Stanowisko do badania elastycznych niskociśnieniowych przewodów wodnych

The station to the testing elastic low-pressure water lines

PAWEŁ PIETKIEWICZ
BARTOSZ MOCZULAK
WOJCIECH MIĄSKOWSKI
KRZYSZTOF NALEPA *

Materiały z XX SKWPWiE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/MECHANIK.2016.7.175

Przedstawiono wyniki prac nad projektem i budową stanowiska badawczego przeznaczonego do badań wytrzymałościowych na elastycznych niskociśnieniowych przewodach wodnych. Zbudowane urządzenie pozwala na sprawne badanie wytrzymałości przewodów zgodnie z normami dotyczącymi badań hydrostatycznych węży i przewodów z gumy i tworzyw sztucznych.
SŁOWA KLUCZOWE: badania wytrzymałościowe, przewody hydrauliczne, przewody niskociśnieniowe

The results of works were introduced in the present article over the project and the building of the position of investigative, designed to stamina investigations on elastic low-pressure water lines. The built device allows to the efficient investigation of endurance of produced lines to norms relating to hydrostatical snakes and lines from the gum and from artificial materials investigations according.
KEYWORDS: stamina investigations, hydraulic lines, low-pressure lines

Powtarzalność parametrów pracy przewodów elastycznych, którymi transportowana jest woda, jest jednym z głównych celów, jakie producenci tego rodzaju przewodów starają się osiągnąć. Duża konkurencja na rynku powoduje, że coraz bardziej istotną sprawą stają się więc badania jakościowe produkowanych przewodów. Zastosowane narzędzia i metody badań powinny zapewniać możliwość wielokrotnego przeprowadzenia testów w powtarzalnych i kontrolowanych warunkach oraz według norm narzucających konkretne wymagania co do przebiegu testów.

W niniejszym artykule przedstawiono koncepcję stanowiska badawczego służącego do testów przewodów wodnych oraz przykładowe wyniki testów przeprowadzonych na tym stanowisku.

Badania hydrostatyczne elastycznych przewodów wodnych z tworzyw sztucznych

Warunki i sposób przeprowadzenia próby ciśnieniowej określa norma PN-EN 1402:2010. Przewiduje ona kilka rodzajów prób, jakie należy wykonać, testując przewody hydrauliczne produkowane z gumy lub tworzyw sztucznych. Budowane urządzenie miało umożliwiać wykonanie dwóch rodzajów badań.

■ Próba statyczna

Próba statyczna polega na zadaniu deklarowanej przez producenta wartości ciśnienia pracy przewodu i utrzymywaniu go przez określony czas. Według założeń producenta przewodów ciśnienie pracy powinno być utrzymane na poziomie w czasie 60 min. Podczas próby urządzenie testujące powinno wykrywać ewentualne przecieki. Po zakończeniu próby statycznej możliwe jest przeprowadzenie pomiarów odkształcenia badanej próbki.

■ Próbę zerwania

Próba zrywająca polega na doprowadzeniu do kontrolowanego rozerwania badanej próbki i zarejestrowaniu ciśnienia, przy którym zostanie ona zniszczona. Norma PN-EN 1402:2010 wymaga jednak, aby niezależnie od średnicy badanej próbki czas osiągnięcia ciśnienia niszczącego ją mieścił się w przedziale od 30 s do 60 s.

Założenia projektowe

Na podstawie normy PN-EN 1402:2010 oraz potrzeb zdefiniowanych przez zamawiającego opracowano następujące założenia projektowe:

- zakres ciśnień, przy których wykonywane są próby ciśnieniowe: 0÷15 MPa;
- próby ciśnieniowe odbywają się bez przepływu medium;
- medium robocze: woda;
- zmienność ciśnienia w trakcie wykonywania prób w całym zakresie pomiarowym ±0,1 MPa;
- średnica wewnętrzna testowanych węży od 5÷38 mm;
- grubość ścianki testowanych węży od 1,5÷5 mm;
- pomiar ciśnienia odbywa się za pomocą piezorezystancyjnych przetworników ciśnienia;
- nominalne ciśnienie rozrywające i robocze musi zostać osiągnięte w czasie od 30 do 60 s;
- wytworzenie ciśnienia w układzie hydraulicznym może odbywać się za pomocą elementów zasilanych elektrycznie lub pneumatycznie.

Układ pneumatyczno-hydrauliczny urządzenia

Z uwagi na duży zakres średnic badanych przewodów oraz narzucony przez normę PN-EN 1402:2010 czas osiągania ciśnienia podczas prób, głównym problemem stało się zapewnienie odpowiedniej prędkości narastania ciśnienia wody w badanej próbce. Różnorodność produktów podlegających testom wymagała przeanalizowania wpływu kilku czynników determinujących czas osiągnięcia żądanego ciśnienia, m.in.:

- różna wartość ciśnienia próby statycznej i próby zerwania;
- zmienna wartość ciśnienia obu prób dla każdego z wyrobów;
- średnica przewodu – parametr silnie wpływający na objętość układu w strefie badanej próbki, a co za tym idzie na czas niezbędny do wytworzenia żądanego ciśnienia próby;
- grubość, materiał, struktura budowy ścianki próbki – czynniki wpływające na odkształcenie przewodu pod wpływem wzrastającego ciśnienia w układzie i potrzebę dostarczania medium roboczego wraz z odkształcaniem się próbki.

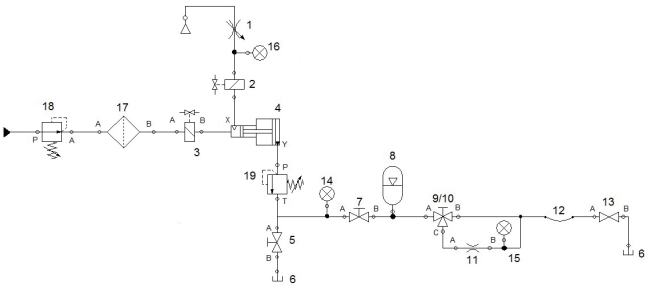
* Paweł Pietkiewicz (papiet@uwm.edu.pl); Bartosz Moczulak (bartosz.moczulak@o2.pl); Wojciech Miąskowski (wojmek@uwm.edu.pl); Krzysztof Nalepa (nalepka@uwm.edu.pl) – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Wydział Nauk Technicznych

Po opracowaniu kilku koncepcji budowy układu hydraulicznego przyjęto, że będzie on zbudowany według schematu przedstawionego na rys. 1.

Elementem wytwarzającym ciśnienie w instalacji jest pompa pneumatyczno-hydrauliczna *4*. Jest ona zasilana powietrzem z sieci. Ciśnienie powietrza dostarczanego do pompy jest redukowane do żądanej wartości za pomocą precyzyjnego zaworu redukcyjnego *1* i podawane poprzez elektrozawór *2*. Woda podawana jest z sieci wodociągowej poprzez elektrozawór *3*. Ciśnienie wody po stronie tłocznej pompy zależy od ciśnienia powietrza dopływającego do pompy.

W trakcie przygotowywania instalacji do badania okresowo istnieje potrzeba odizolowania sekcji, w której wytwarzane jest ciśnienie, od sekcji, w której pozostaje zamontowana próbka. Umożliwia to zawór *7*. Przy zamkniętym zaworze *7* ciśnienie w pierwszej sekcji instalacji ustawiane jest zaworem redukcyjnym powietrza *1* oraz zaworem kulowym, upustowym *5*.

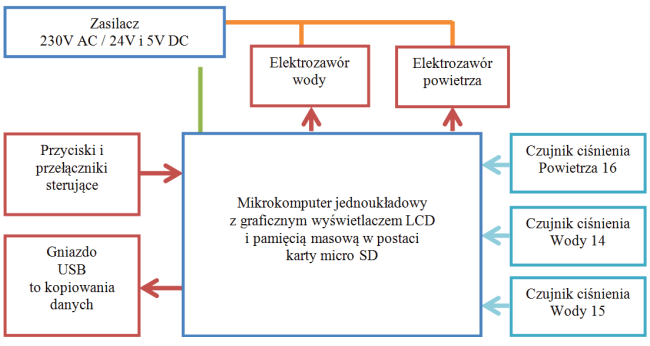
W drugiej sekcji instalacji znajdują się dwa przewody, z których jeden umożliwia swobodny przepływ wody od pompy do końca testowanego przewodu, a drugi umożliwia zdławienie przepływu wody (dławica *11*) i utrzymanie właściwego tempa wzrostu ciśnienia w testowanym przewodzie. Wybór drogi przepływu wody umożliwia zawór kulowy trójdrogowy *9/10*. W końcu pierwszej sekcji układu hydraulicznego znajduje się akumulator hydrauliczny *8*, którego zadaniem jest wyeliminowanie pulsacji ciśnienia powstających podczas pracy pompy tłokowej. Zawór kulowy *13* umieszczony za przewodem badanym *12* pozwala na napełnienie układu wodą i opróżnienie go w razie potrzeby. Sposób działania instalacji zależy od rodzaju i fazy badania.



Rys. 1. Schemat budowy stanowiska: *1* – regulowany zawór redukcyjny powietrza *C1*; *2* – elektrozawór powietrza; *3* – elektrozawór wody; *4* – pompa pneumatyczno-hydrauliczna; *5* – ręczny zawór kulowy upustowy *Z1*; *6* – przelew/kanalizacja; *7* – ręczny zawór kulowy oddzielający sekcję zasilania od strefy badania przewodu *Z2*; *8* – akumulator hydrauliczny; *9/10* – ręczny zawór kulowy trójdrogowy (sterowane napełnianie układu/ /przepływ zdławiony) *Z3*; *11* – dławica (kryza); *12* – badany przewód; *13* – ręczny końcowy zawór kulowy; *14÷16* – przetworniki ciśnienia; *17* – filtr wody; *18* – zawór redukcyjny wody C2; *19* – zawór bezpieczeństwa

Układ sterujący pracą urządzenia

Schemat blokowy układu pokazany jest na rys. 2. Główne funkcje sterowania pracą urządzenia oraz rejestracji parametrów testów realizowane są za pomocą układu z mikrokomputerem jednoukładowym. Wybrane rozwiązanie sprzętowe zapewnia wysoką wydajność oraz kompaktową budowę sterownika przy zapewnieniu pełnej funkcjonalności urządzenia oraz możliwości łatwej modyfikacji i ewentualnej rozbudowy.



Rys. 2. Schemat blokowy układu sterowania

Sposób działania układu pneumatyczno-hydraulicznego

Układ pneumatyczno-hydrauliczny współpracuje z układem sterującym. Praca urządzenia podzielona jest na trzy etapy:

- mocowanie badanego przewodu, napełnianie układu wodą oraz odpowietrzanie;
- przygotowanie instalacji do badania;
- test przewodu.

Podczas mocowania testowanego przewodu na stanowisku elektrozawory *2* i *3* pozostają zamknięte, odcinając dopływ powietrza i wody do instalacji. W celu całkowitego odseparowania odcinka testowego *12* od źródła wody zawór 7 także pozostaje zamknięty. Po zamocowaniu testowanego przewodu w uchwytach następuje napełnienie układu wodą. Napełnienie układu wodą i jego odpowietrzenie wymaga uruchomienia programu sterującego pracą układu. Zawór *5* pozostaje zamknięty, zawory *7* i *13* są otwarte, a zawór *9/10* jest ustawiony w pozycji *9* – napełnianie. Po automatycznym otwarciu elektrozaworów (elektrozawory są sterowane przez opracowany program sterujący) woda swobodnie przepływa przez układ.

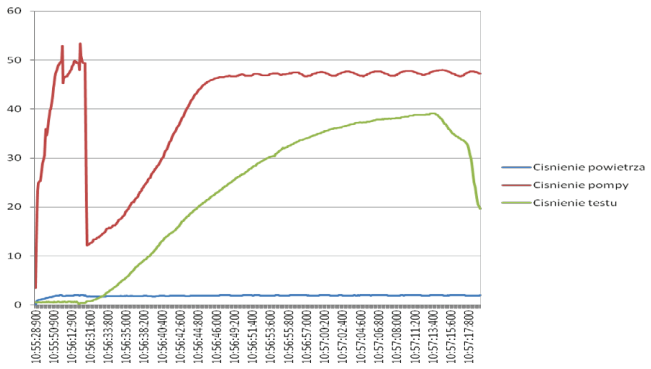
Odpowietrzanie układu rozpoczyna się ustawieniem zaworu 9/10 w pozycję *10* – odpowietrzanie/badanie. Nastawy pozostałych zaworów pozostają be zmian. Etap odpowietrzenia układu kończy się zamknięciem kolejno zaworów *7* i *13*.Układ jest gotowy do rozpoczęcia procedury przygotowania i wykonania badania rozrywającego przewód.

Drugi etap pracy urządzenia umożliwia ustawienie ciśnienia, przy którym wykonane zostanie badanie. Odbywa się to przy zamkniętym zaworze *7*, który separuje od siebie dwie sekcje układu hydraulicznego. Ustawienie ciśnienia pracy układu odbywa się za pomocą zaworu redukcyjnego powietrza *1* oraz kulowego zaworu spustowego *5*. Po ustawieniu odpowiedniej wartości ciśnienia odczytywanego za pośrednictwem przetwornika ciśnienia *14* należy się upewnić, że zawór *9/10* pozostaje w pozycji *10* – odpowietrzanie/badanie. Trzeci etap pracy urządzenia – badanie przewodu – rozpoczyna się otwarciem zaworu *7*. Jego przebieg jest różny w przypadku próby statycznej oraz zrywającej. Sterowanie badaniem oraz rejestracja zmienności wszystkich ciśnień w układzie realizowane za pomocą układu sterującego.

Przykładowe wyniki badań testowych

Urządzenie zostało przetestowane podczas wykonywania prób ciśnieniowych na kilkuset próbkach przewodów o różnorodnej średnicy, strukturze oraz grubości ścianki. Na rys. 3. przedstawiono przykładowe wyniki badania testowego na rozerwanie.

Na osiach wykresu odłożone zostały czas oraz ciśnienie mierzone w trzech punktach układu pneumatyczno-hydraulicznego i podawane w barach, zgodnie ze specyfiką produkcji i rynku niskociśnieniowych przewodów wodnych. Kolorem niebieskim zaznaczono krzywą zmienności ciśnienia powietrza zasilającego i napędzającego pompę pneumatyczno-hydrauliczną, wytwarzającą ciśnienie wody w układzie. Ciśnienie to mierzone jest przetwornikiem ciśnienia *16* (według oznaczenia na schemacie układu hydraulicznego). Krzywa koloru czerwonego przedstawia zmiany ciśnienia wody w układzie mierzone przez przetwornik ciśnienia *14*. Krzywa koloru niebieskiego przedstawia zmienność ciśnienia w układzie w punkcie zamocowania badanego przewodu do instalacji. Ciśnienie to mierzone jest przetwornikiem ciśnienia *15*.



Rys. 3. Graficzna interpretacja przykładowych wyników badań testowych

Przedstawione na rys. 3 wyniki testu dotyczą badania przewodu na rozerwanie. W trakcie drugiego etapu pracy urządzenia można zaobserwować silny wzrost ciśnienia w układzie przed zaworem 7, który pozostaje w pozycji zamkniętej. Ciśnienie wody w części instalacji, w której zamocowano badaną próbkę, pozostaje na stałym poziomie ok. 0,7 bar. W trakcie wstępnych testów urządzenia ustalono, że dla tego badania ciśnienie w układzie powinno przewyższać spodziewane ciśnienie rozerwania próbki o ok. 10 bar. Pompa pneumatyczno-hydrauliczna pompuje wodę do instalacji aż do osiągnięcia ustawionej wartości ok. 50 bar. Po jej osiągnięciu urządzenie przechodzi do trzeciego etapu swojej pracy – testu próbki przewodu.

Rys.4. Graficzna interpretacja przykładowych wyników statycznych badań testowych

Test rozpoczyna się poprzez otwarcie zaworu 7. W przedstawianym na wykresie badaniu nastąpiło to w momencie oznaczonym na osi czasu *10:36:51:600*, oznaczającym dokładną godzinę przeprowadzenia testu. Po otwarciu zaworu 7, oddzielającego sekcje wysokiego ciśnienia od sekcji, w której umieszczono badaną próbkę, ciśnienie w ostatniej części układu zaczyna rosnąć (linia zielona), natomiast ciśnienie w pierwszej sekcji gwałtownie spada. Przepływ wody następuje przez dławicę. Po spadku ciśnienia uruchamia się pompa pneumatyczno-hydrauliczna, która stopniowo podnosi ciśnienie w układzie. Dzięki zastosowaniu dławicy wzrost ciśnienia w pierwszej sekcji układu jest szybszy niż w sekcji ostatniej. Skoki ciśnienia powodowane pracą pompy tłokowej są niwelowane dzięki zastosowaniu akumulatora hydraulicznego *8*, umieszczonego na granicy sekcji, między którymi występuje początkowo duża różnica ciśnień. Ciśnienie w pobliżu testowanej próbki rośnie do wartości ok. 39 bar, przy której następuje zniszczenie struktury ścianki badanej próbki. Linia zielona wskazuje na wyraźny spadek ciśnienia panującego w badanej próbce, co świadczy o jej zniszczeniu. Nastąpiło to po ok. 42 sekundach od momentu rozpoczęcia testu. Oznacza to, że test należy uznać za przeprowadzony prawidłowo.

Na rys. 4. przedstawiono graficzną interpretację przykładowych wyników testu statycznego przeprowadzonego w ramach badań testowych urządzenia. Widoczny jest przebieg zmienności trzech wartości ciśnienia w czasie. Linia niebieska obrazuje zmianę wartości ciśnienia powietrza zasilającego pompę podczas wszystkich etapów badania. Wartość ciśnienia powietrza podczas badania pozostaje niezmienna. Odczytać ją można na osi pionowej. Wartości podawane są w barach.

Linia czerwona obrazuje przebieg zmienności ciśnienia wody tłoczonej do układu przez pompę w sekcji przed zaworem 7. W początkowym etapie badania widoczny jest nagły wzrost ciśnienia w układzie. Pompa tłoczy wodę do części układu przed zaworem 7, który w tym etapie pozostaje zamknięty i oddziela pompę od badanego przewodu. Po uzyskaniu zadanego ciśnienia układ jest gotowy do przeprowadzenia właściwego testu przewodu. Wykres jest przerwany ok. godz. 18:09:09. W tym czasie nastąpiło uruchomienie testu przewodu poprzez wciśnięcie przycisku TEST oraz otwarcie zaworu 7. Ciśnienie za pompą nagle maleje, ponieważ część sprężonej wody przepływa poprzez dławicę do badanego przewodu oraz akumulatora hydraulicznego. Widoczne jest to w postaci przebiegu zmienności ciśnienia w badanym przewodzie – linia zielona. W pierwszym etapie badania w przewodzie panuje niskie i stabilne ciśnienie. Po rozpoczęciu testu ciśnienie stopniowo rośnie. Po pewnym czasie linie wyznaczające przebieg ciśnienia po stronie tłocznej pompy oraz w badanym przewodzie zbliżają się do siebie, a ciśnienie osiąga zadaną wcześniej wartość. Na wykresie widoczna jest kolejna przerwa w kreśleniu linii (ok. godz. 18:09:43). Proces wzrostu ciśnienia w przewodzie trwał zatem ok. 34 sekundy. Od tego momentu komputer sterujący pracą stanowiska, utrzymuje stabilne ciśnienie w przewodzie aż do zakończenia badania po godzinie lub jego przerwania przyciskiem STOP.

Wszystkie badania statyczne wykonane na przewodach o różnych średnicach oraz grubościach ścianek, mają podobny przebieg, a ich wyniki pozwalają wykreślić krzywe o podobnym przebiegu czasowym.

Podsumowanie

Przeprowadzone prace projektowe i konstrukcyjne doprowadziły do zbudowania urządzenia, które pozwala na przeprowadzanie zarówno prób statycznych, jak i rozrywających. Przy odpowiedniej konfiguracji urządzenia w fazie przygotowania do testu czas osiągnięcia ciśnienia testu statycznego lub ciśnienia rozerwania testowego przewodu mieści się w przedziale 30÷60 s, czyli zgodnie z założeniami, jednak istniała potrzeba zestawienia tabeli ustawień parametrów pracy urządzenia gwarantujących powtarzalność warunków przeprowadzonych badań. Została ona dołączona do procedury przeprowadzania badań. Urządzenie umożliwia zapis danych i analizy przebiegu zmienności ciśnienia w czasie zarówno w badanym przewodzie, jak i całym układzie hydraulicznym urządzenia.

LITERATURA

PN-EN 1402:2010. *„Węże i przewody z gumy i z tworzyw sztucznych – Badania hydrostatyczne”*, 15.02.2010.