

Dobrosława KACZOREK, Marian NIEŁACNY

*Instytut Inżynierii Środowiska
Politechnika Poznańska*

OGÓLNE ZASADY DOBORU ZAWORU DO TŁUMIENIA UDERZEŃ HYDRAULICZNYCH

GENERAL RULES OF WATER HAMMER DUMPING VALVE SELECTION

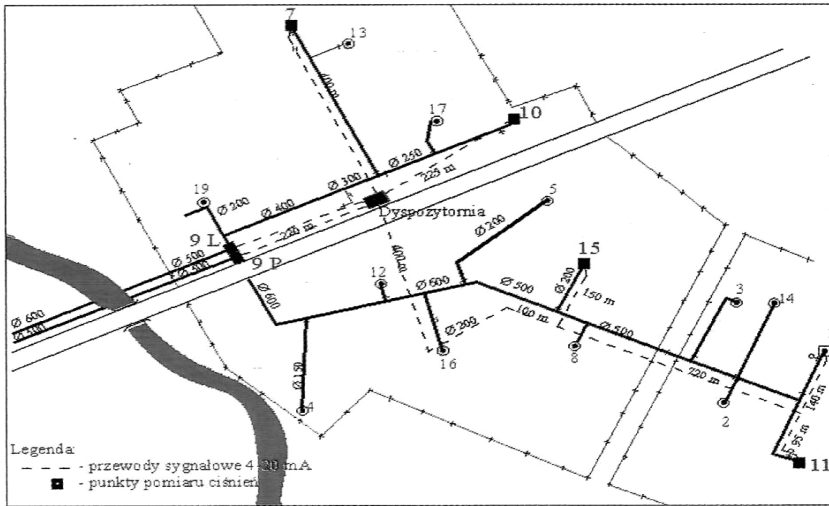
Results of water hammer investigations performed in real water supply system equipped with automatic release valve are presented. Based on the obtained results general rules of the water hammer dumping valve selection are suggested.

1. Procedury badawczo - pomiarowe

Badania przeprowadzono na ujęciu wody „Jurowce”, Wodociągu Białostockiego. Analizowana sieć składa się ze stacji pomp, oraz łączących je przewodów tłocznych. Schemat rozpatrywanej sieci na terenie ujęcia wody w Jurowcach przedstawiono na rys. 1. Woda transportowana jest rurociągiem o średnicy Φ 600 mm na odległość 2300 m do stacji uzdatniania wody. Sieć wodociągowa składa się z przewodów głównych o średnicy Φ 300 mm do Φ 600 mm i przewodów łączących studnie z siecią o średnicach Φ 150 mm do Φ 250 mm. W budowie sieci przeważają przewody żeliwne i stalowe. W komorze 9P na przewodzie tłocznym Φ 600 mm zainstalowany jest boczniowo zawór przeciwwuderzeniowy CLAVAL o średnicy $D_n = 315$ mm, przejmujący główną falę uderzenia hydraulicznego. Pomiar prowadzono przy pracy 16 pomp dla łącznej średniej wydajności $776 \text{ m}^3/\text{h}$. Średnie ciśnienie panujące w punktach pomiarowych przy ustalonej pracy pomp zmieniało się w zakresie $p_0 = 0.532 - 0.545$ MPa. Wartość ciśnienia w punktach pomiarowych mierzona była przetwornikami ciśnień podłączonych do rejestratora poprzez układ przewodów. Pomiar sygnału zmian ciśnienia rejestrowano na komputerze ze stałą czasową $\Delta t = 0,01$ sekundy. Przed przystąpieniem do badań czujniki oraz cały układ pomiarowy był cechowany i kalibrowany na stanowisku pomiarowym.

Woda transportowana jest rurociągiem o średnicy Φ 600 mm na odległość 2300 m do stacji uzdatniania wody. Sieć wodociągowa składa się z przewodów głównych o średnicy Φ 300 mm do Φ 600 mm i przewodów łączących studnie z siecią o średnicach Φ 150 mm do Φ 250 mm. W budowie sieci przeważają przewody żeliwne i stalowe. W komorze 9P na przewodzie tłocznym Φ 600 mm zainstalowany jest boczni-

kowo zawór przeciwwuderzeniowy CLAVAL o średnicy $D_n = 315$ mm, przejmujący główną falę uderzenia hydraulicznego. Pomiaru prowadzono przy pracy 16 pomp dla łącznej średniej wydajności $776 \text{ m}^3/\text{h}$. Średnie ciśnienie panujące w punktach pomiarowych przy ustalonej pracy pomp zmieniało się w zakresie $p_0 = 0.532 - 0.545 \text{ MPa}$. Wartość ciśnienia w punktach pomiarowych mierzona była przetwornikami ciśnień podłączonych do rejestratora poprzez układ przewodów. Pomiar sygnału zmian ciśnienia rejestrowano na komputerze ze stałą czasową $\Delta t = 0,01$ sekundy. Przed przystąpieniem do badań czujniki oraz cały układ pomiarowy był cechowany i kalibrowany na stanowisku pomiarowym.



Rys. 1 Schemat układu pompowego oraz położenia punktów pomiarowych

Fig. 1. Scheme of pumping system and location of measuring points

2. Badania i pomiary

Badaniami objęto pomiary rzeczywistych wielkości przyrostu ciśnienia oraz ich zmiany w czasie uderzenia hydraulicznego, które przeprowadzono w punktach pomiarowych zlokalizowanych przy agregatach pompowych oraz w komorze 9P, gdzie zainstalowany został zawór przeciwwuderzeniowy (rys. 1)

Rezultatem prowadzonych na obiektach rzeczywistych prac badawczych było uzyskanie szerokiej gamy operacji pomiarowych obrazujących przebiegi gwałtownych zmian ciśnienia wywołanych różnymi czynnościami eksploatacyjnymi oraz symulacją nagłego zaniku energii elektrycznej. Spośród tak licznych wyników wybrano do dalszej szczegółowej analizy zjawiska uderzeń hydraulicznych te, które najlepiej ilustrują charakter zjawiska i występujące zmiany wartości ciśnienia w układzie wodociagowym.

Szczególną uwagę skupiono na metodyce analizy przebiegu stanów nieustalonych oraz na zagadnieniach zmniejszania wahań ciśnień pojawiających się wskutek uderzenia hydraulicznego za pomocą upustowych zaworów bezpieczeństwa.

Wyniki badań i przykładowych pomiarów wysokości ciśnień dla rozpatrywanego układu wodociągowego ujęcie „Jurówce” w stanach nieustalonych przy wyłączeniu 16 pracujących pomp (symulacja zaniku energii) przedstawiono na rysunkach 2, 3, i 4, przy różnej konfiguracji pracy urządzeń zabezpieczających P-03, P-05, P-07.

Pomiary ciśnień rejestrowano w komorze 9P, miejscu podłączenia zaworu przeciwu-derzeniowego (rys. 1).

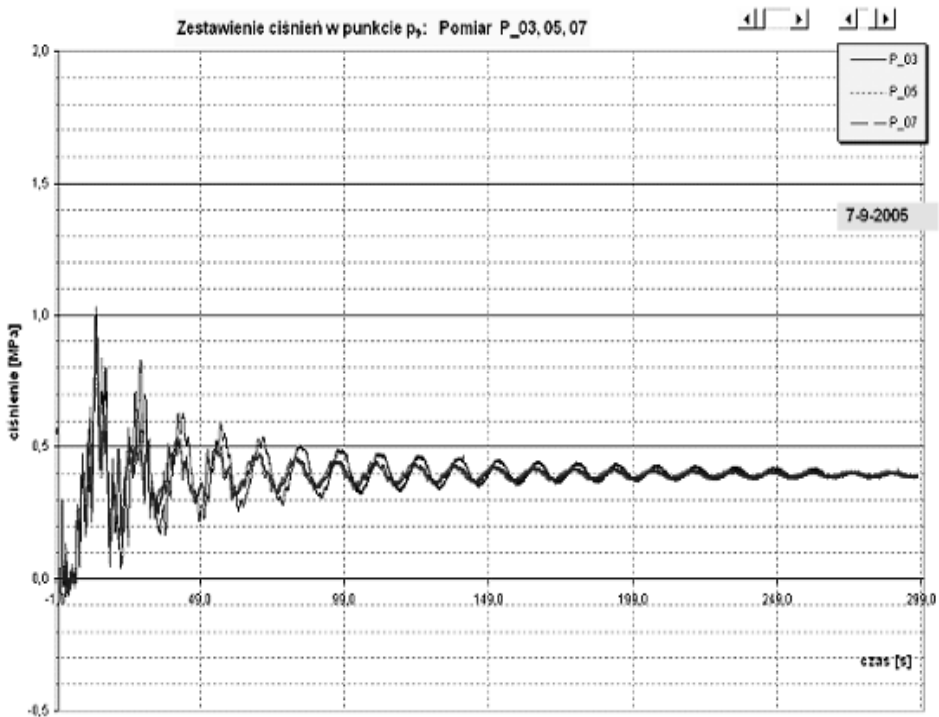
Zestawy konfiguracji urządzeń oznaczono jako:

Pomiar P 03 – zamknięty zawór przeciwuuderzeniowy i zamknięte napowietrzacze,

Pomiar P 05 - otwarty zawór, zamknięte napowietrzacze,

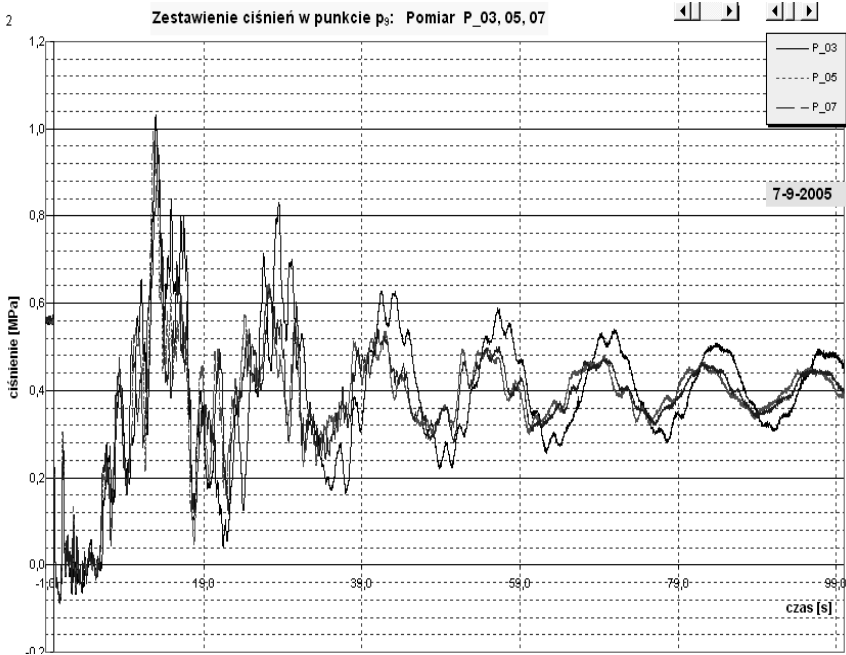
Pomiar P 07 - otwarty zawór, otwarte napowietrzacze.

Odpowiednie wykresy przedstawiają wysokości ciśnień w miejscu zamontowania zaworu przeciwuuderzeniowego CLAVAL – komora 9P.



Rys. 2 Zestawienie przebiegów zmian ciśnień na zaworze CLAVAL, przy różnych konfiguracjach pracy urządzeń przeciwuuderzeniowych – czas pomiaru 0 ÷ 300 s.

Fig. 2. Comparison of the Claval – valve pressure variations for various antiwater hammer equipment arrangements – measuring time 0-300 s



Rys.3 Przebieg zmian ciśnienia w punkcie p_9 – miejsce zamontowania zaworu przeciwwuderzeniowego CLAVAL – czas pomiaru 0 ÷ 100 s

Fig. 3. Pressure variations at the point p_9 – where the anti – water – hammer valve Claval was installed – measuring time 0-100 s

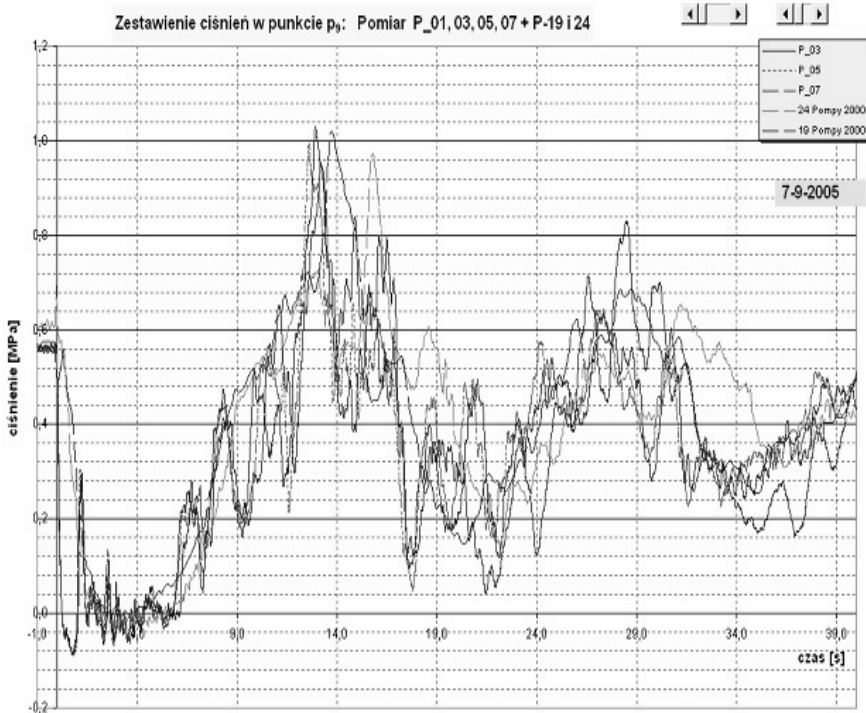
Analiza wyników pomiarowych pokazuje, że okres powstałych głównych drgań uderzenia hydraulicznego wynosi 13,95 sek i jest stały dla wszystkich badanych trzech konfiguracji pracy urządzeń przeciwwuderzeniowych.

Na wykresie (rys.2) widoczne jest szybkie wygaszenie pulsacji ciśnień przy pomiarze P-05 i P-07 tzn otwartym zaworze CLAVAL w stosunku do sytuacji gdy zawór jest wyłączony, pomiar P-03. Świadczy to o prawidłowej pracy zaworu przeciwwuderzeniowego zainstalowanego w komorze 9P.

Wartość spadku amplitudy drgań wynosi około 0,589 (wskaźnik tłumienia zaworu do szybkości wygaszania pulsacji) przy działaniu zaworu przeciwwuderzeniowego. Maksymalna różnica ciśnień między maksymalnymi i minimalnymi wartościami powstałego na zaworze p_9 przy uderzeniu wynosiła $\sim 0,981$ MPa względem pomiaru ciśnienia przy zamkniętym zaworze CLAVAL pomiar P- 03. W dalszym cyklu wahań amplitudy są znacznie mniejsze i uporządkowane.

Na podstawie przeprowadzonych badań na obiekcie rzeczywistym z zamontowanym zaworem przeciwwuderzeniowym otrzymano nowe wyniki zarówno poznawcze jak i utyli-

tarne. Dają one pogląd na przebieg zjawiska oraz pozwalają określić skuteczność osłabiania uderzeń hydraulicznych za pomocą zaworów upustowych.



Rys. 4. Zmiany ciśnienia w punkcie p_9 – miejsce zamontowania zaworu przeciwwuderzeniowego – czas pomiaru $0 \div 40$ s

Fig. 4. Pressure variations at the point p_9 – where the anti – water – hammer valve was installed –measuring time 0-40 s

3. Ogólne zasady doboru zaworu przeciwwuderzeniowego

Przedstawione informacje stanowią pewien wycinek z rozległej problematyki doboru zaworów przeciwwuderzeniowych, nie mniej bardzo istotny. Mogą to być podstawowe zasady, którymi należy kierować się w praktyce projektowej przy doborze zaworu przeciwwuderzeniowego po to, by dobór zaworu nie był przypadkowy lub nieprzemyślany.

1. Upustowy zawór przeciwwuderzeniowy bierze pełny udział w zmniejszaniu amplitudy uderzeń i wydłużeniu okresu przebiegu fali, przy czym przebiegi charakterystyk uderzeń sugerują konieczność lokalizacji zaworów upustowych w bezpośrednim sąsiedztwie pomp oraz odpowiedniego ich usytuowania w stosunku do chronionego rurociągu.

2. Przeprowadzone badania wykazały korzystny wpływ działania upustowego zaworu na zmniejszanie wahań ciśnienia uderzeń hydraulicznych. Wpływ ten zależy od sterowania jego otwieraniem i zamykaniem w trakcie trwania stanów nieustalonych.
3. Głównym zagadnieniem związanym z odpowiednim doбором wielkości zaworu jest określenie wymaganego natężenia przepływu przez zawór, które zapewni utrzymanie ciśnienia w układzie w dopuszczalnych granicach. W pierwszym przybliżeniu wielkość tą dla prostych rozwiązań można określić z równania:

$$Q = k A_v (2gh_r)^{0,5}$$

w którym: k – bezwymiarowy współczynnik przepływu zaworu,

A_v – nominalna powierzchnia przepływu przez zawór, m^2 ,

h_r – wysokość strat ciśnienia podczas przepływu przez zawór, m .

Bezwymiarowy współczynnik przepływu k zazwyczaj przyjmowany jest w zakresie $0,6 - 0,8$. Dla typowych zaworów sprężynowych na drodze badań eksperymentalnych uzyskano wartość współczynnika $k=0,729$ dla całkowicie otwartego zaworu.

Jeśli dla potrzeb odpowiedniego wypływu wody z systemu istnieje konieczność zainstalowania równoległe więcej niż jednego zaworu, wówczas powinny one być nastawione na nieco zróżnicowane ciśnienia otwarcia, co pozwala uniknąć zjawiska wzbudzenia ruchu falowego. Korzystną zasadą ze względów praktycznych jest projektowanie i montaż jednego dodatkowego zaworu bezpieczeństwa stanowiącego rezerwę na wypadek konserwacji czy remontu co zapobiega konieczności wyłączenia z pracy całego odcinka sieci lub stacji wodociągowej.

4. Przed przystąpieniem do opracowania szczegółów dotyczących doboru zaworu, szczegółowo należy rozpatrzyć układ wodociągowy jako całość, wchodzi tu trzy elementy: pompownia – rurociąg tłoczny – sieć.
5. Dokonać wstępnego badania układu wodociągowego w celu określenia czy zmiany ciśnienia mogące wystąpić przy uderzeniu hydraulicznym są zagrażające dla trwałości pracy układu wodociągowego.
6. Dokonać obliczenia przebiegu zmian ciśnienia jakie mogą powstać przy uderzeniu hydraulicznym za pomocą symulacji komputerowych lub dokonać pomiarów zmian wysokości ciśnienia, o ile to możliwe na rzeczywistej sieci wodociągowej,
7. Na podstawie uzyskanych charakterystyk przebiegu fali uderzeniowej należy ustalić:
 - maksymalne podwyższenie ciśnienia,
 - minimalne obniżenie ciśnienia.

co pozwoli na odpowiednie ustalenie warunków konstrukcyjnych doboru zaworów przeciwwuderzeniowych. Przy doborze zaworu przeciwwuderzeniowego należy wziąć pod uwagę reżim pracy pomp, by zapewnić działanie zaworu przy różnych alternatywach nagłych wyłączeń. Stosując zasadę wykreślenia charakterystyk uderzenia w powiązaniu z charakterystykami pracy pomp.

8. Zastosowanie do tłumienia uderzeń hydraulicznych zaworów przeciwwuderzeniowych wymaga ustalenia 2 parametrów:
 - wartości ciśnienia p_{otw} – otwarcia zaworu,
 - wartości ciśnienia p_{zam} - zamknięcia zaworu.

Parametry te powinny być każdorazowo podawane przez użytkownika systemu wodociągowego na podstawie wcześniejszych pomiarów oraz przeprowadzanej analizy hydraulicznej pracy układu. Nastawiane natomiast są przez producenta zaworów.

9. Zawory przeciwwuderzeniowe powinny być zamontowane na obejściach od rurociągów głównych.

4. Podsumowanie

Ogólnie rzecz biorąc zawory wymagają bardzo precyzyjnego wykonania i doboru wysokiej klasy materiałów antykorozyjnych. W przeciwnym wypadku nie będą gwarantowały spełnienia stawianych im warunków co do pewności ruchu i niezawodności działania.

Wybór najbardziej pewnego i niezawodnego w pracy zaworu jest bardzo trudny. Wszystkie działają na tej samej zasadzie a różnią się jedynie szczegółami konstrukcyjnymi. Ostateczny wybór musi uwzględnić nie tylko aspekt techniczny, ale również możliwości montażu, dostępu do energii elektrycznej, czynniki ekonomiczne i eksploatacyjne.

Przy projektowaniu sieci wodociągowej i doborze urządzeń przeciwuderzeniowych należy brać pod uwagę tylko maksymalne wartości ciśnienia w stanach nieustalonych, występujące w układzie przewodów w których miało miejsce zaburzenia przepływu. Wielkości ciśnień ekstremalnych w przewodach dalej oddalonych od źródła zaburzeń oscylują wokół wartości stanu ustalonego i nie stanowią zagrożenia dla samych przewodów i zainstalowanej armatury, ponieważ są znacznie niższe od dopuszczalnego ciśnienia roboczego.

Praca naukowa finansowana ze środków KBN w latach 2004-2006 jako projekt badawczy.

Bibliografia

- [1] Jaroszewicz J., Załuska W., Badania zjawiska uderzeń hydraulicznych w rurociągach przesyłowych wody, Pompy Pompownie, nr 3, 2003 r.
- [2] Niełacny M., Uderzenia hydrauliczne w systemach wodociagowych. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005 r.
- [3] Niełacny M., Model of the Water – Hammer Effect considering a Spring Safety Valve, Archives of Hydro – Engineering and Environmental Mechanics, vol. 51, 2004, No. 1.

