

Badania hydrauliki układu pompownia - rurociąg wody surowej (PVC-PE)

Research of network hydraulics for pumping station - untreated water line system (PVC-PE)

WOJCIECH KORAL

DOI 10.36119/15.2021.6.3

W publikacji przedstawiono wyniki badań nad przyczynami obniżonej do ok. 150 m³/h (względem projektowej 240 m³/h) wydajności układu pompownia – rurociąg wody surowej (PVC/PE), zasilającego jako podstawowe źródło stację uzdatniania wody dla miasta kilkunastotysięcznego w zachodniej Polsce.

Słowa kluczowe: oporność hydrauliczna rurociągu, badania terenowe charakterystyk pomp

The paper shows the results of research in resistance coefficient of untreated water line made of PVC and PE, causing a significant reduction of pumping station capacity supplying, as a primary source, a water treatment plant for a town with several thousand inhabitants in western Poland.

Keywords: resistance coefficient, pump head-discharge relationship

Opis badanych obiektów

Przyczyną podjęcia badań był zgłoszony przez przedsiębiorstwo wodociągowe brak możliwości uzyskania wydajności projektowej układu pompowego 240 m³/h i eksploatacja pompowni z wydajnością maksymalną ok. 156 m³/h – eksploatacja zakładała zużycie pomp i konieczność ich wymiany. Jednocześnie, przesłana równoległe notatka służbowa z uruchomienia ww. pompowni w roku 2003 zawierała informację, że pompownia od razu miała obniżoną wydajność, jednak do 2018 roku nie stanowiło to problemu – wydajność pompowni pokrywała zapotrzebowanie miasta na wodę. Dopiero upalne lato 2018 roku oraz rozbudowa strefy przemysłowej spowodowały, że nawet 24 godzinna praca zestawu nie zapewniała wystarczającej ilości wody do zaspokojenia potrzeb odbiorców. Oznaczało to konieczność sprawdzenia zarówno założeń projektowych, jak i rzeczywistych charakterystyk hydraulicznych pomp.

Problematyczna pompownia zasilana ze zbiornika grawitacyjnego rurociągiem wody surowej wód podziemnych o średnicy DN315, wykonany z PVC (o długości 1280 m) i PE PN6 (o długości 3330 m), dostarczający ww. wodę do stacji uzdat-

Rys. 1.
Zdjęcie pompowni wody surowej (2018)



niania wody na terenie miasta. Pompownia wyposażona jest w zestaw 4 pomp pionowych, z których jedna pompa stanowi rezerwę. Podjęta przez eksploatatora próba pracy 4 pomp równocześnie (zamiast 3 pomp) zwiększa wydajność układu o ok. 5 m³/h, jednocześnie wydatnie podwyższając zużycie energii. Zdjęcie badanej pompowni przedstawia rys. 1.

Wyniki badań

Badania charakterystyk hydraulicznych pomp

W trakcie pierwszej wizyty technicznej stwierdzono, że spadek ciśnienia na odcin-

ku: manometr przed zaworem zwrotnym – manometr na kolektorze wyjściowym z pompowni wynosi ponad 1,0 bar (na odcinku o długości ok. 3 m i identycznej rzędnej), co sugerowało wysoką stratę hydrauliczną miejscową. Na tej podstawie jako pierwszą propozycję podano konieczność wymiany zaworu zwrotnego skrzydełkowego (zaznaczonego strzałką, rys. 1). Zawory zostały wymienione na wersję uchylną klapową (rys. 2).

Wymiana zaworów zmniejszyła stratę hydrauliczną na terenie pompowni do 0,1 bara, jednak wzrost wydajności pompowni wyniósł tylko ok. 6 m³/h, wskazując na inne źródło zgłaszanych problemów.



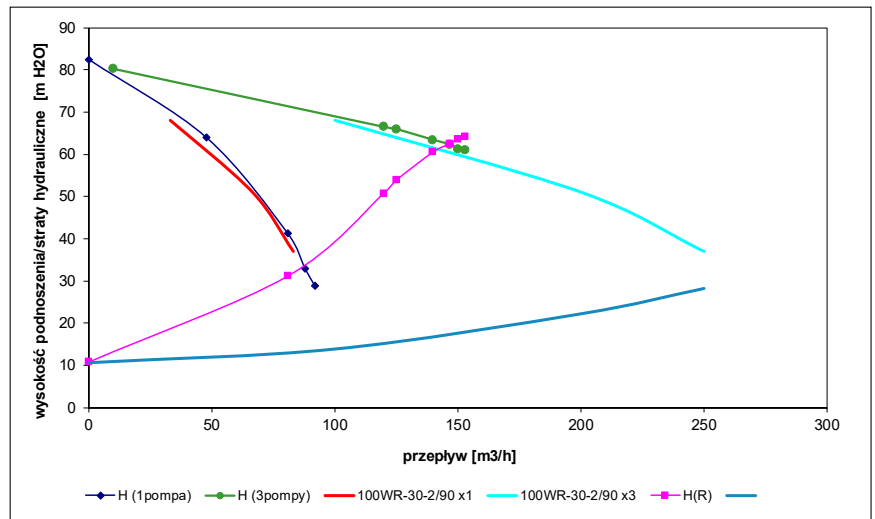
Rys. 2.
Zdjęcie nowego typu zaworu

Z tego powodu w drugim etapie badań przeprowadzono pomiary rzeczywistych charakterystyk hydraulicznych każdej z pomp (przy pracy jednej i trzech pomp równolegle) oraz wyznaczono charakterystykę hydrauliczną rurociągu. Dodatkowo otrzymane charakterystyki porównano z charakterystykami katalogowymi oraz charakterystyką teoretyczną rurociągu. Wyniki pomiarów i obliczeń pokazuje rys. 3.

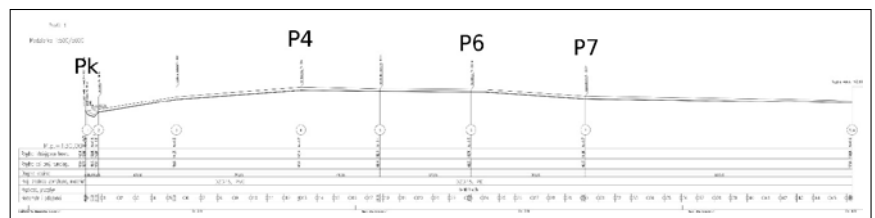
Otrzymane wyniki wskazują na trzy zasadnicze kwestie:

- charakterystyki hydrauliczne pomp nie odbiegają swoim przebiegiem od charakterystyk katalogowych; wskazuje to na inną niż pompy przyczynę zmniejszonej wydajności układu;
- charakterystyka teoretyczna rurociągu przecina się w punkcie pracy zgodnym z obliczeniami projektowymi; oznacza to, że obliczenia doboru pomp są poprawne;
- charakterystyka rzeczywista rurociągu całkowicie odbiega od charakterystyki teoretycznej, wskazując oporność rurociągu jako przyczynę obniżonej wydajności pompowni.

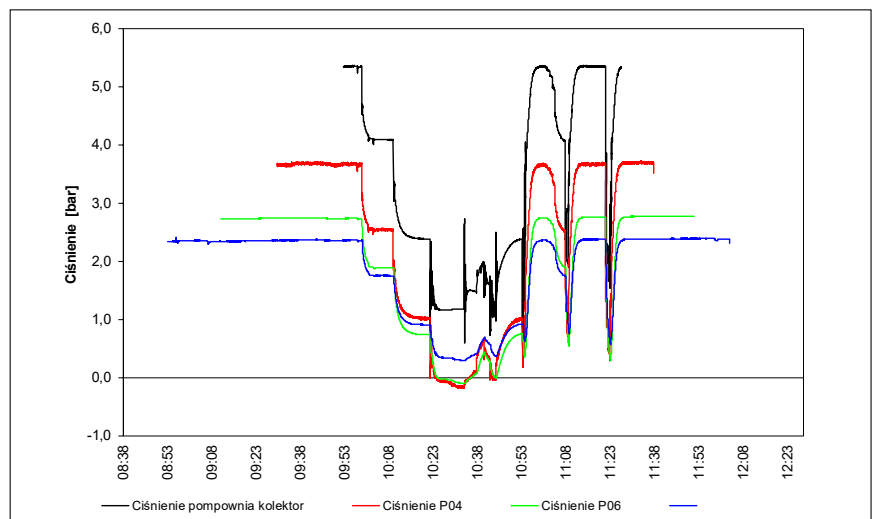
Otrzymane wyniki spowodowały konieczność sprawdzenia przyczyn wysokich strat hydraulicznych dla rurociągu wykonanego z materiału o niskim obliczeniowym współczynniku chropowatości (rzędu 0,05-0,10 mm), jakim są PVC i PE. Po sprawdzeniu armatury (otwarciu wszystkich zasuw) oraz odpowietrników i wykluczeniu ewentualnych strat miejscowych jako przyczyny podwyższonych strat hydraulicznych przeprowadzono sekundowe pomiary ciśnienia i przepływu dla pracy trzech, dwóch i jednej pompy oraz ich całkowitym wyłączeniu. Punkty pomiaru ciśnienia zlokalizowano w pompowni



Rys. 3.
Charakterystyki rzeczywiste i katalogowe badanych pomp



Rys. 4.
Profil wysokościowy rurociągu z lokalizacją punktów pomiarowych



Rys. 5.
Profile ciśnienia w punktach pomiarowych

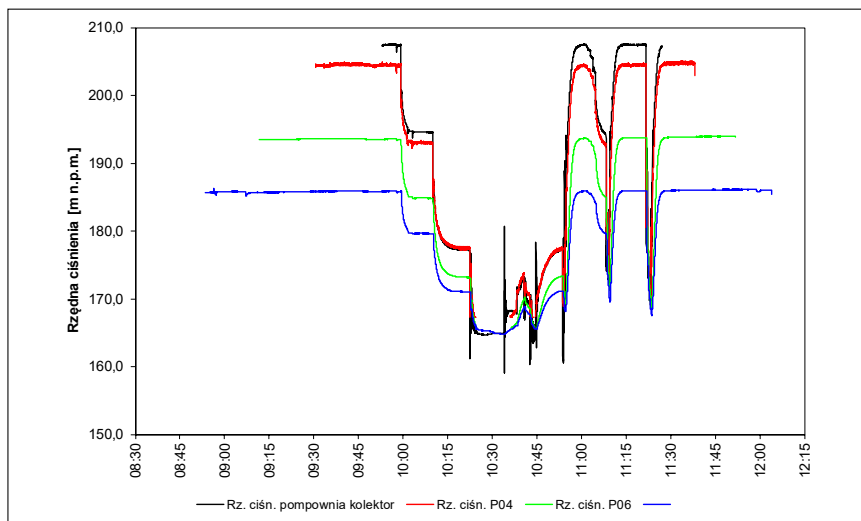
na kolektorze wyjściowym (PWS), w punkcie P4 (granica rurociągu PVC/PE oraz jednocześnie punkt o najwyższej rzędnej terenu), w punkcie P6 i w punkcie P7 (około połowy długości odcinka z PE). Lokalizację punktów pomiaru ciśnienia pokazuje rys. 4, a wyniki pomiarów – rys. 5.

Otrzymane wyniki wskazały, że przyczyna obniżonej wydajności rurociągu leży po stronie odcinka wykonanego z PE – wyłączenie kolejnych pomp wyraźnie zmienia stratę hydrauliczną na odcinkach P4-P6 i P6-P7. Dodatkowo w punktach P4 i P6 stwierdzono występowanie podciśnie-

nia przy wyłączeniu wszystkich pomp – woda grawitacyjnie odpływała do zbiornika na terenie stacji uzdatniania.

W celu wyznaczenia wartości strat hydraulicznych na poszczególnych odcinkach pomiary ciśnienia skorygowano o rzędne punktów pomiarowych, obliczając rzędne ciśnienia. Wyniki pokazuje rys. 6.

Otrzymane różnice rzędnych ciśnienia jednoznacznie potwierdziły wysokie straty hydrauliczne dla kolejnych odcinków rurociągu z PE. Z tego powodu wyznaczono wartości spadków hydraulicznych



Rys. 6. Profile rzędnych ciśnienia w punktach pomiarowych

Tabela 1. Wartości spadków hydraulicznych przy pracy trzech, dwóch i jednej pompy

Data+godzina	i [%] PWS-P4	i [%] P4-P6	i [%] P6-P7	
11-lip 09:54	2,22	10,85	10,32	praca trzech pomp
11-lip 09:55	2,26	10,79	10,27	
11-lip 09:56	2,28	10,78	10,28	
11-lip 09:57	2,29	10,78	10,31	
11-lip 09:58	2,33	10,67	10,29	
11-lip 09:59	2,32	10,73	10,25	
11-lip 10:01	1,18	7,81	7,75	praca dwóch pomp
11-lip 10:02	1,28	7,70	7,27	
11-lip 10:03	1,24	8,00	7,11	
11-lip 10:04	1,27	7,91	7,03	
11-lip 10:05	1,24	8,01	7,00	
11-lip 10:06	1,24	8,02	6,96	
11-lip 10:07	1,23	8,03	6,97	
11-lip 10:08	1,23	8,01	7,00	
11-lip 10:09	1,22	8,02	7,07	
11-lip 10:10	1,23	8,00	7,07	
11-lip 10:16	-0,30	4,32	3,07	praca jednej pompy
11-lip 10:17	-0,30	4,32	3,00	
11-lip 10:18	-0,27	4,29	2,96	
11-lip 10:19	-0,24	4,28	2,89	
11-lip 10:20	-0,20	4,21	2,92	

Tabela 2. Wartości współczynników oporności hydraulicznych przed i po czyszczeniu rurociągu

	PWS-P4	P4-P7	P7-SUW	PE1/PVC	PE2/PE1	PE2/PVC
Przed czyszczeniem rurociągu (Q=156 m ³ /h)						
K (3p) [h ² /m ⁶]	9,82E-08	4,53E-07	5,39E-07	4,61	1,19	5,49
Po czyszczeniu rurociągu (Q=204 m ³ /h)						
K (3p) [h ² /m ⁶]	1,69E-07	2,54E-07	5,76E-08	1,50	0,23	0,34



Rys. 7. Widok wnętrza rurociągu z PE po jego przecięciu

dla poszczególnych odcinków w celu ich wzajemnego porównania. Wyniki pokazuje tabela 1.

Otrzymane wyniki wskazały, że spadek hydrauliczny na odcinku z PVC był ok. pięciokrotnie niższy niż dla odcinków z PE (które mają bardzo zbliżone wartości spadków hydraulicznych dla obu odcinków). Ujemne wartości spadków dla odcinka PVC przy pracy jednej pompy wskazują równocześnie na błędnie wyznaczone przez geodetów rzędne punktów pomiarowych (przetworniki ciśnienia były zerowane do ciśnienia otoczenia przed pomiarami).

Wyniki pomiarów oraz informacja od eksploatatora o bardzo szybkim procesie „zarastania” rurociągów osadami żelaza na terenie pompowni wyznaczyły dalszy kierunek badań – przeprowadzona symulacja hydrauliczna wykazała, że otrzymane spadki hydrauliczne odpowiadają wartościom dla rurociągów o średnicy wewnętrznej ok. 230 mm zamiast fabrycznych 295 mm. Z tego powodu przeprowadzono badanie wnętrza rurociągu kamerą wizyjną, która potwierdziła wysoki stopień zarośnięcia rurociągu miękkimi osadami.

Na podstawie otrzymanych wyników eksploatator podjął decyzję o zastosowaniu czyszczenia hydraulicznego (głowicą ciśnieniową) kolejnych odcinków rurociągu. Widok pierwszego przeznaczonego do czyszczenia odcinka rurociągu po jego przecięciu pokazuje rys. 7.

Po wyczyszczeniu z osadów ok. 2/3 długości odcinka rurociągu wykonanego z PE (zaczynając od stacji uzdatniania w kierunku pompowni wody surowej) eksploatator przekazał informację, że wydajność pompowni wzrosła z 156 m³/h do 204 m³/h. Dla takich wartości przepływu powtórzono pomiary ciśnienia we wcześniej wykorzystywanych punktach pomiarowych oraz na stacji uzdatniania, wyznaczając zmiany współczynników oporności hydraulicznej poszczególnych odcinków. Umożliwiło to porównanie ww. współczynników przed i po czyszczeniu rurociągu. Wyniki porównania (dla wydajności rurociągu przy pracy trzech pomp) pokazuje tabela 2.

Otrzymane współczynniki oporności hydraulicznej wskazały na 10-krotny spadek ww. współczynnika dla całościowo wyczyszczonego odcinka PE względem wartości początkowej (P7-SUW) i ok. dwukrotne dla odcinka wyczyszczonego częściowo (P4-P7). Jednocześnie zwiększyła się oporność hydrauliczna odcinka rurociągu z PVC – zwiększenie prędkości w ww. odcinku spowodowało wymywanie części osadów z rurociągu.

Otrzymane wyniki całkowicie uzasadniły decyzję o konieczności wyczyszczenia rurociągu z osadów, jednak ze względów ekonomicznych i przyjmując uzyskany efekt zwiększenia wydajności za wystarczający, eksploatator przerwał czyszczenie pozostałych odcinków.

Podsumowanie

Wyniki badań pokazały, że zakładanie braku możliwości odkładania osadów zmniejszających średnicę wewnętrzną rurociągów wykonanych z PVC lub PE może prowadzić do błędnych wniosków eksplo-

atacyjnych czy decyzji inwestycyjnych (np. nieuzasadnionych wymian pomp). Sytuacja ta dotyczy szczególnie rurociągów wody surowej, zawierającej łatwo utleniające związki żelaza, odkładające się w rurociągach w postaci miękkich osadów.

Jednocześnie warto pamiętać, że czyszczenie rurociągu i zwiększenie jego wydajności powoduje eksploatacyjne skutki "uboczne": obniżenie ciśnienia w najwyższym punkcie rurociągu (i wyższe wartości podciśnienia przy wyłączeniu pompy), konieczność zmiany harmonogramu pracy pomp (nowa wydajność przekracza możliwości technologiczne stacji

uzdatniania wody i pojemność retencyjną zbiornika wody surowej), a także spowoduje wymywanie części pozostałych w rurociągu osadów.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Grabarczyk Cz. .: „Hydraulika urządzeń wodociągowych”, WNT, Warszawa 2015
- [2] Kuś K. ; Ścieranka G. ; Grajper P.: „Identyfikacja strat ciśnienia w rurociągach polietylenowych”, Instal 2008 wyd. spec. s. 46-49
- [3] Kotowski A.: „Analiza hydrauliczna zjawisk wywołujących zmniejszenie przepływności rurociągów”, Ochrona Środowiska 1/2010, vol 32.

