

Badania oporności hydraulicznej rurociągu wody surowej (PVC) przed i po jego czyszczeniu mechanicznym – studium przypadku

Research of resistance of pipe hydraulics untreated water line system (PVC) before and after mechanical cleaning – case study

WOJCIECH KORAL

DOI 10.36119/15.2024.5.4

W publikacji przedstawiono wyniki badań hydrauliki rurociągu wody surowej, zaopatrującego miasto kilkunastotysięczne, przed czyszczeniem mechanicznym i po jego wykonaniu, wskazując na napowietrzanie rurociągu jako prawdopodobne przyczyny powstawania zwiększonej ilości osadów związków żelaza w rurociągu.
Słowa kluczowe: rurociągi wody surowej, oporność hydrauliczna rurociągu

The paper shows the results of research on resistance coefficient of untreated water line made of PVC before and after its mechanical cleaning, indicating that automatic air vent can be the cause of iron residue inside pipes.
Keywords: untreated water line system, resistance coefficient

Wstęp

Znaczący wzrost kosztów energii w ostatnich latach wzmaga w przedsiębiorstwach wod-kan potrzebę znalezienia sposobów ograniczenia jej konsumpcji. Jednym z głównych konsumentów energii są pompy, a oporność rurociągów przesyłowych w układzie pompa/pompy – system rurociągów jest jednym z najważniejszych elementów generowania podwyższonego zużycia energii.

Na oporność rurociągów i wynikające z niej straty hydrauliczne znaczący wpływ ma, oprócz właściwego doboru średnicy wewnętrznej, chropowatość i jej zmienność w czasie eksploatacji. Badania oporności rurociągów prowadzone są od wielu lat, a przez dziesięciolecia specjalizowali się w nich pracownicy Politechniki Wrocławskiej [1, 2]. Badaniom poddawano przede wszystkim rurociągi transportujące wodę uzdatnioną, wykonane z materiałów tradycyjnych (żeliwo, stal). Jednocześnie wśród eksploatorów utrzymuje się przekonanie, że rurociągi z tworzyw sztucznych „nie zarastają” i przy ich projektowaniu nie zakłada się możliwości odkładania się w nich osadów i wzrostu ich oporności hydraulicznej, co powoduje konkretne problemy eksploatacyjne [5].

Badania i pomiary wykonane w ostatnich latach przez autora i opisane m.in. w [3] wskazują, że problem zarastania rurociągów dotyczy również rur z PE i PVC, szczególnie w wypadku rur transportujących wodę surową, w których ze względu na ukształtowanie trasy rurociągu jeszcze przed stacją uzdatniania może dochodzić do napowietrzania rurociągu i utlenienia związków żelaza odkładających się w postaci miękkich, ale związanych osadów, trudnych do usunięcia poprzez „zwykłe” płukanie.

Efektom wzrostu oporności i zmniejszenia przepustowości rurociągów jest zmniejszenie wydajności pomp głębinowych, a w wypadku ich współpracy w układzie równoległym i nieprzeliczonej hydraulicznie wymiany któregoś z agregatów na jednostkę z wyższą wysokością podnoszenia – często blokada wydajności pomp o niższych parametrach [4, 3].

Praktyka wskazuje, że czyszczenie mechaniczne ww. rurociągów przywraca ich przepustowość hydrauliczną, konieczne są jednak inwestycje w rozwiązania eliminujące wcześniejsze napowietrzanie wody surowej – doświadczenia autora wskazują, że w krótkim okresie (poniżej roku) utlenione osady związków żelaza na powrót zmniejszają przepustowość ru-

rociągu, niwecząc efekty jego czyszczenia. Wyniki badań przedstawiono w dalszej części artykułu.

Metodyka badań

Pomiary wykonano dla układu: studnie głębinowe (8 sztuk) – rurociągi wody surowej o długości ponad 4 km każdy – zbiorniki wody surowej w stacji uzdatniania należące do Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w miejscowości X.

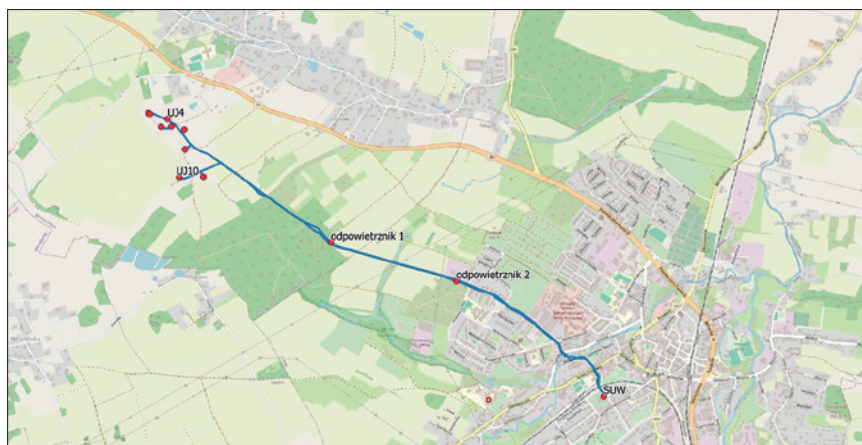
Pomiary ciśnienia dla układu rurociągów wody surowej wykonano w wybranych punktach układu (głowice studni głębinowych, komory odpowietrzników, zawór na rurociągu wody surowej przed kaskadami napowietrzającymi w SUW). Pomiary ciśnienia wykonywane były co sekundę. Pomiary wykonano w dwóch seriach w dniach:

- 10 listopada 2022 roku. Pomiary wykonywano dla dwóch pracujących w układzie równoległym rurociągów wody surowej (PVC DN 315 i azbestocement DN 300);
- 14–15 września 2023 roku. Pomiary wykonano po czyszczeniu mechanicznym rurociągu z PVC; pomiary dotyczą tylko tego rurociągu – rurociąg równoległy z azbestocementem był wyłączony z eksploatacji.

Do badań wytypowano lokalizacje podane w tabeli 1, pokazane jednocześnie na mapie tras rurociągów (rysunek 1). Rzędne punktów pomiaru rejestratorów oraz średnice i długości poszczególnych odcinków rurociągów zostały podane przez pracowników Przedsiębiorstwa.

Tabela 1. Lokalizacja punktów pomiarów ciśnienia wody surowej
Table 1. Localisation of measuring points at untreated water lines

Nr punktu	Lokalizacja	Rzędna [m n.p.m.]
1	Studnia UJ10	244,40
2	Studnia UJ4	245,60
3	Odpowietrznik nr 1	253,50
4	Odpowietrznik nr 2	245,90
5	Przed kaskadami napowietrzającymi SUW	235,70



Rysunek 1.
Profil rurociągu z lokalizacją punktów pomiarowych
Figure 1. Localisation of measuring points

Badania profili ciśnienia w punktach: studnia nr 4 (UJ4), odpowietrznik nr 1 (rysunek 2) i przed kaskadami napowietrzającymi w SUW (rysunek 3) wykonano przy użyciu rejestratorów PWBlogger firmy Paul Wegener.

Pomiary w studni nr 10 (rysunek 4) oraz w komorze odpowietrznika nr 2 (ry-



Rysunek 2.
Zabudowa rejestratora w komorze odpowietrznika nr 1 (zdjęcie autora)
Figure 2. Pressure data logger installed in automatic air vent chamber no. 1



Rysunek 3.
Zabudowa rejestratora przed kaskadami napowietrzającymi w SUW (zdjęcie autora)
Figure 3. Pressure data logger installed in water treatment plant (SUW)

sunek 5) zostały wykonane na króćcu pomiarowym przy użyciu rejestratorów Leo5 firmy Keller.



Rysunek 5.
Zabudowa rejestratora w komorze odpowietrznika nr 2 (zdjęcie autora)
Figure 5. Pressure data logger installed in automatic air vent chamber no. 2 (Keller Leo5)

i współczynników oporności skorygowano dodatkowo wartości ciśnienia ze wszystkich punktów pomiarowych o rzędne montażu rejestratorów wg przekazanych przez Przedsiębiorstwo informacji (tabela 1).

Dodatkowo ze względu na zmienność liczby pracujących studni (od jednej do czterech jednocześnie pracujących pomp) oraz regulację obrotów wybranych pomp (wykonywaną przez dyspozytorów Przedsiębiorstwa w zależności od oczekiwanego wydatku sumy studni) analizę uzupełniono o pomiary wydatku i częstotliwości prądu zasilającego silniki pracujących pomp w studniach z systemu SCADA Przedsiębiorstwa.

Wyniki badań

Pomiary oporności hydraulicznej przed czyszczeniem rurociągu z PVC

Wyniki pomiarów ciśnienia dla pierwszej serii pomiarów (przed czyszczeniem rurociągu) pokazują rysunek 6, a obliczone profile rzędnych ciśnienia – rysunek 7.

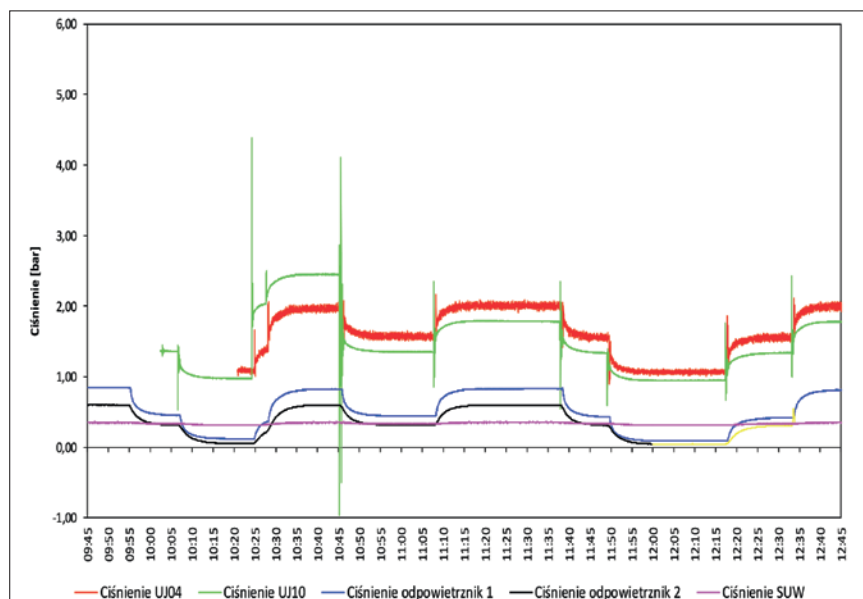
Analiza profili ciśnienia i rzędnych ciśnienia pokazała, że:

- Każde włączenie i wyłączenie pomp w studniach powoduje gwałtowne wahania ciśnienia (pełne uderzenie hydrauliczne) na głowicy studni nr 10; największa amplituda ciśnienia występuje przy włączeniu/wyłączeniu studni nr 10 i studni nr 11, pomimo ustawienia łagodnego rozruchu pompy (czas od uruchomienia pompy do osiągnięcia zadanej prędkości obrotowej wynosił 10 sekund). Prawdopodobną przyczyną jest praca zaworu zwrotnego studni (sprężynowy, grzybkowy), którego bardzo krótki czas otwarcia/zamknięcia powoduje skokowe zmiany ciśnienia i wydajności na głowicy

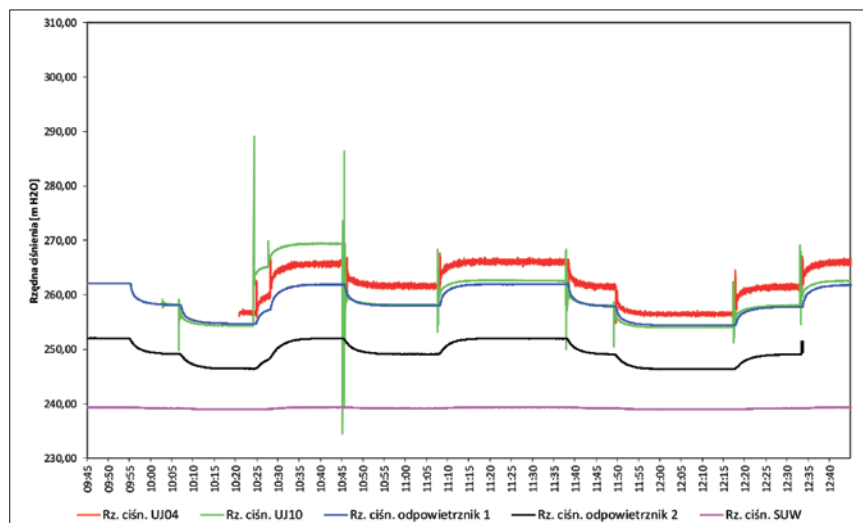


Rysunek 4.
Zabudowa punktu pomiaru ciśnienia w studni UJ10 (zdjęcie autora)
Figure 4. Pressure data logger installed in deep well no. 10 (UJ10)

Dla wszystkich punktów wykonano synchronizację czasu pomiarów, niezbędną w wypadku pomiarów sekundowych. Do obliczeń spadków hydraulicznych



Rysunek 6.
Profile ciśnienia w punktach pomiarowych przed czyszczeniem rurociągu
Figure 6. Profile of pressure recorded before mechanical cleaning of the pipes



Rysunek 7.
Profile rzędnych ciśnienia w punktach pomiarowych przed czyszczeniem rurociągu
Figure 7. Profile of head recorded before mechanical cleaning of the pipes

studni. Autor otrzymał identyczne wyniki dla innych badanych systemów przy połączeniu pracy zaworów zwrotnych grzybkowych i pomp regulowanych przetwornicami częstotliwości.

- Znaczące wahania ciśnienia były również rejestrowane na głowicy studni nr 4. Nie ma natomiast żadnych zarejestrowanych wahań ciśnienia o wysokiej amplitudzie w dalszych punktach pomiarowych, co wskazuje na chwilowe przerwanie strumienia cieczy. Potwierdzają to pomiary ciśnienia w komorze odpowietrznika nr 1, gdzie rejestrowano ciśnienie atmosferyczne w rurociągu.
- Każde wyłączenie dowolnej studni powoduje kilkuminutowy spadek

do nowej wartości ciśnienia we wszystkich punktach pomiarowych (oprócz SUW Mickiewicza). Powodem jest grawitacyjny przepływ wody od odpowietrznika nr 1 rurociągów wody surowej do SUW, na terenie którego rzędna wlotu na kaskady jest o 10 m niższa niż rzędna odpowietrznika. Odwrotna sytuacja jest rejestrowana przy włączeniu poszczególnych studni – następuje powolny wzrost ciśnienia, powodowany powolnym usuwaniem (lub sprężaniem) powietrza z rurociągów.

Szczególnie niekorzystna jest sytuacja przy pracy mniej niż trzech pomp – efektem jest praca odpowietrzników i napowietrzanie wody surowej przed kaskada-

mi SUW, co powoduje **wzmoczone utlenianie związków żelaza i wytrącanie osadów** na odcinkach od odpowietrzników do SUW.

Proponowanym rozwiązaniem tego problemu jest montaż dwóch zaworów regulacyjnych:

1 – zaworu typu PSV (Pressure Sustaining Valve – zaworu podtrzymującego nastawioną wartość ciśnienia przed zamknięciem zasuwę przed kaskadami, utrzymującego stałe, minimalne ciśnienie przed zaworem o wartości pozwalającej na pracę rurociągów pod minimalnym ciśnieniem 0,2 bara w najwyższych punktach systemu, zapobiegającym napowietrzaniu rurociągów przed SUW;

2 – zaworu bezpieczeństwa przed zaworem PSV, zabezpieczającego rurociągi wody surowej przed przypadkowym zamknięciem zarówno zasuw, jak i zaworu PSV i gwałtownym wzrostem ciśnienia w rurociągu wody surowej.

Rozwiązanie takie usunie problem napowietrzania rurociągu przed SUW, spowoduje pracę ciśnieniową rurociągu przy pracy dowolnej liczby studni, brak jego zapowietrzania przy wyłączeniu wszystkich studni oraz umożliwi prawidłową regulację ciśnienia na głowicach studni głębinowych. Montaż tych zaworów jest obecnie przygotowywany do wdrożenia.

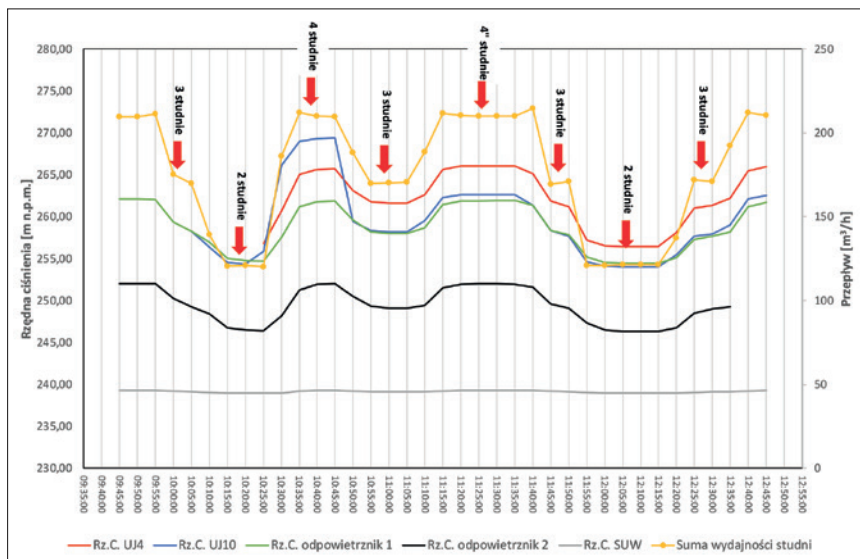
W celu wykonania obliczeń hydraulicznych (wyznaczenia: strat hydraulicznych, spadków hydraulicznych oraz współczynników oporności rurociągów) wartości rzędnych ciśnienia, przepływu i częstotliwości prądu zasilającego pompy uśredniono do wartości 5-minutowych. Wyniki pokazano na rysunku 8.

W trakcie pomiarów w dniu 10 listopada 2022 roku (przed czyszczeniem rurociągu) rurociągi pracowały w następujących konfiguracjach:

- **2** studnie (nr 6+nr 7), z sumarycznym przepływem 120 m³/h;
- **3** studnie (nr 6+nr 7+nr 5), z sumarycznym przepływem 170 m³/h;
- **4** studnie (nr 6+nr 7+nr 5 + studnia nr 4 z częstotliwością 40Hz), z sumarycznym przepływem 211 m³/h;
- **4"** studnie (nr 6+nr 7+nr 5 + studnia nr 10 z częstotliwością 42Hz), z sumarycznym przepływem 210 m³/h.

Studnie bez podanej częstotliwości pracowały z częstotliwością prądu zasilającego silniki pomp równą 50 Hz.

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów oraz otrzymanych informacji o długościach i średnicach wewnętrznych



Rysunek 8. Profile 5-minutowe rzędnych ciśnienia i przepływów w punktach pomiarowych przed czyszczeniem rurociągu – czynne były oba rurociągi wody surowej
Figure 8. Profile of average: head and flows before mechanical cleaning – both untreated water lines were opened

(fabrycznych) rurociągów wyznaczono wskaźniki hydrauliczne:

- spadki ciśnienia Δh w [m H₂O],
- spadki hydrauliczne $i = \Delta h / L$ w [m/km] długości rurociągu,
- współczynniki oporności hydraulicznej $K = \Delta h / (L * Q^2)$ w [h²/m⁶].

Ww. wartości wyznaczono dla odcinków:

- studnia nr 4 – odpowietrznik nr 1,
- studnia nr 10 – odpowietrznik nr 1 (tylko dla pracującej studni nr 10),
- odpowietrznik nr 1 – odpowietrznik nr 2,

- odpowietrznik nr 2 – SUW.
- Wyniki podano w tabeli 2 oraz tabeli 3.

Analiza otrzymanych wyników pozwoliła stwierdzić, że szczególnie wysokie wartości spadków hydraulicznych zanotowano dla odcinków: odpowietrznik nr 1 – odpowietrznik nr 2 – SUW. Dla ww. odcinków wyznaczono spadki hydrauliczne dla pracy równoległej dwóch rurociągów były ok. 10-krotnie większe niż spadki hydrauliczne dla rurociągów pozbawionych osadów (fabrycznie nowych).

Tabela 2. Wartości spadków hydraulicznych w [m/1000 m] przed czyszczeniem rurociągu
Table 2. Unite headloss [m/1000 m] before mechanical cleaning – both untreated water lines were opened

Liczba pracujących studni	Przepływ sumaryczny [m ³ /h]	UJ4 – odpowietrznik nr 1	UJ10 – odpowietrznik nr 1	odpowietrznik nr 1 – odpowietrznik nr 2	odpowietrznik nr 2 – SUW
2 studnie = UJ7+UJ6	120,8	0,75		7,84	4,91
3 studnie = UJ7+UJ6+UJ5	170,2	1,59		8,46	6,52
4 studnie = UJ7+UJ6+UJ5+UJ10 (42Hz)	210,9	1,90	5,58	9,46	7,99
4" studnie = UJ7+UJ6+UJ5+UJ4 (40Hz)	210,2	2,19		9,46	8,25

Tabela 3. Wartości współczynników oporności hydraulicznych w [h²/m⁶] przed czyszczeniem rurociągu
Table 3. Resistance coefficients [h²/m⁶] before mechanical cleaning – both untreated water lines were opened

Liczba pracujących studni	Przepływ sumaryczny [m ³ /h]	UJ4 – odpowietrznik nr 1	UJ10 – odpowietrznik nr 1	odpowietrznik nr 1 – odpowietrznik nr 2	odpowietrznik nr 2 – SUW
2 studnie = UJ7+UJ6	120,8	1,02E-07		5,37E-07	3,36E-07
3 studnie = UJ7+UJ6+UJ5	170,2	7,28E-08		2,92E-07	2,25E-07
4 studnie = UJ7+UJ6+UJ5+UJ10 (42Hz)	210,9	4,27E-08	1,25E-07	2,13E-07	1,80E-07
4" studnie = UJ7+UJ6+UJ5+UJ4 (40Hz)	210,2	4,96E-08		2,14E-07	1,87E-07

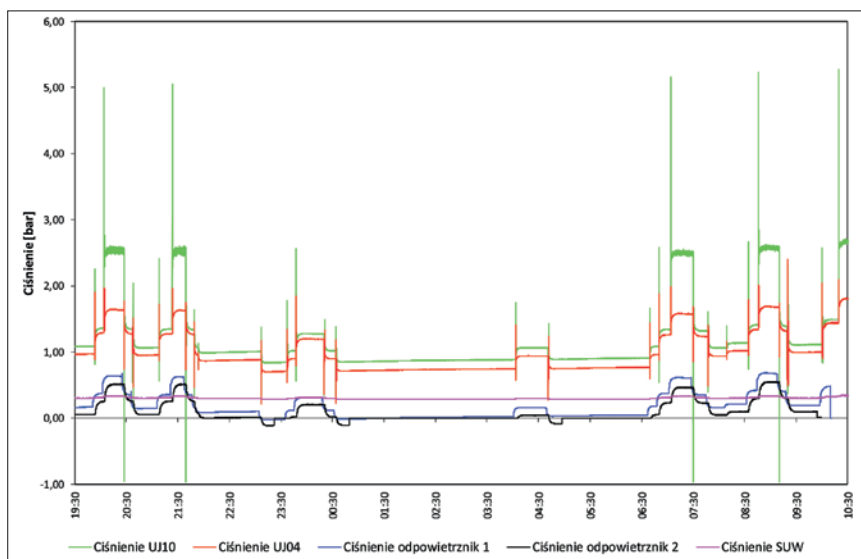
Pomiary oporności hydraulicznej po czyszczeniu rurociągu z PVC

Na podstawie otrzymanych ww. wyników Przedsiębiorstwo podjęło decyzję o wykonaniu czyszczenia mechanicznego (korkami poliuretanowymi) jednego z rurociągów (PVC, wykonanego w 2004 roku). Zdjęcia przeznaczonego do czyszczenia odcinka rurociągu po jego przecięciu pokazano na rysunku 9. Na zdjęciu widać, że grubość warstwy osadów żelaza dochodziła do 7–8 cm, zmniejszając rzeczywistą średnicę czynną rurociągu z 290 mm dla rurociągu bez osadów do wartości ok. 160 mm dla rurociągu wypełnionego osadami.

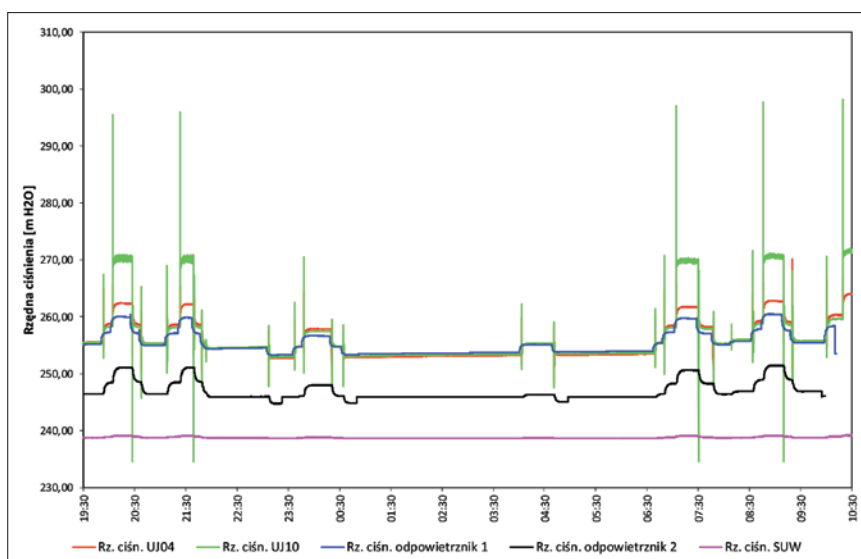


Rysunek 9. Zdjęcia wnętrza rurociągu z PVC przed jego czyszczeniem (udostępnione przez firmę Tukany sp. z o.o., Jelenia Góra, Polska)
Figure 9. Iron residue inside a PVC pipe before mechanical cleaning (images shared by Tukany LLC, Poland)

Po wyczyszczeniu rurociągu PVC z osadów na całej jego długości (zaczynając od studni głębinowych w kierunku stacji uzdatniania) nastąpiło wyłączenie drugiej nitki rurociągu wody surowej (wykonanego z azbestocementu) i całość wody dostarczana była tylko rurociągiem z PVC. Dla takich warunków hydraulicznych powtórzone pomiary ciśnienia we wcześniej wykorzystywanych punktach pomiarowych, przy czym dla tej serii pomiarów czas rejestracji został znacząco wydłużony, obejmując większą liczbę wariantów pracy studni (od jednej do czterech pracujących studni, ze zmianami częstotliwości prądu zasilającego pompy). Wyniki pomiarów ciśnienia po czyszczeniu rurociągu pokazano na rysunku 10, a obliczone profile rzędnych ciśnienia na rysunku 11.



Rysunek 10.
Profile ciśnienia w punktach pomiarowych po czyszczeniu rurociągu
Figure 10. Profile of pressure recorded after mechanical cleaning of the pipe

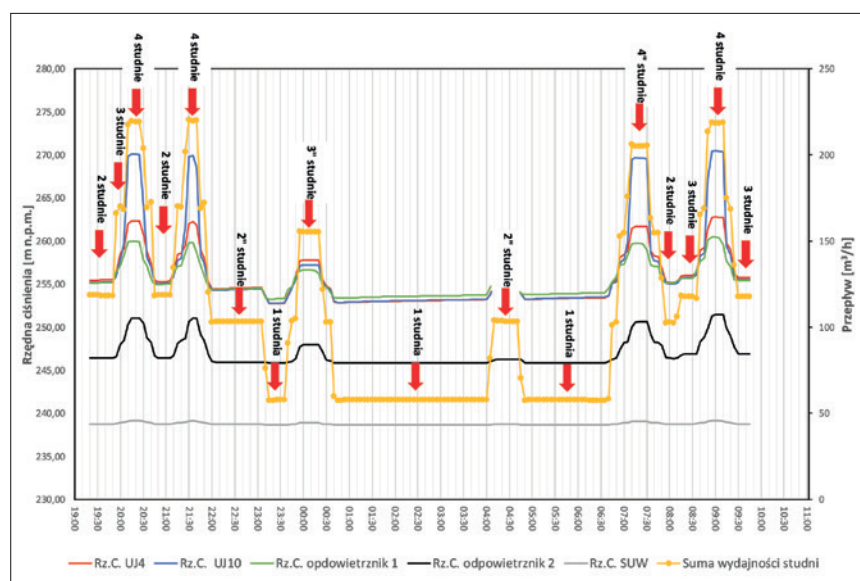


Rysunek 11.
Profile rzędnych ciśnienia w punktach pomiarowych po czyszczeniu rurociągu
Figure 11. Profile of head recorded before mechanical cleaning of the pipe

Analiza profili ciśnienia i rzędnych ciśnienia pozwoliła na wyciągnięcie następujących wniosków:

- pomimo wyłączenia jednego z rurociągów wartości mierzonych ciśnień pozostały na bardzo zbliżonym poziomie. Oznacza to, że oporność hydrauliczna wyczyszczonego rurociągu odpowiada oporności hydraulicznej dwóch rurociągów przed czyszczeniem;
- nadal utrzymują się okresy pracy rurociągu w warunkach przepływów gra

Rysunek 12.
Profile 5-minutowe rzędnych ciśnienia i przepływów w punktach pomiarowych po czyszczeniu rurociągu – pracuje tylko rurociąg z PVC
Figure 12. Profile of average: head and flows after mechanical cleaning – only the PVC pipe is open



witacyjnych (w punktach odpowietrznika nr 1 i odpowietrznika nr 2 rejestrowano ciśnienie atmosferyczne), a przy pracy tylko jednej studni – również okresy pracy z podciśnieniem, wynikającym z zastosowania zaworów zwrotnych, uniemożliwiających napowietrzanie rurociągu, a tylko jego odpowietrzenie (końcowo zrezygnowano z tego rozwiązania). Jednak bez montażu zaworu PSV, podtrzymującego ciśnienie przed kaskadami w SUW nie ma aktualnie możliwości pracy ciśnieniowej rurociągu przy dowolnej liczbie pracujących studni.

W trakcie pomiarów w dniach 14–15 września 2023 roku (po czyszczeniu rurociągu) studnie pracowały w następujących konfiguracjach (rysunek 12):

- 1 studnia (nr 6), z przepływem 58 m³/h;
 - 2 studnie (nr 6+nr 7), z sumarycznym przepływem 118 m³/h;
 - 2" studnie (nr 6 + studnia nr 7 z częstotliwością 40Hz), z sumarycznym przepływem 103 m³/h;
 - 3 studnie (nr 6+nr 7+nr 8N), z sumarycznym przepływem 169 m³/h;
 - 3" studnie (nr 6+nr 8N + studnia nr 7 z częstotliwością 40Hz), z sumarycznym przepływem 155 m³/h;
 - 4" studnie (nr 6+nr 8N + studnia nr 7 z częstotliwością 40Hz + studnia nr 10 z częstotliwością 45Hz), z sumarycznym przepływem 205 m³/h;
 - 4 studnie (nr 6+nr 7+nr 8N+nr 10), z sumarycznym przepływem 215 m³/h;
- Jeżeli nie wskazano inaczej, studnie pracowały z częstotliwością 50 Hz.

Otrzymane wyniki umożliwiły porównanie obliczonych spadków hydraulicznych i współczynników oporności hydraulicznej przed czyszczeniem rurociągu

Tabela 4. Wartości spadków hydraulicznych w [m/1000 m] po czyszczeniu rurociągu
Table 4. Unite headloss [m/1000 m] after mechanical cleaning – only the PVC untreated water lines were opened

Liczba pracujących studni	Przepływ sumaryczny [m ³ /h]	UJ4 – odpowietrznik nr 1	UJ10 – odpowietrznik nr 1	odpowietrznik nr 1 – odpowietrznik nr 2	odpowietrznik nr 2 – SUW
1 studnia = UJ6	57,7			7,36	4,74
2 studnie = UJ7+UJ6	118,3	0,19	0,07	8,27	5,12
2" studnie = UJ7 (40Hz)+UJ6	103,5	0,06		8,32	4,89
3 studnie = UJ7+UJ6+UJ8N	169,3	0,71	0,59	8,67	6,27
3" studnie = UJ7 (40Hz)+UJ6+UJ8N	154,8	0,65	0,44	8,48	6,00
4" studnie = UJ7 (40Hz)+UJ6+UJ8N+UJ10 (45Hz)	204,9	1,15	7,26	8,70	7,47
4" studnie = UJ7+UJ6+UJ8N+UJ10 (35Hz)	207,8	1,44	6,02	8,03	7,79
4 studnie = UJ7+UJ6+UJ8N+UJ10	219,6	1,50	7,38	8,18	7,79

Tabela 5. Wartości współczynników oporności hydraulicznych w [h²/m⁶] po czyszczeniu rurociągu
Table 5. Resistance coefficients after mechanical cleaning [h²/m⁶] – only the PVC untreated water lines were opened

Liczba pracujących studni	Przepływ sumaryczny [m ³ /h]	UJ4 – odpowietrznik nr 1	UJ10 – odpowietrznik nr 1	odpowietrznik nr 1 – odpowietrznik nr 2	odpowietrznik nr 2 – SUW
1 studnia = UJ6	57,7			2,21E-06	1,42E-06
2 studnie = UJ7+UJ6	118,3	1,32E-08	5,00E-09	5,91E-07	3,66E-07
2" studnie = UJ7 (40Hz)+UJ6	103,5	5,61E-09		7,77E-07	4,57E-07
3 studnie = UJ7+UJ6+UJ8N	169,3	2,49E-08	2,05E-08	3,02E-07	2,19E-07
3" studnie = UJ7 (40Hz)+UJ6+UJ8N	154,8	2,71E-08	1,84E-08	3,54E-07	2,50E-07
4" studnie = UJ7 (40Hz)+UJ6+UJ8N+UJ10 (45Hz)	204,9	2,74E-08	1,73E-07	2,07E-07	1,78E-07
4" studnie = UJ7+UJ6+UJ8N+UJ10 (35Hz)	207,8	3,33E-08	1,39E-07	1,86E-07	1,80E-07
4 studnie = UJ7+UJ6+UJ8N+UJ10	219,6	3,10E-08	1,53E-07	1,70E-07	1,62E-07

i po nim. Otrzymane wyniki po wykonanym czyszczeniu pokazują tabela 4 oraz tabela 5 (pominięto wartości ujemne).

Otrzymane wyniki pozwalają wyciągnąć następujące wnioski o zmianach spowodowanych czyszczeniem rurociągu:

- wartości spadków hydraulicznych przy pracy dwóch rurociągów (przed czyszczeniem, tabela 2) i jednego rurociągu (po czyszczeniu, tabela 4) są porównywalne. Oznacza to, że przepustowość rurociągu po czyszczeniu odpowiadała sumarycznej przepustowości obu rurociągów przed czyszczeniem;
- praca tylko jednej lub tylko dwóch pomp powoduje zapowietrzenie rurociągów na odcinku: odpowietrznik nr 1 (najwyższego punktu w układzie) – odpowietrznik nr 2 – SUW i wyższe wskaźniki oporności hydraulicznej dla niskich przepływów niż dla rurociągu całkowicie wypełnione-

go wodą. Oznacza to, że bez montażu zaworu PSV przed kaskadami w SUW niemożliwe jest utrzymanie całkowitego wypełnienia rurociągu dla pracy mniej niż trzech studni;

- czyszczenie drugiego z rurociągów wody surowej spowoduje dalsze obniżenie strat hydraulicznych na rurociągach wody surowej i wyższe wydajności pracujących studni. Wymagać będzie to jednak nowych ustawień częstotliwości falowników sterujących pompami w studniach (w celu zabezpieczenia przed przekroczeniem maksymalnej dopuszczalnej wydajności poszczególnych studni) lub wymiany wybranych pomp.

Otrzymane wyniki całkowicie potwierdziły słuszność decyzji o konieczności wyczyszczenia rurociągu z osadów, jednak ze względów ekonomicznych i przyjmując uzyskany efekt zwiększenia wydajności za wystarczający, eksploatacja zapla-

nował czyszczenie drugiej nitki rurociągu wody surowej (wykonanej z azbestocementu) na kolejne lata.

Podsumowanie

Wyniki badań pokazały, że zakładanie braku możliwości odkładania osadów zmniejszających średnicę wewnętrzną rurociągów wody wykonanych z PVC lub PE może prowadzić do błędnych wniosków eksploatacyjnych lub decyzji inwestycyjnych (np. nieuzasadnionych wymian pomp na agregaty z wyższym ciśnieniem tłoczenia). Sytuacja ta dotyczy szczególnie rurociągów wody surowej, zawierającej łatwo utleniające związki żelaza, odkładające się w rurociągach w postaci miękkich osadów.

Czyszczenie rurociągów z osadów przywraca ich przepustowość hydrauliczną, jednak bez usunięcia przyczyny utleniania związków żelaza w wodzie surowej jeszcze przed stacją uzdatniania wody osady w krótkim czasie pojawią się ponownie, niwecząc efekty czyszczenia.

Dodatkowo trzeba pamiętać, że czyszczenie rurociągu i zwiększenie jego wydajności powoduje eksploatacyjne skutki uboczne: obniżenie ciśnienia w najwyższym punkcie rurociągu (i wyższe wartości podciśnienia przy wyłączeniu pomp) oraz konieczność zmiany harmonogramu pracy pomp (nowa wydajność układu przekracza pojemność retencyjną zbiornika wody surowej).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Siwoń Z., Cieżak J., Bogaczewicz S.: „Analiza procesu hydraulicznego starzenia się żeliwnych i stalowych przewodów sieci wodociągowej we Wrocławiu”, *Ochrona Środowiska* 4(71), 1998.
- [2] Siwoń Z., Cieżak J., Bogaczewicz S.: „Analiza hydraulicznej oporności eksploatowanych przewodów tłocznych i przesyłowych”. Materiały z konferencji „Zaopatrzenie w Wodę Miast i Wsi”, PZiTS, Poznań 1998.
- [3] Koral W.: „Badania hydrauliki układu pompowania – rurociąg wody surowej (PVC – PE)” *INSTAL* 2021, nr 6 s. 30–33. DOI 10.36119/15.2021.6.3
- [4] Grabarczyk Cz.: „Hydraulika urządzeń wodociągowych”, WNT, Warszawa 2015.
- [5] Kuś K., Ścieranka G., Grajper P.: „Identyfikacja strat ciśnienia w rurociągach polietylenowych”, *INSTAL* 2008 wyd. spec. s. 46–49.
- [6] Kotowski A.: „Analiza hydrauliczna zjawisk wywołujących zmniejszenie przepływności rurociągów”, *Ochrona Środowiska* 1/2010, vol. 32.