

ZBIGNIEW STEFANKO

BADANIA RUROCIĄGU GŁÓWNEGO WODOCIĄGU
Z UWZGLĘDNIENIEM UDERZEŃ HYDRAULICZNYCH

Jednym z bardzo istotnych problemów w praktyce wodociągowej jest problem należytego zabezpieczenia rurociągów przed ujemnym działaniem uderzeń hydraulicznych. Wybór odpowiedniego urządzenia przeciwuderzeniowego ma duże znaczenie dla późniejszej eksploatacji wodociągu i zależy od szeregu czynników.

Z problemami tego rodzaju zetknięto się w pracach Katedry Wodociągów i Kanalizacji przy prowadzeniu badań nad ustaleniem przyczyn występowania awarii rurociągów oraz rozpatrując możliwości rozbudowy wodociągu, zaopatrującego w wodę do picia i przemysłową jedno z większych miast na terenie Śląska.

Wspomniany wodociąg oparty jest na eksploatacji zasobów wód gruntowych znajdujących się w okolicy miasta. Główne ujęcie tego wodociągu znajduje się w miejscowości oddalonej o 7,5 km od zakładów wodociągowych. Ujęcie to składa się ze studni wierconych z pompami głębinowymi, dostarczającymi wodę na urządzenia do odżelaziania. Woda po uzdatnieniu spływa do zbiorników, a następnie przepompowuje się ją do miasta.

W pompowni zainstalowane są dwie pompy o wydajności 240 m³/godz. i wysokości pompowania 80 m sw oraz dwie pompy o wydajności 150 m³/godz. i wysokości pompowania 92,0 m sw.

W czasie eksploatacji czynne są dwie pompy o wydajności 480 m³/godz. oraz jedna o wydajności 150 m³/godz, łącznie 630 m³/godz., czyli 15120 m³/dobę. Ciśnienie robocze w pompowni mierzone na rurociągu głównym wynosi średnio 7 atn.

Zabezpieczenie przeciwuderzeniowe stanowi zbiornik powietrzny o objętości 12,60 m³, o dopuszczalnym ciśnieniu 5 atn.

Rurociąg doprowadzający wodę do wieżowego zbiornika typu przechodowego, usytuowanego na peryferiach miasta posiada średnicę ϕ 500 mm i jest wykonany z rur żeliwnych o grubości ścianki 16 mm, łączonych na złącza typu "Union". Jego wyposażenie stanowi typowa armatura (spusty i odpowietrzniki). W połowie trasy rurociągu zainstalowana jest kłapa zwrotna.

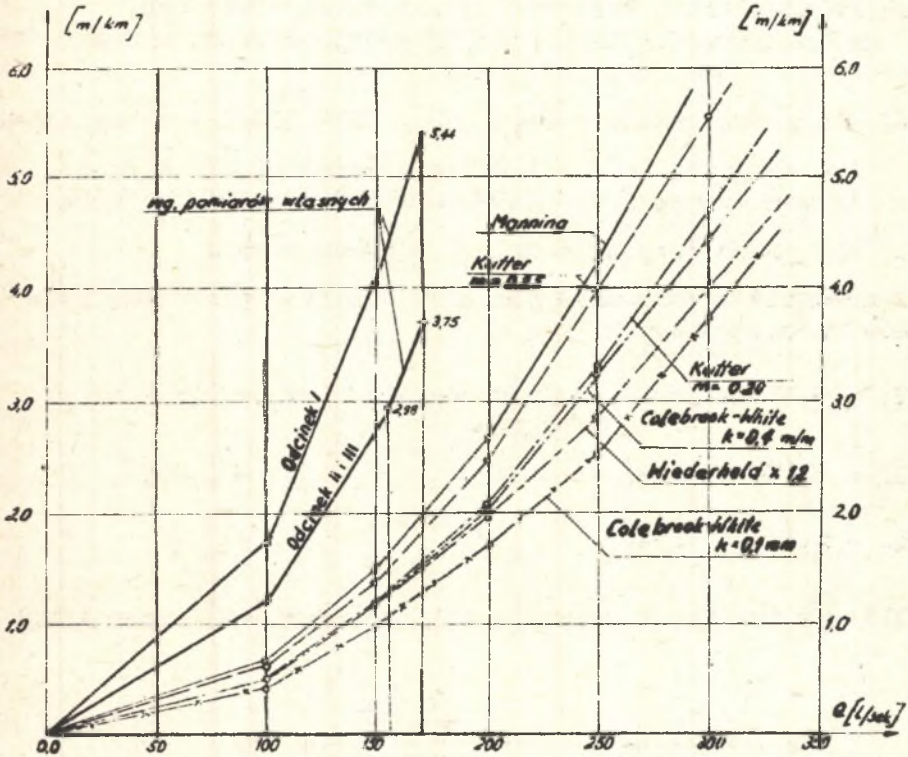
W związku z przewidywaną rozbudową ujęcia i zwiększeniem jego wydajności do 216 l/sek., czyli 776,6 m³/godz. przy wysokości pompowania 10 atn, zaistniała konieczność przeprowadzenia badań, które pozwoliłyby stwierdzić zmiany ciśnienia w rurociągu magistralnym w czasie uderzenia oraz wpływ klapy zwrotnej na przebieg fali uderzeniowej. Przeprowadzone badania obejmowały pomiary oporów przepływu dla określenia charakterystyki rurociągu oraz pomiary zmian ciśnienia w czasie uderzenia wywołanego całkowitym i częściowym wyłączeniem pomp z eksploatacji.

Pomiary oporów przepływu wykonano notując odczyty manometrów zainstalowanych na rurociągu magistralnym. Poprawność wskazań manometrów z podziałem pozwalającym na dokonywanie odczytów z dokładnością do 0,10 m, określono laboratoryjnie. Manometry zainstalowano na rurociągu w odległości 3,767 km od pompowni za klapą zwrotną na rzędnej 155,96 i w odległości 5,890 km na rzędnej 175,10 w miejsce wymontowanych odpowiedników. W pomiarach wykorzystano wskazania manometrów zainstalowanych na stacji pomp na rzędnej 162,55 i w zbiorniku wieżowym na rzędnej 164,40. Na odgałęzieniach od manometrów zamontowano kurki czerpalne umożliwiające pobór prób wody w trakcie wykonywania pomiaru prędkości przepływu wody w rurociągu.

Dla określenia wydatku rurociągu wykonano pomiar prędkości przepływu przy użyciu roztworu wapna chlorowanego, którego obecność w wodzie wykrywano przy użyciu orthotolidyny. Pobór prób wody z rurociągu poprzez ww. kurki spustowe wykonywano w odstępach 5 sekundowych. Błąd wynikły z niedokładności odczytu czasu przepływu fali z roztworem chloru nie przekroczył 10 sekund, co przy średnich czasach przepływu na badanych odcinkach, wynoszących 4320 sek., 2460 sek. i 2040 sek. stanowi 0,2%, 0,4% i 0,46%. Prędkości przepływu i wydatki rurociągu mierzone tą metodą posiadają wystarczającą w praktyce dla tych celów dokładność.

Dla zobrazowania wyników pomiarów strat ciśnienia i porównania z oporami uzyskiwanymi w oparciu o powszechnie stosowane wzory wykonano wykresy zmian oporów przepływu w zależności od wydatku rurociągu (rys. 1) wg Kuttera dla $m = 0,2$ i $0,25$, Manninga dla $\frac{1}{n} = 80$, Wiederholda z mnożnikiem 1,2 i Colebrooka - White a dla $k = 0,1$ mm i $K = 0,4$ mm.

Porównanie uzyskanych wyników wskazuje na niespotykane wysokie opory przepływu w rurociągu, w szczególności na odcinku pierwszym. Opory te o 160% przewyższają wartości oporów wg formuły Manninga, dającej najwyższe wartości obliczeniowe i o 310% opory obliczone wzorem Colebrooka - White'a dla $k = 0,1$ mm.



Rys. 1. Porównawczy wykres oporów jednostkowych dla rurociągu $\varnothing 500 \text{ mm}$

Na odcinku drugim, nieco mniejsze opory przepływu odbiegają jednak również bardzo znacznie od wartości teoretycznych (o 82% od obliczonych wzorem Manninga i o 180% obliczonych wzorem Colebrooka - White'a). Identyczne jak na odcinku drugim wyniki uzyskano na odcinku końcowym do zbiornika wieżowego.

Badania uderzeń hydraulicznych przeprowadzono w dwu etapach:

- a) Z zespołu trzech pomp, tj. 2 x OS - 200/2 - o wydajności 480 m³/godz. i OS - 150/2 o wydajności 150 m³/godz. Wyłączono pompę OS - 200/2 o wydajności 240 m³/godz.
- b) Wyłączono wszystkie będące w ruchu pompy.

W momencie wykonywania pomiarów wydatki poszczególnych odcinków rurociągu wynosiły:

$$\begin{array}{ll}
 Q_1 = 0,171 \text{ m}^3/\text{sek.} & \text{i odpowiadająca} \\
 & \text{prędkość} \\
 Q_2 = 0,170 \text{ m}^3/\text{sek.} & \text{"} \\
 Q_3 = 0,153 \text{ m}^3/\text{sek.} & \text{"}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{ll}
 v_1 = 0,872 \text{ m/sek.} \\
 v_2 = 0,865 \text{ "} \\
 v_3 = 0,78 \text{ "}
 \end{array}$$

Dla rur żeliwnych szybkość fali uderzeniowej wynosi:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + \frac{D}{s}}} = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + \frac{500}{16}}} = 1100 \text{ m/sek}$$

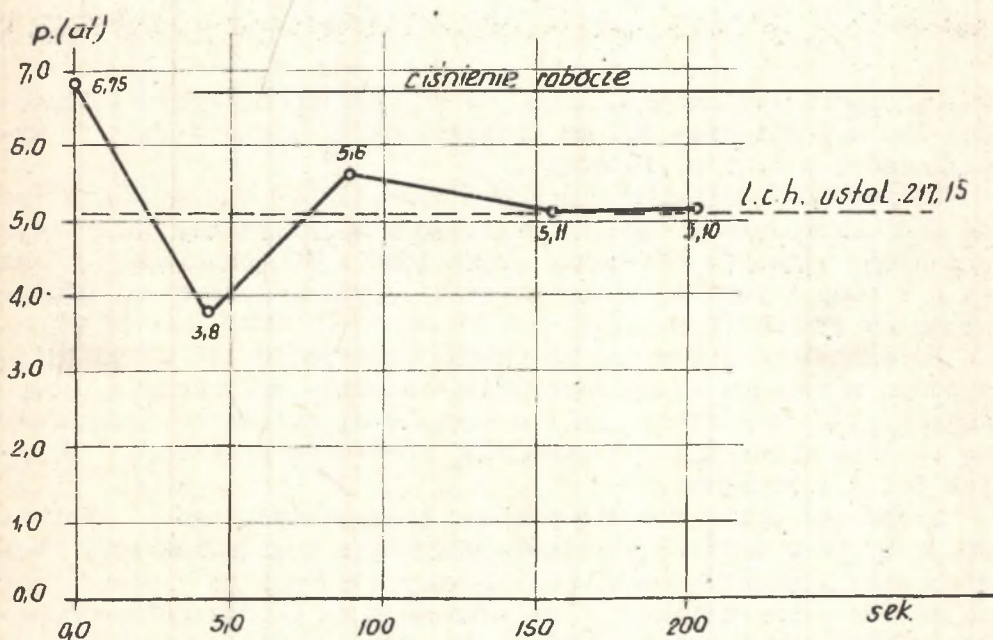
Początkowy spadek ciśnienia w zbiorniku powietrznym

$$p = a \frac{v_1 - v_1'}{g} = \frac{1100 (0,872 - 0,53)}{9,81} = 38,4 \text{ m st.w.}$$

Badania wykazały, że obniżenie ciśnienia na stacji pomp w wyniku wyłączenia pompy OS - 200/2 wyniosło 29,5 m st.w. Przebieg zjawiska przy wyłączeniu pompy OS - 200/2 przedstawia wykres (rys. 2).

Teoretyczny przebieg zmian ciśnienia przy wyłączeniu wszystkich pomp charakteryzuje początkowa obniżka ciśnienia do wartości, która może być określona formułą:

$$p_{\min} = p_0 - v_0 \sqrt{\frac{F_1 \cdot L \cdot \gamma \cdot p_0}{g \nabla_0}} \quad (\text{kg/m}^2)$$



Rys. 2. Wykres zmian ciśnienia w zbiorniku powietrznym po wyłączeniu pompy OS-200/2

w której:

- p_0 - początkowe ciśnienie absolutne,
- v_0 - prędkość początkowa w przewodzie,
- F_1 - przekrój poprzeczny przewodu tłucznego,

- L - długość przewodu tłocznego,
 g - przyspieszenie ziemskie,
 V_0 - objętość początkowa bani powietrznej.

$$p_{\min} = 78,0 - 0,872 \sqrt{\frac{0,1963 \times 7340 \times 78}{4,2 \times 9,81}} +$$

$$+ 2,42 \sqrt{\frac{0,07 \times 150 \times 78}{4,2 \times 9,81}} = 21,0 \text{ m s\k{a}.w.}$$

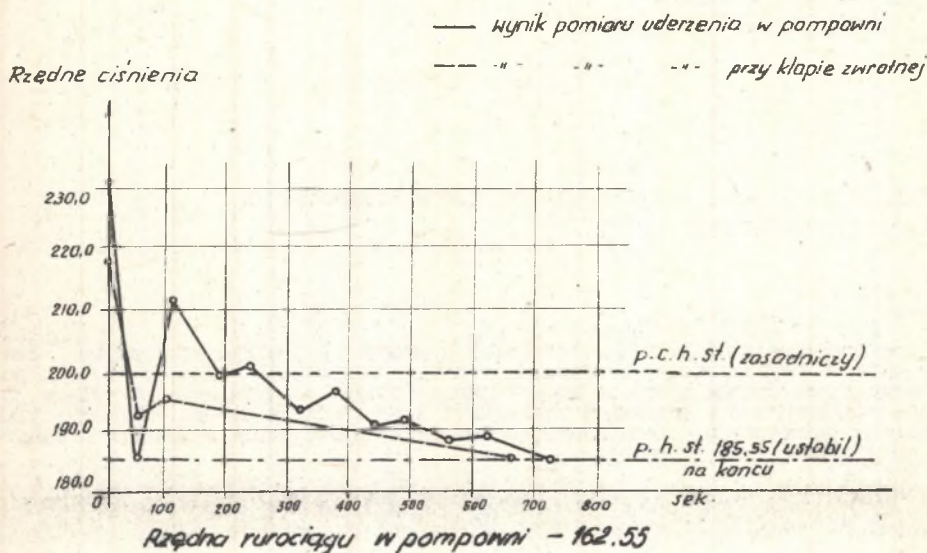
W obliczeniu tym uwzględniono, że odcinek początkowy o długości 150 m i średnicy 300 mm prowadzi całą objętość wody wypływającej z bani powietrznej.

Pomierzone obniżenie ciśnienia wynosiło 23,0 m s\k{a}.w., które od obliczeniowego różni się stosunkowo nieznacznie. Obserwacje przebiegu zjawiska uderzenia prowadzono w dwu punktach, na stacji pomp i poniżej kłapy zwrotnej. Wyniki obserwacji nanie-siono na wykres (rys. 3).

Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że w tym nietypowym przypadku kłapa zwrotna niezupełnie przymknięta powoduje szybsze wygaszenie fali uderzeniowej działając tłumiąco na wahania ciśnienia w przewodzie, zarówno w przekroju kłapy jak też i w pompowni.

Stopniowe obniżanie się poziomu hydrostatycznego nasuwa wniosek, że w trakcie powstania uderzenia hydraulicznego występowały niekontrolowane ubytki wody z rurociągu powstające na skutek nieszczelności kłap zwrotnych na poszczególnych pompach.

Badania pozwoliły również stwierdzić, że zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi, dla wypadku gdy $\frac{a \cdot v}{g} > h_{\text{rob}} + 10 \text{ m sw}$ ciśnienie maksymalne nie przekracza wartości podwójnego ciśnienia statycznego wyrażonego w wartości bezwzględnej.



Rys. 3. Wykres zmian ciśnienia w zbiorniku powietrznym i za klapą zwrotną po wyłączeniu wszystkich pomp

LITERATURA

- [1] Chramiec W.: Uderzenia wodne w przewodach wodociągowych. Gaz, Woda i Technika Sanitarna Rok XXVI. Zeszyt 4 Warszawa 1952.
- [2] Czyżowski R.: Sposób obliczenia powietrznika do pompy odśrodkowej. Przegląd Techniczny. Warszawa 1935.
- [3] Papin M.W.: Gidrawliczeskij udar w wodowodach nasosnych stancij. Gidrotechnika i Melioracja Nr 9, 1951.
- [4] Piotrowski I.: Wpływ zbiornika wodno-powietrznego na uderzenia hydrauliczne w przewodzie tłocznym. Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Rok XXVI Zeszyt 2 Warszawa 1950.

- [5] Pomianowski K. i Wóycicki K.: Uderzenia wodne w przewodach tłocznych Zakładów Wodociągowych. Praca ANT Tom III Zeszyt 3 Warszawa 1934.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАЗНОГО ТРУБОПРОВОДА НАСОСНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ
С УЧЁТОМ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРОВ

Р е з ю м е

Представленный в докладе вопрос касается проблемы гидравлических ударов, имеющих место в трубопроводе, снабженном обратным клапаном в половине трассы. Проведённые исследования дебита воды, гидравлического сопротивления во время обычной эксплуатации и изменений давления в момент возникновения явления удара дали возможность определения характеристики трубопровода и проверки действия амортизационного устройства.

Силезский политехнический институт
Кафедра водоснабжения и канализации

INVESTIGATIONS CONCERNING THE PROBLEM
OF A MAIN PUMP-WATER LINE WITH SPECIAL
CONSIDERATION OF ITS HYDRAULIC IMPACT

S u m m a r y

The problem dealt with in this paper, is the phenomenon of the hydraulic impact occurring in the water main, halfway of which there is mounted a flap valve. The investigations consisted in measuring the flow resistance, by means of which the pipe line could be characterized, as well as the pressure changes resulting from hydraulic impacts. It has been found out that a partly closed valve made it possible to suppress fluctuations of pressure in the line.

Silesian Technical University at Gliwice
Chair of Water Supply and Sewage