów wodociągowych wymuszają przyjmowanie zbyt dużych średnic przewodów. Osiągane prędkości przepływu wody w sieci w czasie normalnej eksploatacji są znacznie poniżej minimalnej wymaganej wartości 0,5 m/s. Sieci wodociągowe wymagają wówczas wzmożonych zabiegów eksploatacyjnych oraz nie są wykorzystywane w pełnym zakresie. Należałoby dopuścić, dla niewielkich systemów wodociągowych, możliwość doboru mniejszych średnic rurociągów, podobnie jak ma to miejsce przy rozbudowie sieci wodociągowych. Wymagałoby to przeprowadzenia pełnej analizy hydraulicznej projektowanej sieci wraz z wykreśleniem linii ciśnienia minimalnego.

Słowa kluczowe: sieć wodociągowa, projektowanie, eksploatacja, niewielkie jednostki osadnicze

The article presents an analysis of a water supply network designed to deliver water to small settlement unit. The impact of selected pipe diameters on the operation of a small network system was determined. The calculated maximum water hourly demand for the perspective period, was equal to $Q_{hmax}=2.83 \text{ dm}^3/\text{s}$. The demand for water for fire protection purposes was determined based on the "Regulation of the Minister of Interior and Administration of July 24, 2009 on fire water supply and fire roads" (original: "Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych") in the amount of $Q_{fire} = 5.0 \text{ dm}^3/\text{s}$. The total length of the network was 2309 m, and the network consisted of three distribution lines (rays).

The network operating conditions were analysed for two cases of selected diameters. In the first case, the diameters of the pipes were in compliance with the Regulation. In the second, the diameters of the pipes were selected to obtain the required minimum water flow rates. At the same time, the pressure losses occurring in both cases were compared. The network operation was also analysed with only flows for domestic purposes, without the fire protection flows, in conditions that usually prevail during operation. The hydraulic model of the network made in the Epanet 2 program was used for the analysis.

Based on the analysis, it was found that in the case of small, new water supply systems, the applicable legal regulations force usage of pipes with excessively large diameter. Velocity of water flow in the network during normal operation is well below the minimum required value of 0.5 m/s. Water supply networks then require increased maintenance and are not used to their full extent. It should be allowed for small water systems to use pipelines with smaller diameter, similarly to the expansion of water supply systems. This would require a full hydraulic analysis of the designed network, for example using hydraulic modelling.

Keywords: water supply network, design, operation, small settlement units

Wprowadzenie

Sieć wodociągowa to zazwyczaj najdroższa część systemu wodociągowego. Jej zadaniem jest dostarczenie wody w wymaganej ilości, o odpowiedniej jakości, pod właściwym ciśnieniem i w dogodnym dla każdego odbiorcy czasie [1]. Warunkiem właściwego pełnienia powyższych zadań jest odpowiednie zaprojektowanie sieci, prawidłowe jej wykonanie, oraz późniejsza eksploatacja. Projektowanie systemu wodociągowego to złożony proces, w którym etapy trasowania sieci i wykonania obliczeń hydraulicznych powinny zostać poprzedzone szczegółowym zapoznaniem się z szeregiem wymagań zawartych w Ustawie o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzeniu ścieków, rozporządzeniach czy warunkach technicznych. Wykonany projekt powinien pozostawać z nimi w zgodności. W dniu dzisiejszym moc obowiązującą w zakresie określania zapotrzebowania na wodę mają w zasadzie tylko dwa akty prawne: Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody (Dz. U. 2002 nr 8 poz. 70) [2] oraz Rozporządzenia 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 [3]. Brak jest bardziej szczegółowych wytycznych odnośnie do warunków projektowania sieci wodociągowej. Przedsiębiorstwa wodociągowe radzą sobie z brakiem odpowiednich aktów prawnych poprzez przygotowywanie własnych wytycznych technicznych. Zawarte w nich są między innymi informacje odnośnie do stosowanych materiałów dla projektowanych przewodów, metod łączenia, wymagań dla zasuw, hydrantów oraz innej armatury. Wytyczne te należy uwzględnić przy opracowywaniu dokumentacji projektowych sieci wodociągowych usytuowanych na terenie działania danego przedsiębiorstwa. Jednak zazwyczaj brak w nich danych, które niezbędne są do obliczeń hydraulicznych, takich jak: przeciętne zużycie wody na obszarze zaopatrywanym przez sieć wodociągową, współczynniki nierównomierności dobowej i godzinowej dla danej sieci, wielkość strat wody, które należałoby uwzględnić w bilansie itd. Z tego względu wykonane obliczenia często nie odpowiadają rzeczywistym warunkom panującym w danej sieci.

Przy projektowaniu sieci wodociągowych konieczne jest przestrzeganie zasad znajdujących się w Rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych.

Rozporządzenie dotyczy obliczania zapotrzebowania na wodę do celów przeciwpożarowych oraz projektowania wodociągów sieci przeciwpożarowych. W Rozporządzeniu określone są minimalne dopuszczalne średnice przewodów wodociągowych w zależności od rodzaju sieci. Przy rozbudowie i modernizacji istniejącego wodociągu o wydajności do 5 dm³/s i liczbie mieszkańców do 2.000 dopuszczalna jest minimalna średnica wewnętrzna przewodów rozdzielczych równa 80 mm. W przypadku projektowania nowych wodociągów minimalna średnica wewnętrzna dla sieci rozgałęzieniowej wynosi 125 mm, a dla sieci obwodowej 100 mm.

Z przytoczonych wymagań wynika, że w przypadku projektowania nowej sieci wodociągowej na terenie niewielkich jednostek osadniczych, gdzie zazwyczaj mamy do czynienia z siecią typu promienistego, minimalne średnica przewodu powinna wynosić 125 mm. Podana średnica jest średnicą wewnętrzną przewodu. W chwili obecnej sieci na obszarach wiejskich, o niewielkich średnicach, wykonuje się zazwyczaj z przewodów wykonanych z tworzyw sztucznych: PE lub PVC. Uwzględniając grubości ścianek przewodów, różne dla poszczególnych typoszeręgów rur w zależności od ciśnienia nominalnego, średnice handlowe przewodów możliwych do zastosowania będą następujące:

PE-HD PN10 DN 140, gdzie średnica wewnętrzna wynosi 123,4 mm,
PE-HD PN16 DN 160 – średnica wewnętrzna 130,8 mm,
PVC PN10 DN 160 – średnica wewnętrzna 147,6 mm,
PVC PN16 DN 160 – średnica wewnętrzna 141,0 mm.

Dla rur PE-HD PN10 wydaje się słusznym dopuścić średnicę wewnętrzną 123 mm, mniejszą od podanej w Rozporządzeniu [3], ze względu na to, że przewody z tworzyw sztucznych charakteryzują się lepszą przepływnością właściwą od przywołanych w nim rur stalowych. W innym przypadku należałoby tutaj zwiększyć średnicę o kolejną dymensję i przyjąć przewody PE PN10 ϕ 160, dla których średnica wewnętrzna wynosi 141,0 mm.

Podane wyżej wymagania narzucają przy projektowaniu niewielkich systemów wodociągowych stosowanie średnic przewodów, dla których uzyskiwane prędkości przepływu wody, nawet przy maksymalnych rozbiorach bytowo-gospodarczych, nie osiągają zalecanych wartości minimalnych. Jest to tym bardziej istotne, że obserwujemy znaczny spadek jednostkowego zapotrzebowania na wodę na przestrzeni ostatnich lat. Z drugiej strony eksploatowane na terenach wiejskich wodociągi nierzadko posiadają mniejsze średnice niż podane w Rozporządzeniu, często średnica wewnętrzna przewodu równa jest 100 mm.

Wykorzystując modelowanie numeryczne pracy sieci możemy na etapie projektu zweryfikować, czy możliwe byłoby dla danej jednostki, ewentualne zastosowanie mniejszych średnic oraz jaki miałyby to wpływ na zaopatrzenie w wodę do celów p. poz.

Celem artykułu było określenie warunków pracy niewielkiego systemu wodociągowego, zaprojektowanego w układzie promienistym. W oparciu o wykonany model numeryczny sieci wodociągowej przeprowadzono symulacje pokazujące pracę dla ustalonych warunków zasilania i zmiennych warunków zapotrzebowania na wodę. Przeanalizowano wariant pracy sieci w warunkach standardowego zapotrzebowania na wodę oraz przy uwzględnieniu dodatkowego zapotrzebowania na cele przeciwpożarowe. Na podstawie przeprowadzonych symulacji określono wpływ dobranych średnic przewodów na pracę układu.

Charakterystyka wiejskich systemów wodociągowych

Systemy zaopatrzenia w wodę na terenach wiejskich, charakteryzują się odmiennymi rozwiązaniami w zakresie układu sieci i warunków pracy w stosunku do tych występujących w miastach. Przyczyn tego stanu jest wiele i są one związane przede wszystkim z innymi warunkami miejscowymi. Poniżej wymieniono charakterystyczne cechy tych systemów [4, 5 – 8].

Na terenach wiejskich dominuje niska zabudowa, która w większości przypadków jest rozproszona oraz pokrywa obszarowo mniejszy teren. Źródło wody w przeważającej części stanowią ujęcia wody podziemnej (ok 99,8%), podczas gdy wodociągi miejskie są zasilane również z większych rzek i zbiorników retencyjnych. W wodociągach wiejskich urządzenia uzdatniające wodę, o często powtarzalnym schemacie technologicznym (wymagane procesy to zazwyczaj odżelazianie, odmanganianie i dezynfekcja) pracują w układzie ciśnieniowym, rzadko stosowanym w miejskich stacjach uzdatniania. Odbiorcy wody na terenach wiejskich wymagają niewielkich niższych ciśnień wody, zwłaszcza w sprzyjających warunkach terenowych, w stosunku do ciśnienia niezbędnego w miastach, w szczególności przy wysokiej zabudowie. Zazwyczaj wystarczające jest utrzymywanie ciśnienia o minimalnej wartości 0,2 MPa, które jest wymagane ze względów przeciwpożarowych. Wśród cech odmienności systemów można wymienić również układ przewodów. Sieć wodociągowa na obszarach wiejskich jest przeważnie siecią promienistą o dużej rozległości, co wynika z rodzaju zabudowy oraz jej rozproszenia. Budowa sieci wiejskiej charakteryzuje się bardziej zwartym układem, jest to

zazwyczaj sieć pierścieniowa, z ewentualnymi rozgałęzieniami. Także warunki hydrauliczne pracy sieci wodociągowej są odmienne. Na terenach pozamiejskich przeważają punktowe rozbiory wody, nierzadko zlokalizowane w dużych odległościach, z kolei w miastach przyłącza zazwyczaj położone są blisko siebie. W układzie wiejskiej sieci wodociągowej w zasadzie nie występują przewody magistralne o stałym przepływie wody (bez rozbiórów), które są charakterystyczne dla układów miejskich, występują natomiast częściej przewody tranzytowe.

Wszystkie powyższe cechy różniące systemy wodociągowe występujące na terenach wiejskich od tych zlokalizowanych w miastach, wymagają odrębnych rozwiązań zarówno w zakresie projektowania jak i eksploatacji [5].

Charakterystyka sieci wodociągowej i dane wyjściowe do obliczeń

W artykule poddano analizie niewielką sieć wodociągową zaprojektowaną w celu zaopatrzenia w wodę mieszkańców wsi położonej w województwie małopolskim, w gminie Myślenice. Analizowany wodociąg zasilają tereny o typie zabudowy rozproszonej, mieszkaniowej, jednorodzinnej oraz letniskowej. Wysokość zabudowy nie przekracza trzech kondygnacji. Obszar charakteryzuje się dość dużym zróżnicowaniem wysokościowym. Różnica rzędnych pomiędzy najniższym i najwyższym punktem wynosi 30,8 m. Zbiornik zapasowo-wyrównawczy wody zlokalizowany jest na terenie o rzędnej 412,0 m npm, zaś najwyższy położony punkt zasilania posiada rzędną 442,80 m npm. Ukształtowanie terenu nie jest więc korzystne z punktu widzenia pracy pompowni II stopnia, dostarczającej wodę do odbiorców. Zaprojektowana została sieć wodociągowa zasilająca 66 istniejących budynków mieszkalnych. Układ składa się z odcinka przewodu tranzytowego doprowadzającego wodę z pompowni do trzech przewodów rozdzielczych, zasilających z kolei poszczególne przyłącza. Łączna długość przewodów wynosi 2309 mb. Schemat struktury geometrycznej sieci oraz ukształtowanie wysokościowe terenu przedstawiono na rys. nr 1 (lokalizację pompowni II stopnia zaznaczono za pomocą strzałki).

Do obliczeń zapotrzebowania na wodę przyjęto następujące założenia:

- 3 mieszkańców przypadających na 1 budynek,
- zabudowanie w perspektywie wszystkich pustych obecnie działek ewidencyjnych, sumaryczna liczba budynków zasilanych w perspektywie wyniosła 123 sztuki,
- zapotrzebowanie na wodę przypadające na jednego mieszkańca $100 \text{ dm}^3/(\text{Mk} \cdot \text{d})$,

- współczynniki nierównomierności $N_d = 2,0$ $N_h = 3,0$
- zapotrzebowanie na wodę na cele ppoż. $Q_{\text{poż.}} = 5,00 \text{ dm}^3/\text{s}$ (jednostka osadnicza licząca do 2 tys. mieszkańców),
- straty wody na poziomie 10 %,
- stała dla obu wariantów analizy wysokość podnoszenia pomp II stopnia.

Dla powyższych danych wyjściowych obliczone sumaryczne zapotrzebowanie na wodę na cele bytowo - gospodarcze i ppoż. wyniosło $\Sigma Q_{h \text{ max}} = 7,83 \text{ dm}^3/\text{s}$.

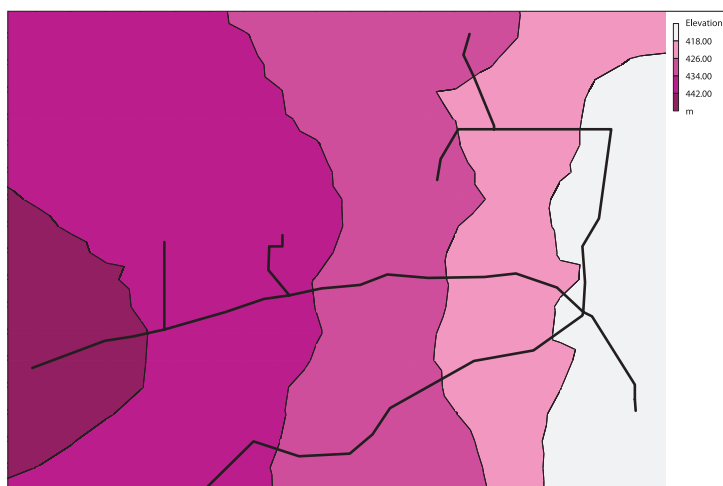
Analiza pracy sieci wodociągowej przy wykorzystaniu modelowania hydraulicznego

Model numeryczny odwzorowujący warunki hydrauliczne wykonano w programie Epanet 2. Jest to program przeznaczony do symulacji układów dystrybucji wody, opracowany przez United States Environmental Protection Agency w 1994 roku [9]. Program

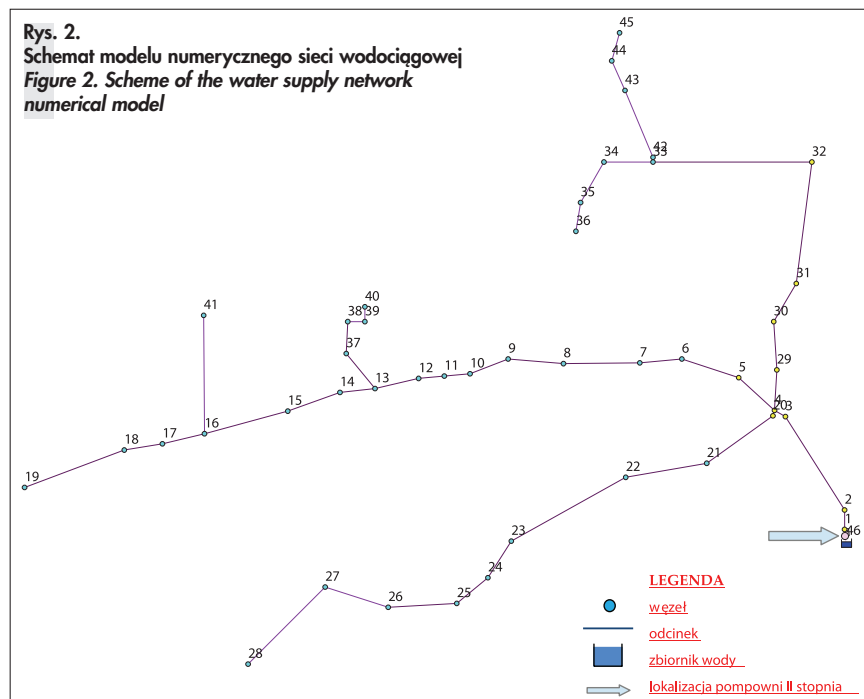
jest darmowy i wiele płatnych aplikacji do matematycznych symulacji hydrauliki wykorzystuje algorytmy Epanetu. Modelowanie hydrauliczne przynosi wymierne oszczędności na etapie projektowania i budowy sieci, ponieważ eliminuje błędy, które mogłyby uwidocznić się dopiero na etapie wykonawstwa lub eksploatacji [10-13].

Projektując układ przewodów oparto się na mapie zasadniczej, na podstawie której wytrasowano sieć i odczytano rzędne terenu. Zbudowany model sieci składa się z 45 węzłów połączonych między sobą poprzez 44 odcinki rur. Jako materiał przewodów przyjęto PE – HD, typoszereg rur PE100 SDR 17 PN10. Schemat budowy sieci przedstawiono na rys. nr. 2. Opracowany model odzwierciedla wszystkie odcinki projektowanej sieci o przyjętych średnicach oraz ich wysokościowe położenie. Do modelowania zastosowano analizę jednookresową (warunki statyczne przy maksymalnym zapotrzebowaniu na wodę).

Rys. 1. Schemat sieci wodociągowej i ukształtowanie wysokościowe analizowanego obszaru
Figure 1. Scheme of the water supply system and altitude profile of the analysed area



Rys. 2. Schemat modelu numerycznego sieci wodociągowej
Figure 2. Scheme of the water supply network numerical model



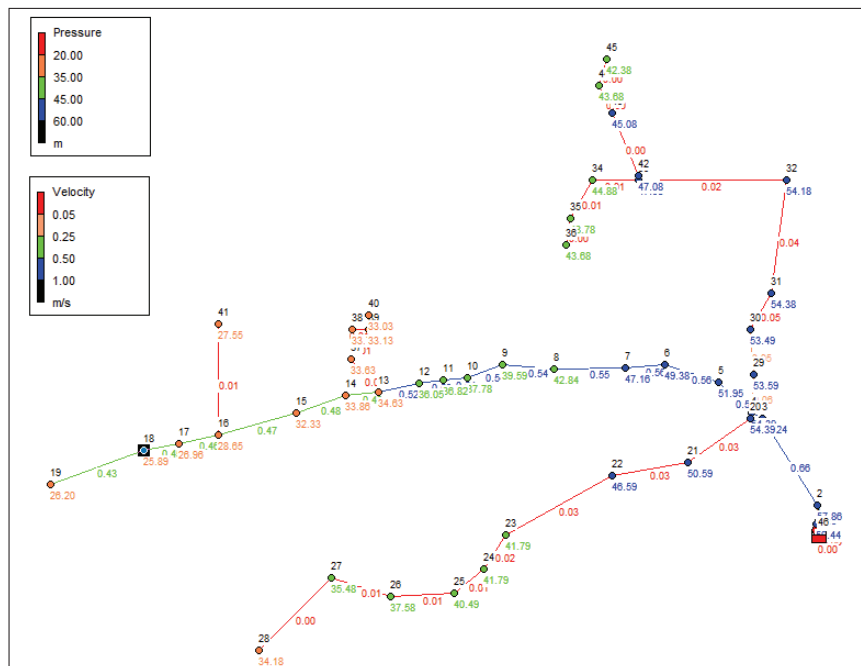
Podczas dokonywania obliczeń hydraulicznych najważniejsze z punktu widzenia projektanta jest określenie prawidłowej średnicy przewodu, pozwalającej na zachowanie założonej na wstępie prędkości przepływu, a także obliczenie liniowych i miejscowych strat ciśnienia oraz wyznaczenie wysokości ciśnienia panującego w punkcie węzłowym przy danej wielkości przepływu. Analizę warunków pracy sieci wykonano dla dwóch wariantów przyjętych średnic. W pierwszym etapie przyjęto średnice przewodów zgodnie z Rozporządzeniem [2]. W drugim średnice przewodów dobrano w taki sposób, aby uzyskać minimalne wymagane prędkości przepływu wody 0,5 m/s przy przepływie p.poż. Ze względu na niewielkie przepływy nie wystąpiła konieczność różnicowania średnic na poszczególnych odcinkach. Następnie porównano straty ciśnienia występujące w obu wariantach. Przeanalizowano również pracę sieci przy przepływach tylko gospodarczych, w warunkach, jakie zazwyczaj panują w trakcie eksploatacji, bez uwzględnienia przepływu na cele p.poż.

Wyznaczenie linii ciśnienia w sieci wykonano dla jej najdłuższego (1025 mb) i najbardziej niekorzystnego hydraulicznie promienia, a więc od pompowni zlokalizowanej przy zbiorniku wyrównawczym poprzez punkty węzłowe 1,2,3,4,5,6, itd aż do pkt. 19.

Sprawdzono również pozostałe odgałęzienia sieci, jednak, ze względu na mniejsze przepływy oraz korzystniejsze ukształtowanie terenu, wysokość minimalnego ciśnienia roboczego dla węzłów zlokalizowanych w powyższych promieniach była wyższa. Przepływ pożarowy w wysokości 5,00 dm³/s każdorazowo lokalizowano w najmniej korzystnym, końcowym węźle dla każdego z analizowanych odgałęzień.

Graf sieci przedstawiający wysokości ciśnienia i prędkości przepływu wody, przy uwzględnieniu przepływu na cele p.poż oraz dla średnic dobranych zgodnie z Rozporządzeniem [3], przedstawiono na rys. nr 3. Wybrane wyniki dla najbardziej niekorzystnego fragmentu sieci zamieszczono w tabeli 1.

Przedstawione w tabeli powyżej wybrane wartości prędkości przepływu wody odzwierciedlają warunki panujące w całej sieci. Prędkości przepływu na poszczególnych odcinkach wahają się w granicach 0,43 – 0,66 m/s. Tylko na połowie długości analizowanego odgałęzienia (rys. 3 – kolor niebieski) prędkości mieszczą się w dopuszczalnych granicach zalecanych dla sieci wodociągowych (0,5-1,0 m/s). Oznacza to, że wystąpi konieczność okresowych płukań przewodów, przy wykorzystaniu hydrantów p.poż.. W modelu numerycznym sprawdzono, że dla uzyskania prędkości powyżej 0,5 m/s konieczne będzie równoczesne otwarcie dwóch



Rys. 3.

Graf sieci przedstawiający wysokości ciśnienia i prędkości przepływu wody przy uwzględnieniu przepływu na cele p.poż, średnice przewodów zgodnie z [3]

Figure 3. A network graph showing the heights of pressure and water flow velocity, with fire protection flow, pipe diameters according to [3]

Tabela 1. Zestawienie wyników dla wybranych odcinków z uwzględnieniem przepływu na cele p. poż, średnice przewodów zgodnie z [3]

Table 1. Results for selected sections with the fire protection flow, pipe diameters according to [3]

Odc.	Materiał, typ	Śred. zew.	Śred. wew.	Q obl.	Dł. odc.	Prędkość przepływu	Wysokość ciśnienia węzeł początkowy	Wysokość ciśnienia węzeł końcowy
		mm	mm	l/s	m	m/s	m. sł. H ₂ O	m. sł. H ₂ O
2 3	PE-HD 100 SDR 17 PN10	140	123	7,83	121	0,66	57,86	55,24
4 5	PE-HD 100 SDR 17 PN10	140	123	6,70	53	0,56	54,39	51,95
16 17	PE-HD 100 SDR 17 PN10	140	123	5,41	47	0,46	28,65	26,96
18 19	PE-HD 100 SDR 17 PN10	140	123	5,09	116	0,43	25,89	26,20

hydrantów. Tym samym przy zaprojektowaniu sieci o średnicach zgodnych z Rozporządzeniem na końcowych odcinkach sieci nie będzie możliwości uzyskania odpowiedniej prędkości przepływu wody.

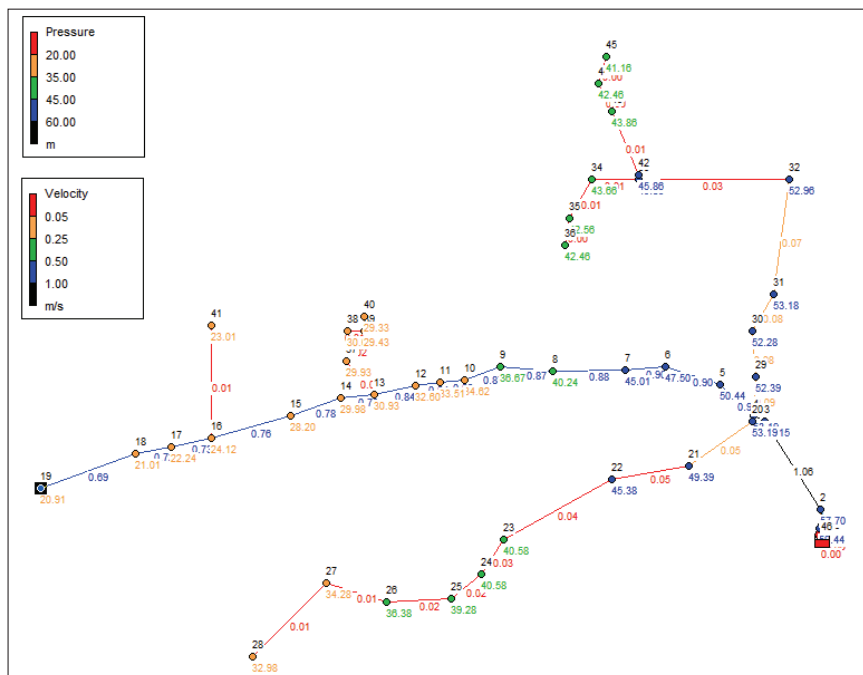
Zaobserwowano, że we wszystkich węzłach sieci wysokość ciśnienia waha się w granicach 57,86-26,65 m sł. H₂O, i jest wystarczająca zarówno dla zasilania wszystkich budynków, jak i hydrantów przy uruchomionym przepływie przeciwpożarowym. Dzięki zastosowaniu modelowania numerycznego sprawdzono, że płukanie nie wpłynie niekorzystnie na warunki dostawy wody do odbiorców.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki dla najdłuższego odcinka sieci i przy uwzględnieniu przepływu na cele p.poż., ale dla średnic mniejszych niż wymagane w Rozporządzeniu [3]. Przyjęto przewody PE-HD 100 SDR 17 PN10 DN110, dla których średnica wewnętrzna jest równa 97 mm. Przewody takie są powszechnie stosowane w eksploatawanych sieciach wodociągowych [14, 15]. Na

rys. nr 4 uwidoczniono wysokości ciśnienia i prędkości przepływu wody dla całej sieci.

Porównując otrzymane rezultaty dla mniejszych dobranych średnic można zaobserwować wzrost prędkości przepływu na wszystkich odcinkach sieci. Równocześnie obserwowany spadek ciśnienia wody w węzłach nie wpłynie negatywnie na dostawę wody do odbiorców oraz wydajność hydrantu przy przepływie przeciwpożarowym. Dla najbardziej niekorzystnie położonych węzłów sieci ciśnienie nie spada poniżej 0,2 MPa. Wysokość strat ciśnienia przy przepływie przez analizowany odcinek, w stosunku do wcześniej przyjętej średnicy, wzrosła o 5,3 m sł. H₂O, Świadczy to o możliwości zastosowania przewodów o mniejszej średnicy od wymaganej zgodnie z obowiązującym Rozporządzeniem.

Należy pamiętać, że przedstawione w tabelach 1 i 2 wyniki odnoszą się do maksymalnych przepływów wody, występujących przy uruchomionym zasilaniu hydrantów przeciwpożarowych. W warunkach normalnej eksploatacji ilość wody dostarczana



Rys. 4.

Graf sieci przedstawiający wysokości ciśnienia i prędkości wody, przy uwzględnieniu przepływu na cele p.poż, średnice przewodów zapewniające wymaganą min. prędkość przepływu wody
Figure 4. A network graph showing the heights of pressure and water flow velocity, with fire protection flow, pipe ensuring the required minimum flow velocity

Tabela 2. Zestawienie wyników dla wybranych odcinków z uwzględnieniem przepływu na cele p. poż, średnice zapewniające wymaganą minimalną prędkość przepływu
Table 2. Results for selected sections with the fire protection flow, diameters ensuring the required minimum flow velocity

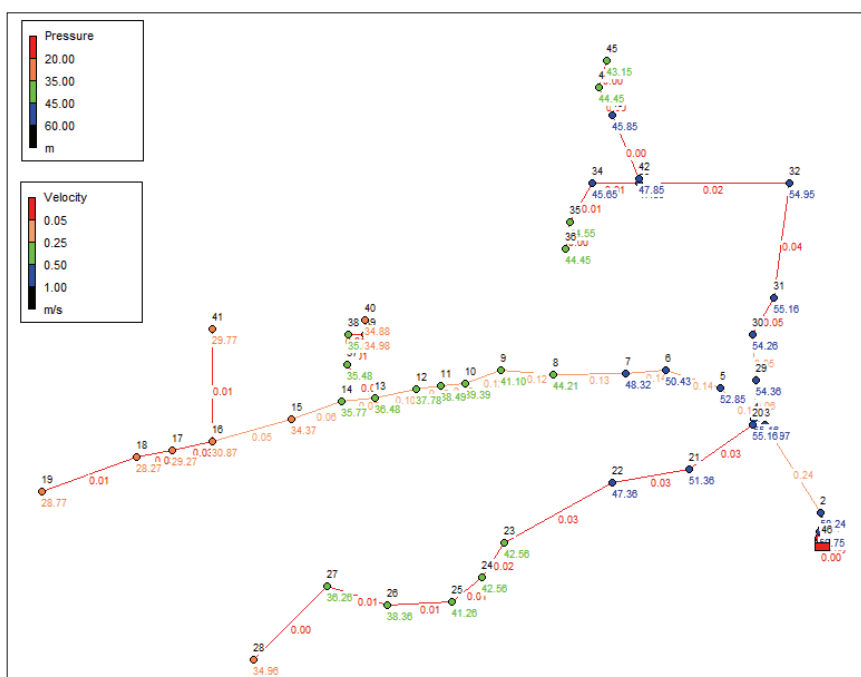
Odc.	Materiał, typ	Śred. zew.	Śred. wew.	Q obl.	Dł. odc.	Prędkość przepływu	Wysokość ciśnienia węzeł początkowy	Wysokość ciśnienia węzeł końcowy
		mm	mm	l/s	m	m/s	m. sł. H ₂ O	m. sł. H ₂ O
2 3	PE 100 SDR 17 PN10	110	97	7,83	121	1,06	57,70	54,15
4 5	PE 100 SDR 17 PN10	110	97	6,70	53	0,91	53,19	50,44
16 17	PE 100 SDR 17 PN10	110	97	5,41	47	0,73	24,12	22,24
18 19	PE 100 SDR 17 PN10	110	97	5,09	116	0,69	21,01	20,91

przez sieć do odbiorców jest znacznie mniejsza. Warunki hydrauliczne dla standardowej eksploatacji dla obu wariantów dobranych średnic przewodów przedstawiają rysunki nr 5 i 6, a wybrane wyniki zamieszczono w tabelach nr 3 i 4.

Analizując powyższe wyniki można stwierdzić, że zarówno przy zastosowaniu średnicy DN140 jak i DN 110 prędkości przepływu wody przy przepływach bytowo-gospodarczych są na wszystkich odcinkach poniżej wartości zalecanych. Porównując prędkości przepływu wartości uzyskane dla średnicy DN110 są nieznacznie wyższe od wartości dla średnicy DN 140. Przy tak małych prędkościach w czasie eksploatacji wodociągu, dla

Rys. 5.

Graf sieci przedstawiający wysokości ciśnienia i prędkości wody, bez przepływu na cele p.poż, średnice przewodów zgodnie z [3]
Figure 5. A network graph showing the heights of pressure and water flow velocity, without fire protection flow, pipe diameters according to [3]



obu wariantów, konieczne będzie okresowe płukanie sieci. Dla mniejszej średnicy wymagane okresowe płukanie będzie jednak bardziej efektywne, w szczególności dla końcowych odcinków. Przyjęcie średnicy DN110 nie wpłynie również niekorzystnie na osiągnięcie wymaganej wydajności hydrantu.

Wnioski

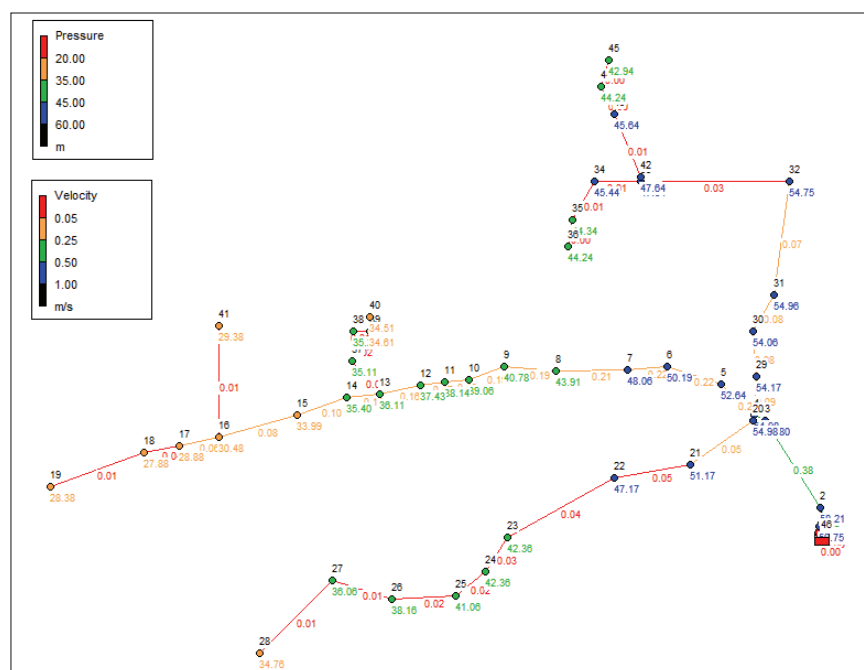
W rezultacie przeprowadzonej analizy z zastosowaniem modelowania numerycznego uzyskano wyniki symulacyjne, na podstawie których sformułowano następujące wnioski:

1. Analiza rozkładu prędkości wykazała, iż w przypadku zastosowania średnic przewodów zgodnych z obowiązującym Rozporządzeniem [3] dla części odcinków sieci prędkości przepływu wody przy przepływach p.poż. są mniejsze od zalecanej wartości 0,5 m/s.
2. Zastosowanie mniejszych średnic przewodów pozwoliło na uzyskanie wymaganych minimalnych prędkości przy przepływach p.poż., jednocześnie nie powodując spadku ciśnienia poniżej wymaganej wartości 0,2 MPa w najbardziej niekorzystnie położonych węzłach sieci.
3. Niezależnie od zastosowanej średnicy, przy przepływach bytowo-gospodarczych, na dużej liczbie odcinków sieci, nawet w czasie maksymalnych rozbiórów (ale bez uwzględniania przepływu przeciwpożarowego) panują warunki powodujące stagnację wody – prędkość jest mniejsza od 0,1 m/s. Zastosowanie mniejszych średnic przewodów pozwala na uzyskanie większych prędkości przepływu i umożliwi efektywniejsze płukanie

Tabela 3. Zestawienie wyników dla wybranych odcinków bez uwzględniania przepływu na cele p. poż, średnice przewodów zgodnie z [3]

Table 3. Results for selected sections (without the fire protection flow), pipe diameters according to [3]

Odc.	Materiał, typ	Śred. zew.	Śred. wew.	Q obl.	Dł. odc.	Prędkość przepływu	Wysokość ciśnienia węzeł początkowy	Wysokość ciśnienia węzeł końcowy
		mm	mm	l/s	m	m/s	m. sł. H ₂ O	m. sł. H ₂ O
2 3	PE-HD 100 SDR 17 PN10	140	123	2,83	121	0,24	58,24	55,97
4 5	PE-HD 100 SDR 17 PN10	140	123	1,70	53	0,14	55,16	52,85
16 17	PE-HD 100 SDR 17 PN10	140	123	0,41	47	0,03	30,87	29,27
18 19	PE-HD 100 SDR 17 PN10	140	123	0,09	116	0,01	28,27	28,77



Rys. 6.

Graf sieci przedstawiający wysokości ciśnienia i prędkości wody, bez przepływu na cele p.poż, średnice zapewniające wymaganą min. prędkość wody przy przepływie p.poż.

Figure 6. A network graph showing the heights of pressure and water flow velocity, without fire protection flow, diameters ensuring the required minimum flow velocity for fire protection flow

Tabela 4. Zestawienie wyników dla wybranych odcinków bez uwzględniania przepływu na cele p. poż, średnice zapewniające wymaganą minimalną prędkość przepływu przy przepływie p.poż.

Table 4. Results for selected sections (without the fire protection flow), diameters ensuring the required minimum flow velocity for fire protection flow

Odc.	Materiał, typ	Śred. zew.	Śred. wew.	Q obl.	Dł. odc.	Prędkość przepływu	Wysokość ciśnienia węzeł początkowy	Wysokość ciśnienia węzeł końcowy
		mm	mm	l/s	m	m/s	m. sł. H ₂ O	m. sł. H ₂ O
2 3	PE-HD 100 SDR 17 PN10	110	97	2,83	121	0,38	58,21	55,80
4 5	PE-HD 100 SDR 17 PN10	110	97	1,70	53	0,23	54,98	52,64
16 17	PE-HD 100 SDR 17 PN10	110	97	0,41	47	0,06	30,48	28,88
18 19	PE-HD 100 SDR 17 PN10	110	97	0,09	116	0,01	27,88	28,38

projektowanej sieci przy wykorzystaniu hydrantów p. poż.

- Wykorzystanie modelowania numerycznego do projektowania sieci wodociągowej pozwala na przeanalizowanie warunków jej pracy dla różnych wariantów wykonania i wybór najbardziej ekonomicznego rozwiązania. Opracowany model może następnie być wykorzystany w eksploatacji sieci wodociągowej. Można dzięki niemu sprawdzić np. możliwość dokonywania nowych inwestycji (np. rozbudowy sieci) oraz zaprojekto-

wać powyższe w sposób najmniej uciążliwy dla odbiorców.

Podsumowując, na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że obowiązujące przepisy w przypadku niewielkich, nowych systemów wodociągowych wymuszają przyjmowanie zbyt dużych średnic przewodów. Nie jest wówczas możliwe uzyskanie wymaganej minimalnej prędkości przepływu wody 0,5 m/s. Z tego względu sieci wymagają wzmocnionych zabiegów eksploatacyjnych i przez przeważający czas nie są wykorzystywane w pełnym zakresie. Należałoby dopu-

ścić, dla niewielkich systemów wodociągowych, możliwość doboru mniejszych średnic rurociągów, podobnie jak ma to miejsce przy rozbudowie sieci wodociągowych. Warunkiem zastosowania takich średnic mogłoby być przeprowadzenie pełnej analizy hydraulicznej projektowanej sieci, na przykład przy wykorzystaniu modelowania numerycznego.

Praca została wykonana w ramach BS-PB 400/301/23.

LITERATURA

- Ustawa o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzeniu ścieków z dn 7 czerwca 2001 r, Dz. U. 2023 poz. 537
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002r w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody, Dz. U. 2002 nr 8 poz. 70.
- Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009r w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych, Dz. U. 2009 Nr 124, poz. 1030.
- OCIEPA E., LACH J., Specyfika rozwiązań wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę regionu częstochowskiego, mat. konf. XIV Konferencji Nauk.-Tech.: Aktualne Problemy Gospodarki Wodno-Ściekowej, Ustroń, str.385-394, 2004
- Wodociągi i kanalizacja w Polsce, tradycja i współczesność, praca pod red. DYMACEW-SKI Z., SOZAŃSKI M., Polska Fundacja Zasobów Wodnych, Poznań-Bydgoszcz, 2002.
- BERGEL T., KACZOR T., BUGAJSKI P., Stan techniczny sieci wodociągowych w małych wodociągach województwa małopolskiego i podkarpackiego, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Nr 3/IV, PAN, str. 291-304, 2013.
- KRAWCZYK D. Rozbudowa sieci wodociągowej i kanalizacyjnej na obszarach wiejskich w perspektywie 2020, Studia KPZK nr 154, PAN, str. 180 – 199, 2014.
- SIWIEC T., KALENIK M., Programowanie budowy i rozbudowy systemów wodociągowych i kanalizacyjnych w gminach, Technologia Wody, nr 6(44), str 68-72, 2015.
- Rossman, L.A. Epanet 2 Users Manual; U.S. Environmental Protection Agency: Cincinnati, OH, USA, 2000
- KŁAWCZYŃSKA A., Modelowanie układów rozprowadzania wody, Wodociągi-Kanalizacja, nr 9, str. 30-31, 2006
- RUTKOWSKI T., Od modelowania, przez symulację do sterowania, Wodociągi-Kanalizacja, nr 10, str. 12-15, 2005
- KOWALSKI D., KOWALSKA B., SUCHORAB P., Propozycja metody diagnostycznej dla sieci wodociągowej, Instal, nr 7-8, str. 55-60, 2021, DOI 10.36119/15.2021.7-8.8.
- SUVIZIA A., FARGHADAN A., ZAMANI M. S., A Parallel Computing Architecture Based on Cellular Automata for Hydraulic Analysis of Water Distribution Networks, Journal of Parallel and Distributed Computing, <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2023.03.009>, March 2023
- PIÓREK D., J STAŃCZYK J., LUCZNAK P., Ocena parametrów wydajności i ciśnienia sieci wodociągowej na cele przeciwpożarowe w świetle przeprowadzonych testów hydrantowych, Instal, nr 12, str. 71-76, 2022, DOI 10.36119/15.2022.12.12
- PIECHURSKI F. G., MIERZWA T., Ocena działań zmierzających do obniżenia awaryjności i strat wody w sieci wodociągowej na przykładzie miasta Z w latach 2012-2017, Instal, nr 11, str. 41-45, 2020, DOI 10.36119/15.2020.11.6.