

► Agnieszka Malesińska*

Uderzenie hydrauliczne – dlaczego powstaje i jak można mu zapobiec?

Dane literaturowe wskazują, że 80% awarii występujących na przewodach sieci wodociągowych niewyposażonych w urządzenia zabezpieczające powstało w następstwie występowania zjawiska uderzenia hydraulicznego, co skutkuje między innymi wzrostem kosztów eksploatacji nawet do 60%.



Renowacja starej, skorodowanej magistrali wodociągowej w ul. Koszykowej w centrum Warszawy. Renowację wykonano metodą reliningu za pomocą rury WehoPipe z polietylenu PE100 RC o podwyższonej odporności na: propagację pęknięć, naciski punktowe i skutki zarysowań

Fot. Uponsor Infra/KWH Pipe

■ Współcześnie system wodociągowy to zespół skoordynowanych i współpracujących inżynierskich obiektów i urządzeń, dostarczających odbiorcy wymaganą ilość wody, o odpowiedniej jakości, pod odpowiednim ciśnieniem, w sposób możliwie niezawodny i ekonomicznie uzasadniony [1]. Istniejące sieci wodociągowe często podlegają modernizacji oraz rozbudowie. Zmiany w układzie sieci wymuszają zmiany poszczególnych komponentów systemu, takich jak współczynniki chropowatości, średnice, grubości ścianek, ale również pompy, zasuwę czy zawory. Każ-

da taka zmiana może sprzyjać powstawaniu zjawiska uderzenia hydraulicznego.

Podstawy teoretyczne zjawiska

Uderzeniem hydraulicznym nazywane jest zjawisko silnych oscylacji ciśnienia w przewodzie pracującym pod ciśnieniem, wywołane szybkimi, wymuszonymi w krótkim czasie, zmianami prędkości przepływu cieczy [3]. W aspekcie fizycznym przepływu występujące w postaci uderzenia hydraulicznego wywołane są bezwładnością masy cieczy po-

ruszającej się w rurociągu, której prędkość przepływu ulega nagłej zmianie. Gwałtowna zmiana prędkości i strumienia objętości przepływającej cieczy powoduje miejscową zmianę udziału energii kinetycznej i potencjalnej w energii całkowitej przekroju, wyrażającej się wzrostem lub spadkiem ciśnienia w strumieniu. W warunkach bardzo szybkiego wyhamowania prędkości strumienia następuje gwałtowny spadek energii kinetycznej, co powoduje wzrost energii potencjalnej, który uzewnętrznia się dużym przyrostem ciśnienia. Na przebieg zjawiska

uderzenia hydraulicznego znaczny wpływ wywiera podatność cieczy na ściśliwość oraz sprężystość ścianek rurociągu, czyli ich podatność na odkształcenia sprężyste wskutek zmiany ciśnienia hydrodynamicznego w rurociągu. W skrajnych przypadkach ten gwałtowny przyrost ciśnienia może wywołać przekroczenie wartości krytycznych naprężeń rozciągających w ściankach rurociągu [4]. Uderzenie hydrauliczne związane ze wzrostem ciśnienia nazywamy dodatnim, a takie w którym nastąpi nagły spadek ciśnienia nazywamy ujemnym.

* dr inż. Agnieszka Malesińska, Politechnika Warszawska

Dla dodatniego i ujemnego uderzenia hydraulicznego przyrosty ciśnienia oblicza się ze wzoru Żukowskiego-Allieviiego [5]:

$$\Delta p = \pm \rho a \Delta v$$

gdzie:

Δv – przyrost prędkości;

a – prędkość fali podwyższonego ciśnienia;

ρ – gęstość cieczy.

Zarówno przy dodatnim, jak i ujemnym uderzeniu hydraulicznym możliwe są dwa przypadki:

jeżeli $t_z < T$, to w przewodzie będzie występowało uderzenie proste,

jeżeli $t_z > T$, to w przewodzie będzie występowało uderzenie nieproste,

gdzie t_z – czas całkowitego otwierania zaworu,

T – całkowity czas przebiegu fali od zaworu do wylotu i z powrotem.

W warunkach technicznych uderzenie hydrauliczne może wywołać znaczne zmiany ciśnienia, które stają się przyczyną awarii, takich jak: zniszczenie rurociągu, uszkodzenie pompy, zaworów zwrotnych, itp. [5]. Oprócz niebezpieczeństwa uszkodzenia przewodów rurowych przez mechaniczne działanie nadciśnienia, przy podciśnieniu istnieje niebezpieczeństwo przerwania strumienia płynącej wody.

Występowanie zjawiska da się sprowadzić do dwóch zasadniczych układów pacy: grawitacyjnych oraz tłocznych [6].

Przyczyny powstawania zjawiska uderzenia hydraulicznego

Przepływy nieustalone, szybkozmienne w przewodach wodociągowych są wynikiem prawie każdej zmiany prędkości, czy natężenia przepływu wody. To, czy ulegną one przekształceniu w zjawisko uderzenia hydraulicznego będzie zależało głównie od szybkości tych zmian oraz charakterystyki systemu

wodociągowego obejmującego ogół wyposażenia i uzbrojenia [1]. Spośród przyczyn inicjujących zjawisko uderzenia hydraulicznego wymienić należy [1]:

- **zdarzenia przypadkowe** – przerwa w dostawie energii elektrycznej do stacji pomp, zmiana warunków początkowych przepływu, zmiana odpływów węzłowych, zmiana poziomu wody w zbiornikach sieciowych początkowych lub pośrednich, błędy w doborze poszczególnych elementów systemu;

- **niewłaściwą eksploatację systemu** – jednoczesne, nagłe wyłączenie wszystkich pomp zasilających ten sam rurociąg, nieprawidłowe zamykanie lub otwieranie zasuw, zjawisko „odbicia” klapy zwrotnej, będące następstwem przepływu zwrotnego, niewłaściwe połączenie siłownika elektrycznego obsługującego proces zamykania lub otwierania zasuw, nieprawidłowo prowadzona konserwacja i remonty;

- **awarie, zdarzenia losowe** – pęknięcie przewodu spowodowane mechanicznie lub jako skutek obsuwania się ziemi, nagła blokada pompy, ukłucie trzpienia lub zerwanie gwintu zasuw, drgania elementów podlegających deformacji, takich jak na przykład zasuw;

- **zjawisko kawitacji** – wywołane nadmierną prędkością przepływu wody, dużą różnicą w wysokości ciśnienia do wartości ciśnienia parowania cieczy w danej temperaturze w wyniku nagłego zatrzymania pracy pompy, zamknięcia zasuw czy wysokiej lokalizacji punktu sieci;

- **wibracje** – związane z cyklicznymi zjawiskami indywidualnymi przez przepływ w poszczególnych punktach systemu, na przykład związane z nierównomierną pracą pomp czy działaniem zaworów płytwakowych [1].

Jako najbardziej charakterystyczne warunki wywołujące uderzenie hydrauliczne przez

urządzenia wodociągowe można wskazać:

- uruchomienie pompy wirowej przy otwartej zasuwie na przewodzie tłocznym,
- zatrzymanie pompy bez zastosowania wstępnego wyhamowania strumienia zasuwą, przepustnicą lub innym zaworem.

Ponadto pewne prace renowacyjne mogą wzmacniać przebieg zjawiska uderzenia hydraulicznego, np. dość popularna metoda wprowadzania do wnętrza starego przewodu, przewodu nowego o mniejszej średni-

cy może prowadzić do zwiększenia prędkości przepływającej cieczy. Na skalę zjawiska ma również wpływ geometria łączonych przewodów. Inaczej będzie przebiegał przyrost ciśnienia fali uderzenia hydraulicznego w ciągu przewodów o zmniejszających się średnicach, a inaczej w ciągu przewodów o zwiększających się średnicach [7]. Często więc istniejące sieci wodociągowe odbiegają dość znacznie od pierwotnego projektu, a niestety wprowadzane zmiany

Sposoby zapobiegania uderzeniom hydraulicznym

Aby możliwie najskuteczniej chronić system przed negatywnymi skutkami uderzenia hydraulicznego, należy w pierwszej kolejności dobrać prawidłowe przekroje, w których należy zlokalizować urządzenia zabezpieczające. Następnie na podstawie danych o systemie należy wybrać typ urządzenia zabezpieczającego. Urządzenie powinno być zlokalizowane jak najbliżej przekroju, w którym potencjalnie może dość do niepożądanego przyrostu ciśnienia. I tak na przykład zamknięcie zasuw powoduje przerost ciśnienia zarówno przed, jak i za zasuwą. W takim przypadku należałoby zlokalizować urządzenie zabezpieczające w obu tych przekrojach. Główna zasada kontroli lub tłumienia przepływów nieustalonych polega na ograniczeniu częstotliwości, z jaką pojawiają się zmiany przepływu, gdyż wówczas czas, w którym odbita fala ciśnienia powraca do źródła inicjacji będzie wykorzystany do kontroli lub redukcji kolejnych zmian [1]. Strategię wykorzystywaną do osiągnięcia tego celu można sklasyfikować w dwóch grupach:

1. działania pozastukturalne – polegające na próbach odpowiedniego sterowania warunkami hydraulicznymi systemów wodociągowych przez zrównoważenie przepływów

lub na prawidłowej eksploatacji i nadzorze technicznym [1]. Działania te będą więc obejmowały między innymi dobór i eksploatację zaworów i zasuw, zaworów zwrotnych oraz przeciwdziałaniu zjawisku rezonansu; 2. działania w systemie – jest to metoda, która opiera się na próbach modyfikowania konfiguracji układu lub wprowadzenia dodatkowych urządzeń zabezpieczających [1]. W metodzie tej można wyróżnić dwie zasady zabezpieczenia:

- próbę eliminacji zjawiska uderzenia hydraulicznego przez bezpośrednią zmianę konfiguracji systemu: trasy, długości przewodów, średnic, materiału rurociągów, połączeń, obejść itp.[1]

- przeciwdziałania zjawiskom zapoczątkowanym – jest to wciąż najpopularniejsza metoda polegająca na wprowadzeniu do systemu różnych urządzeń i mechanizmów, w wyniku działania których ciecz jest zrzucana z rurociągu lub przetrzymywana w pewnej przestrzeni poza systemem. Do tego celu można wykorzystać między innymi: zbiorniki wodno-powietrzne, zbiorniki wodno-powietrzne z kryzą różnicową zainstalowaną na odpływie, zawory napowietrzające, zawory bezpieczeństwa [1].

rzadko analizowane są pod kątem możliwości powstania uderzenia hydraulicznego. Dodatkowo należy pamiętać, że każdy system wodociągowy jest specyficzny i nie można stosować analogicznych rozwiązań przeciwdziałających zjawisku uderzenia hydraulicznego, które sprawdziły się w innym istniejącym systemie. Często bowiem urządzenie zabezpieczające dobrze działające w jednym układzie, może nie tylko nie zabezpieczać w innym, ale wręcz sprzyjać zjawisku uderzenia hydraulicznego. Znając wachlarz możliwych działań chroniących system przed szkodliwymi skutkami uderzenia hydraulicznego, szczegółowe rozwiązanie należy dobrać dla analizowanego systemu. Nie istnieją bowiem systemy wodociągowe, których parametry byłyby identyczne, a nawet niewielkie zmiany mogą prowadzić do różnych reakcji systemu na to samo zjawisko.

Podsumowanie

Każdy system wodociągowy jest niepowtarzalnym układem, w którym możliwość powstania zjawiska uderzenia hydraulicznego związana będzie z indywidualnymi cechami, charakterystycznymi dla danego przypadku. Zawsze w układzie będzie dochodziło do nieustalonych przepływów, jednak nie każdy nieustalony przepływ będzie inicjował powstanie zjawiska uderzenia hydraulicznego. Projektowane, rozbudowywane i modernizowane systemy wodociągowe każdorazowo powinny być analizowane pod kątem powstania zjawiska uderzenia hydraulicznego. Działania projektantów i eksploataatorów powinny minimalizować niebezpieczeństwo powstania fali uderzeniowej lub niwelować ewentualne negatywne skutki przejścia takiej fali. W warunkach technicznych uderzenie hy-

drauliczne może wywołać znaczne zmiany ciśnienia, które stają się przyczyną licznych awarii, takich jak: zniszczenie rurociągu, uszkodzenie pompy, zaworów zwrotnych itp. Za najbardziej charakterystyczne warunki sprzyjające wywołaniu uderzenia hydraulicznego w układach wodociągowych można uznać:

- raptowne otwarcie (zamknięcie) przepływu za pomocą zaworu na przewodzie,
- nagłe wyłączenie dopływu prądu elektrycznego do silnika pompy,
- zatrzymanie pompy bez zastosowania wstępnego wyhamowania strumienia zasuwa, przepustnicą lub innym zaworem.

Mniejsze uderzenia powstają również jako następstwo szybkich zamian przepływu, wyłączenia i załączenia czynnych rurociągów w przypadku nieprawidłowego czasu działania urządzeń wyłączających, szybkiego napełniania nieodpowietrzonych należycie rurociągów, pulsującej pracy pomp przy nieodpowietrzonych rurociągach lub uszkodzeniach rurociągów [6].

Na wielkość przyrostu ciśnienia ma wpływ zarówno konfiguracja geometryczna łączonych przewodów, jak i rodzaj materiału z jakiego wykonana jest instalacja. Przy projektowaniu instalacji należy więc dążyć wszelkimi staraniami, aby zminimalizować niebezpieczeństwo powstania zjawiska uderzenia hydraulicznego. Z drugiej strony powinno się pamiętać, że przyczyną powstania zjawiska może być po prostu przypadek, zdarzenie losowe lub błędna decyzja obsługi, a tego nie jesteśmy w stanie do końca przewidzieć. ■

POBIERZ



Literatura

VII FORUM PRZEMYSŁU ENERGETYKI SŁONECZNEJ I BIOMASY



Mikrogeneracja i energetyka rozproszona: kolektory słoneczne, systemy fotowoltaiczne i kotły na biomasę



Racibórz,
12 – 13 czerwca 2014 r.

Czy energetyka prosumencka rozwine się w Polsce? Który sektor OZE będzie konkurencyjny w następnych latach? Który wygra w konkurencji o wsparcie w programach wsparcia? Na jakie wsparcie może liczyć prosument do 2020 r.? Czy rynek kolektorów słonecznych będzie dalej tak prężnie rozwijał się? Czy nastąpi wzrost sprzedaży kotłów na biomasę do celów przydomowych? W jaki sposób prosument może podłączyć swoją instalację fotowoltaiczną do sieci? Na te pytania organizatorzy i prelegenci postarają się odpowiedzieć podczas VII Forum Przemysłu Energetyki Słonecznej i Biomasy odbywającego się w dniach 12-13 czerwca 2014 r. w Racibórze. Instytut Energetyki Odnawialnej (IEO) we współpracy z Miastem Racibórz oraz Raciborską Izbą Gospodarczą (RIG) serdecznie zapraszają do udziału w Forum.

Bazując na doświadczeniu i sukcesach poprzednich sześciu edycji Forum (odbywających się nieprzerwanie od 2007 roku), IEO dostrzegając wzrastający potencjał segmen-

tu kotłów na biomasę w Polsce zaprasza do udziału w kolejnym spotkaniu sektora przemysłu zielonej energetyki, podczas którego zostaną przedstawione kwestie dotyczące mikroinstalacji i energetyki rozproszonej: kolektorów słonecznych, systemów fotowoltaicznych i kotłów na biomasę. Forum jest największym spotkaniem biznesowym w sektorze energetyki prosumenckiej w Polsce. Co roku uczestniczy w nim kilkaset osób z największych firm z branży mikroinstalacji OZE, przede wszystkim prezesi oraz kadra zarządzająca firmami.

VII Forum Przemysłu Energetyki Słonecznej i Biomasy towarzyszyć będą **Międzynarodowe Targi Energii Odnawialnej** organizowane przez współpracujące miasta Racibórz i Opawa. Targi adresowane są do inwestorów i mieszkańców Euroregionu Silesia i odbędą się w dniach 13-14 czerwca 2014 r. Szczegółowe informacje oraz program VII Forum znajdują się na oficjalnej stronie internetowej konferencji pod adresem: www.forum.ieo.pl