

Diagnozowanie rurociągów

Diagnosing of pipelines

Streszczenie

Przedstawiono filozofię budowania relacji diagnostycznych w oparciu o potencjał eksploatacyjny węzłów funkcjonalnych. Przedstawiono odcinek rurociągu jako węzeł hydrodynamiczny. Wymieniono miary potencjału eksploatacyjnego odcinka rurociągu. Opisano relacje potencjału eksploatacyjnego odcinka rurociągu – spadek ciśnienia na odcinku rurociągu i relacje spadek ciśnienia na przeszkodzie w rurociągu - emisja akustyczna w otoczeniu przeszkody w rurociągu.

Słowa kluczowe: potencjał eksploatacyjny; węzeł hydrodynamiczny; odcinek rurociągu; spadek ciśnienia; emisja akustyczna

Abstract

The philosophy of building diagnostic relationships based on the wear margin of functional units nodes is presented. A pipeline section is presented as a hydrodynamic node. The measure of wear margin of pipeline section has been listed. The relationships wear margin of pipeline section – loss of pressure along the pipeline section and relationships loss of pressure in obstacle in the pipeline - acoustic emission around the obstacle in the pipeline has been described.

Keywords: wear margin; hydrodynamic node; pipeline section; loss of pressure; acoustic emission

Wstęp

Rurociągi generalnie służą do transportu płynów i cechują się między innymi określoną wydajnością, określonymi stratami energii i określoną szczelnością. Rurociągi można traktować jako obiekty budowlane lub obiekty wchodzące w skład systemów produkcyjnych. W przypadku rurociągu jako obiektu systemu produkcyjnego wymaga się aby rurociąg posiadał odpowiedni potencjał eksploatacyjny wynikający z pożądanej jakości systemu produkcyjnego. Rurociąg można traktować również jako zespół funkcjonalny złożonego systemu: maszyny, agregatu, systemu napędowego itp. Potencjał eksploatacyjny rurociągu jest wielkością złożoną i bezpośrednio niemierzalną. Wartość potencjału można ustalić poprzez diagnozowanie, na które składają się badania diagnostyczne (pomiar odpowiednich miar symptomów) i wnioskowanie diagnostyczne. Obydwa etapy wymagają znajomości relacji diagnostycznych.

Miary i symptomy potencjału eksploatacyjnego zespołów funkcjonalnych obiektów systemu produkcyjnego

Przyjmując, że przedsiębiorstwo samo określa pożądane wartości cech przedsiębiorstwa, to cechy jakości obiektu systemu produkcyjnego i wartości miar tych cech powinny wynikać z dekompozycji cech i pożądanych wartości miar

cech systemu produkcyjnego [1,2]. Obiekty systemu produkcyjnego są wyrobami innych systemów produkcyjnych. Cykl życia wyrobu – obiektu systemu produkcyjnego w społecznej gospodarce rynkowej składa się z fazy projektowania, wytwarzania, eksploatacji i likwidacji. Rzeczywiste cechy i wartości miar cech obiektu określane są w fazie rozwoju (projektowania) obiektu jako wyrobu, a pożądane wartości miar cech maszyny powinny wynikać z pożądanych cech jakości przedsiębiorstwa.

Projektowanie obiektu polega na wykonaniu specyfikacji obiektu w formie dokumentacji konstrukcyjnej i wykonawczej. Specyfikacja określa:

- przedziały wartości miar cech opisujących obciążenie obiektu (moment obrotowy, prędkość obrotowa),
- pożądane przedziały wartości miar cech materiału konstrukcyjnego elementów obiektu,
- pożądane przedziały wartości miar cech elementów obiektu (makrostruktury, kształtu i wymiarów elementów),
- pożądane przedziały wartości miar cech zespołów i elementów wbudowanych obiektu (np. luz, napięcie wstępne śrub, wcisk, szczelność, niewyważenie itp.),
- pożądane przedziały wartości miar cech płynów eksploatacyjnych (np. lepkość oleju).

Zakłada się, że jeżeli wszystkie wymienione miary będą miały wartości z pożądanego odpowiedniego przedziału, to obiekt jako całość otrzyma pożądane cechy o wartościach mieszczących się w pożądanym zakresie.

Prof. dr hab. inż. Piotr Bielawski – Akademia Morska w Szczecinie.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: p.bielawski@am.szczecin.pl

Wartości cech nadane podczas wytwarzania obiektu ulegają zmianie w wyniku zużywania podczas użytkowania obiektu. W obiektach objętych dozorem technicznym dokonuje się identyfikacji istotnych i charakterystycznych dla danego obiektu efektów zużycia [3]. Przykładowo identyfikuje się przecieki [4] i skazy powierzchni wewnętrznych [5]. Skutki zużywania ujęte są w cechach opisujących system produkcyjny. Takie cechy nie występują w sposób bezpośredni w specyfikacji obiektu. Nie wszystkie cechy obiektu ulegają zmianie. Z tego względu wygodne jest posługiwanie się pojęciem „potencjał eksploatacyjny obiektu”. Potencjał eksploatacyjny obiektu można określić jako zbiór miar cech obiektu, których wartości:

- są wynikiem wytwarzania obiektu,
- zmniejszają się na skutek zużywania podczas użytkowania,
- mogą być przywrócone podczas remontu lub obsługi.

Problemem przy posługiwaniu się potencjałem eksploatacyjnym maszyny jest to, że:

- w specyfikacji maszyny brak jest on-line mierzalnych cech bezpośrednio opisujących potencjał eksploatacyjny obiektu;
- liczba cech koniecznych do opisu potencjału obiektu jest duża.

Ze względu na dużą liczbę cech koniecznych do opisu potencjału pożądane jest wyznaczenie „miar zastępczych” – miar dających się wyznaczyć na podstawie wartości miar cech elementów wbudowanych, płynów eksploatacyjnych, obciążenia i ruchu względnego. Rozwiązaniem problemu może być posługiwanie się pojęciem „potencjału eksploatacyjnego zespołu funkcjonalnego obiektu”, a uzasadnieniem to, że:

- potencjał eksploatacyjny obiektu jest wypadkową potencjału eksploatacyjnego jego zespołów funkcjonalnych,
- istnienie w obiekcie zespołów funkcjonalnych realizujących określone funkcje cząstkowe oznacza, że szybkość degradacji potencjałów eksploatacyjnych poszczególnych zespołów funkcjonalnych może być różna i może wymagać oddzielnego działania sanacyjnego,
- łączenie obiektów w agregaty odbywa się przez łączenie elementów wybranych zespołów funkcjonalnych. Powstają „nowe” zespoły funkcjonalne nie ujęte w specyfikacji obiektu.

Warunkiem koniecznym posługiwania się potencjałem eksploatacyjnym zespołów funkcjonalnych jest dekompozycja pożądanych wartości miar cech obiektu na pożądane wartości miar potencjału zespołów funkcjonalnych.

Bezpośredni pomiar wartości miar potencjału eksploatacyjnego pracujących zespołów funkcjonalnych z reguły nie jest możliwy. Konieczny jest pomiar pośredni z wykorzystaniem sygnałów emitowanych przez elementy zespołu funkcjonalnego. Elementy zespołu funkcjonalnego tworzą tzw. „węzły”. Zespół funkcjonalny można przedstawić jako sumę węzłów z tym, że jeden i ten sam element zespołu funkcjonalnego może wchodzić w skład kilku węzłów. W najprostszym przypadku zespół funkcjonalny może być jednym węzłem. Wyróżnić można trzy podstawowe modele węzłów zespołów funkcjonalnych:

- dwa ciała stałe tworzące kanał rozdzielone są płynem. Na płyn działa obciążenie hydrodynamiczne, które wymusza i determinuje ruch płynu względem ciał stałych: powstaje węzeł hydrodynamiczny;
- dwa ciała stałe rozdzielone są płynem, w którym zachodzą zjawiska znane z mechaniki płynów (hydrodynamiki, aerodynamiki, reologii). Na jedno z ciał, oprócz obciążenia mechanicznego, działać może obciążenie magnetyczne, elektryczne lub ciepłe. Obciążenie mechaniczne

wymusza i determinuje ruch względny ciał stałych. Taki węzeł nazywany jest również węzłem tribologicznym;

- dwa płyny rozdzielone są ciałem stałym. Na płyny oprócz obciążenia hydrodynamicznego działać może obciążenie cieplne, elektryczne lub magnetyczne. Pod wpływem działających obciążeń odbywa się ruch względny płynów i / lub ruch względny płyn – ciało stałe. Jeżeli dominującym obciążeniem jest obciążenie cieplne to taki węzeł nazywany jest węzłem cieplnym.

W literaturze tematu można znaleźć modele szczegółowe powyższych modeli podstawowych – modele uwzględniające kształt ciał stałych i właściwości fizykochemiczne płynów. W fizyczno-matematycznym opisie modeli szczegółowych stosuje się wielowymiarowe i / lub bezwymiarowe (liczby podobieństwa / liczby kryterialne) współczynniki proporcjonalności. Ponieważ współczynniki proporcjonalności są generalnie ilorazem wartości miar wybranych miar cech elementów wbudowanych, płynów eksploatacyjnych, obciążenia i ruchu względnego to można je uznać za zastępcze miary potencjału eksploatacyjnego danego węzła funkcjonalnego (przykładowo dwa węzły funkcjonalne o takiej samej danej liczbie podobieństwa mają taką samą wartość danej miary cechy potencjału eksploatacyjnego).

Dla konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych zespołów funkcjonalnych można tworzyć modele będące kombinacją modeli szczegółowych. Potencjał eksploatacyjny danego zespołu funkcjonalnego może być opisany wieloma liczbami podobieństwa / współczynnikami proporcjonalności powiązаныmi z symptomami o różnej formie energii i o różnym przebiegu mierzonego sygnału (przy zmiennym okresowo obciążeniu mogą mieć formę sygnałów okresowych). Jeden i ten sam sygnał może być nośnikiem wielu symptomów potencjału eksploatacyjnego.

Odcinek rurociągu jako model szczegółowy węzła hydrodynamicznego

Modelem szczegółowym węzła „obciążony płyn działający na dwa ciała stałe jest rozwijany w mechanice płynów „przepływ płynów w przewodach pod ciśnieniem/przepływ płynów w przewodzie zamkniętym o przekroju kołowym”. Przepływ płynów w przewodach modelowany jest jako przepływ jednowymiarowy: wartości wielkości opisujących przepływ zależą tylko od jednej współrzędnej położenia. Według [6] koncepcja przepływu *jednowymiarowego* jest dość dobrze weryfikowalna przy w pełni rozwiniętym przepływie turbulentnym, ponieważ wówczas profil prędkości jest stosunkowo płaski i wielkości globalne, jak strumień masy, objętości energii kinetycznej praktycznie nie zależą od rozkładu prędkości.

Odcinek rurociągu konstrukcyjne może składać się z prostych odcinków rurociągu i pożądanych elementów wbudowanych: kolanek (zakrzywień), rozgałęzień, zmian przekroju i aparatów. Elementy wbudowane w aspekcie hydrodynamicznym są przewężeniami, ciałami opływanyymi lub kombinacją obydwu i ze względu na straty energii, są traktowane jako przeszkody. Przeszkodami mogą być również przeszkody niepożądane powstające na skutek błędów wykonania i montażu (np. podczas spawania rurociągów) oraz w wyniku zużycia. Cechy prostego odcinka wynikają z cech elementów składających się na odcinek i cech uzyskanych po wbudowaniu: średnica wewnętrzna d [m], długość l [m], chropowatość bezwzględna powierzchni wewnętrznej k (wysokość wierzchołków nierówności) [μ m], chropowatość względna k/d . W przypadku elementów wbudowanych cechami są wielkości opisujące kształt

i wymiary elementu. Płynem może być zarówno ciecz jak i gaz. Za płyn nieściśliwy uważa się płyn, którego zmiany gęstość w rozpatrywanym zakresie temperatury i ciśnienia są pomijalnie małe [6]. Za płyny nieściśliwe uważa się płyny rzeczywiste do liczby Macha $Ma = 0,3$ (dla powietrza do $100\text{m/s} = 360\text{ km/h}$ [7]). Dla płynów nieściśliwych ważne jest równanie Bernulliego. Cechy płynu to lepkość kinematyczna $\nu[\text{m}^2/\text{s}]$ i gęstość $\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$.

Przepływ płynu w rurociągu/przewodzie może być:

- *laminarny* (uwarstwiony), gdy elementy płynu poruszają się w warstwach;
- *turbulentny* (burzliwy), oprócz ruchu głównego (w kierunku przepływu), występują fluktuacje prędkości i ciśnienia;
- *ustalony*, jeżeli wszystkie wartości miar wielkości ruchu są niezależne od czasu (w dowolnym punkcie przestrzeni nie zmieniają się z upływem czasu).
- *nieustalony*: wartości miar ruchu zależą od czasu. Do tej kategorii przepływów należą wszystkie zjawiska rozprzestrzeniania się fal w płynie oraz przepływy w atmosferze. Również przepływy turbulentne są w swej istocie przepływami nieustalonymi, ale przyjmuje się, że ruch turbulentny jest *quasi-ustalony*, gdy tzw. średnie czasowe obliczone w ustalonym punkcie przestrzeni nie zmieniają się z upływem czasu.

Cechy obciążenia i ruchu płynu w rurociągu to:

- prędkość przepływu w , średnia prędkość przepływu w_m [m/s];
- wysokość geodezyjna g [m].

Straty ciśnienia jako miara symptomu potencjału eksploatacyjnego rurociągu

Podczas przepływu w rurociągu dochodzi do strat energii. Straty energii są wynikiem tarcia w płynie oraz tarcia między płynem a ścianką rurociągu. Mechanizm strat między płynem a ścianką [7]: ruch cieplny molekuł z prędkością w_b w kierunku prostopadłym do kierunku ruchu strumienia powoduje, że molekuły płynu zderzają się ze sobą. Molekuły w dolinach chropowatości materiału tracą prędkość w . Molekuły dyfundujące ponownie do strumienia muszą być ponownie przyspieszane do prędkości strumienia płynu w .

Straty energii w rurociągu przedstawia się jako straty energii między dwoma przekrojami 1 i 2 [7].

$$m \frac{w_1^2}{2} + mgh_1 + m \frac{p_1}{\rho} + E_1 = m \frac{w_2^2}{2} + mgh_2 + m \frac{p_2}{\rho} + E_2$$

W warunkach:

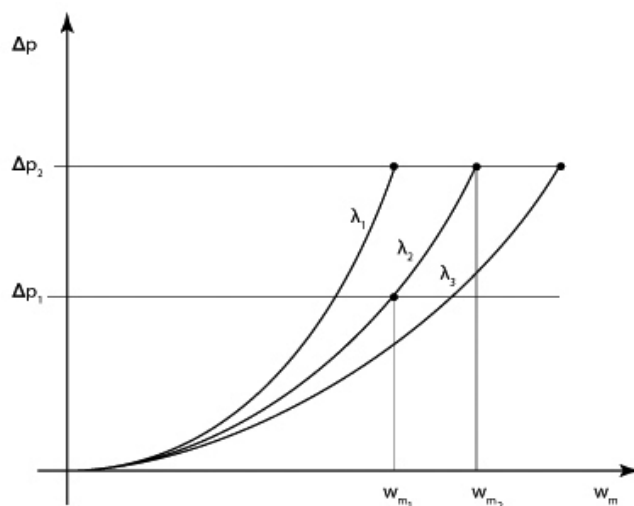
- stałego natężenia przepływu (prędkości w obydwu przekrojach są jednakowe),
- bez zmiany wysokości geodezyjnej (energia potencjalna w obydwu przekrojach jest jednakowa, zmiana energii $E_1 - E_2$ może skutkować tylko zmianą energii ciśnienia względnie zmianą ciśnienia statycznego:

$$E_1 - E_2 = \Delta p = p_1 - p_2$$

Straty ciśnienia prostego odcinka rurociągu opisuje wzór Darcy'ego – Weisbacha [6].

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{w_m^2}{2}$$

Liczba λ nosi nazwę *współczynnika oporów liniowych* lub współczynnika tarcia. Wpływ wartości współczynnika na wartość strat ciśnienia przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Straty ciśnienia Δp w funkcji średniej prędkości płynu w_m dla różnych współczynników oporów λ

Fig. 1. Loss of pressure Δp as a function of the average fluid velocity w_m for different value of linear coefficient of resistance λ

Współczynnik oporów liniowych λ zależy od rodzaju przepływu. Dla przepływów płynów nieściśliwych, gdzie znacznie mają siły lepkości i siły ciśnienia, decydująca jest wartość liczby Reynoldsa Re

$$Re = \frac{wl}{\nu}$$

Jeżeli wartość Re nie przekracza 2320 to w rurociągu istnieje przepływ laminarny. Przy większej wartości liczby Re przepływ jest niestabilny – niewielkie zakłócenia powodują przeskok w przepływ burzliwy. W przypadku przepływu burzliwego:

- bezpośrednie tarcie między płynem i ciałem stałym ograniczone jest do cienkiej warstwy w pobliżu ścianki (podwarstwa laminarna);
- turbulentne ruchy wymieniające energię powodują znaczące straty energii;
- wpływ podwarstwy laminarnej na turbulencje lub straty ciśnienia zależy od grubości warstwy laminarnej w stosunku do wysokości nierówności (wierzchołki nierówności powodują dodatkowe turbulencje – są źródłem turbulencji).

Straty na przeszkodach uwzględnia się za pomocą współczynnika ζ . W współczynniku ζ zawarte są dodatkowe straty w porównaniu ze stratami prostego odcinka rurociągu [7].

$$\Delta p_p = \zeta \cdot \rho \cdot \frac{w_m^2}{2}$$

Wartości współczynnika ζ ustalone są eksperymentalnie. Przykładowo, ζ otwartego zaworu zależy od:

- w zakresie niskich liczb Re od kształtu kanału przepływowego i względnej chropowatości k/d_z ,
- od określonej wartości Re ζ jest stałe tj. Δp_z jest proporcjonalne do kwadratu średniej prędkości przepływu.

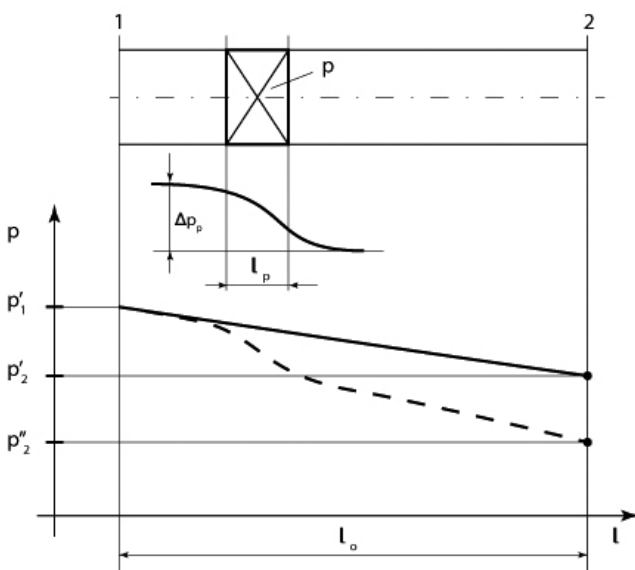
Zakłócenie strumienia występuje generalnie nie tylko na samej przeszkodzie ale również na pewnym odcinku przed i za (za, na odcinku 10 do 30 d w przypadku ruchu burzliwego), rysunek 2 [7].

Przykładem wykorzystania spadku ciśnienia na przeszkodach jest zalecany w dokumentacjach techniczno ruchowych maszyn pomiar spadku ciśnienia na filtrze. Przyczyną

Tablica I. Wartość współczynnika oporów liniowych w zależności od rodzaju przepływu płynu [6,7]
Table I. The value of the linear coefficient of resistance depending on the type of fluid flow [6,7]

Przepływ	Wartość Re	Formuła
laminarny: zaburzenia spowodowane wierzchołkami nierówności są tłumione przez lepkość.	≤ 2320	$\lambda = \frac{64}{Re}; \lambda = f(Re)$
hydraulicznie gładki: laminarna podwarstwa zakrywa całkowicie wierzchołki chropowatości ścianki. Strumień burzliwy ślizga się po i wzdłuż podwarstwy laminarnej. Wiry w rdzeniu strumienia powstają samoistnie.	$2320 < Re < 10^5$	$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}$ $\lambda = f(Re)$
burzliwy przejściowy: wraz z rosnącą prędkością tzn. zmniejszaniem się grubości laminarnej podwarstwy lub wzrostem względnej chropowatości ścianek, wierzchołki chropowatości zaczynają wystawać z laminarnej podwarstwy.	$65d/k < Re < 1300d/k$	$\lambda = \frac{1}{\left[2 \log \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right) + \frac{0,27}{d/k} \right]^2}$ $\lambda = f(Re, k/d)$
hydraulicznie chropowaty: przy jeszcze większych liczbach Re i / lub większych k/d wierzchołki chropowatości wystają z podwarstwy laminarnej tak bardzo, że straty energii powodowane są głównie przez wiry (turbulencje) wychodzące z chropowatego obszaru.	$Re > 1300d/k$	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,74 - 2 \cdot \log \frac{2k}{d}$ $\lambda = f(k/d)$

spadku jest zmniejszanie czynnego przekroju filtra przez osadzające się zanieczyszczenia. Przykładem wykorzystania spadku ciśnienia całkowitego na rurociągu jest spadek ciśnienia na wymienniku ciepła [8].

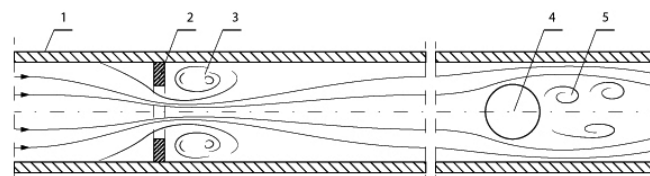


Rys. 2. Straty ciśnienia między przekrojami 1 i 2: P – przeszkoda, l_p – długość przeszkody, Δp_p – straty na przeszkodzie (straty skupione, lokalnie), $(p_1' - p_2')$ – straty prostego odcinka (straty równomiernie rozłożone), $(p_1 - p_2)$ – straty łączne na odcinku l_o
Fig. 2. Loss of pressure between the cross section 1 and 2: P – obstacle, l_p – the length of the obstacle, Δp_p – loss an obstacle (loss focused, locally), $(p_1' - p_2')$ – loss of the straight section (loss evenly distributed), $(p_1 - p_2)$ – the total loss on the section l_o

Emisja akustyczna jako symptom potencjału eksploatacyjnego rurociągu

Przy przepływie laminarnym, za obydwoimi typami przeszkód (przewężeniem i opływającym ciałem stałym) powstają

obszary turbulencji charakteryzujące się istnieniem małych i dużych wirów [7], rysunek 3.



Rys. 3. Obszary turbulencji za przeszkodą przy przepływie laminarnym: 1 – ścianka rurociągu, 2 – przewężenie, 3 – zaburzenia (wiry) za przewężeniem, 4 – ciało opływane, 5 – zaburzenia (wiry) za ciałem opływanym
Fig. 3. Areas of turbulence behind an obstacle in laminar flow: 1 – pipeline wall, 2 – orifice, 3 – disturbances (eddies) behind the orifice, 4 – flowed-round body 5 – disturbances (eddies) behind the flowed-round body

Według [9] każdy niestacjonarny proces w gazie lub cieczy jest źródłem zaburzeń, które rozprzestrzeniają się ruchem falowym. Każda przeszkoda jest zatem źródłem hałasu – emisji akustycznej ciągłej.

W przypadku przepływu cieczy przez przewężenie, ciśnienie w przekroju przewężenia może teoretycznie przyjmować dowolnie małe wartości, praktycznie jednak wartość ciśnienia jest ograniczona i nie może spaść poniżej ciśnienia parowania (wrzenia) odpowiadającego temperaturze przepływającej cieczy. Obniżeniu ciśnienia do wartości bliskich ciśnieniu parowania towarzyszy wydzielanie się gazów i par z cieczy, czyli zjawisko kawitacji [6]. Kawitacja jest przyczyną zużycia kawitacyjnego oraz przyczyną emisji akustycznej.

W przypadku ciał opływanych, przy odpowiednio dużych liczbach Reynoldsa możliwe jest odrywanie się wirów (strumienia). Drogą eksperymentu możliwe jest wyznaczenie częstotliwości odrywania wirów. Wyniki przedstawia się w formie diagramu Str – Re. [7]. Liczba Strouhala (St, Str) jest wielkością bezwymiarową (bezwymiarowy czas) charakteryzującą przepływy nieustalone, w których dominującą rolę odgrywają przyspieszenia:

$$Str = \frac{d \cdot f}{w_m}$$

$$N_o = k \frac{\Delta p^3 d^2}{\rho^2 c^3}$$

f – częstotliwość odrywania wirów.

Zjawisko odrywania wirów jest przyczyną powstawania emisji akustycznej typu Bursta.

W [9] zamieszczono półempiryczną zależność określającą całkowitą moc akustyczną N_o [W] generowaną przez opływaną przeszkodę w ośrodku otaczającym rurociąg

Δp [Pa] – straty ciśnienia całkowitego spowodowane opływem ciała umieszczonego w przewodzie, k – stała, (dla powietrza $k=2,5 \cdot 10^{-4}$),

c – prędkość dźwięku w otaczającym ośrodku [m/s].

W [10] opisano szczegółowo sensory, rodzaje i miary emisji akustycznej.

Podsumowanie

Pożądany potencjał eksploatacyjny rurociągu uzyskuje po zakończeniu montażu i uruchomieniu. Błędy montażu i błędy uruchamiania mogą skutkować nie osiągnięciem pożądanego potencjału. Potencjał eksploatacyjny rurociągu wyczerpuje się na skutek takich procesów zużycia jak erozja, erozja kawitacyjna, korozja, osadzanie cząstek stałych na wewnętrznych ściankach. Obrazami zużycia są:

- rozłożone bądź lokalne ubytki materiału ścianki rurociągu i materiału elementów wbudowanych. Możliwe przebicia przez ścianki i przecieki;
- warstwa osadzonych cząstek stałych na powierzchni ścianek i elementów wbudowanych.

Zużycie powoduje zmiany średnicy rurociągu i wzrost chropowatości rurociągu oraz zmiany kształtu elementów wbudowanych. Skutkuje to zmianami wartości zastępczych miar potencjału: liczby Reynoldsa i chropowatości względnej i dalej współczynników oporów.

Współczynniki oporów są diagnozowalne. Symptomami są spadki ciśnień między dwoma przekrojami i średnie prędkości przepływu. Spadki ciśnień związane są rozpraszaniem energii ciśnienia w energię cieplną i sprężystą fal. Rozpraszanie zachodzi w obszarach turbulencji: obszarach powstawania mniejszych i odrywania się większych wirów. Gęstość rozkładu energii rozproszonej jest największa na „przeszkodach strumienia płynu”. Przeszkody mogą być np. wynikiem lokalnego zużycia. Powstawaniu i odrywaniu wirów towarzyszy emisja akustyczna. Poziom emisji akustycznej jest mierzalny. Wzrost poziomu emisji następuje na skutek spadku potencjału eksploatacyjnego rurociągu lub w wyniku powstawania nowych przeszkód w rurociągu.

Literatura

- [1] P. Bielawski. Identyfikacja obiektów technicznych systemów produkcyjnych. Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin 2014.
- [2] P. Bielawski. Miary i wartości graniczne potencjału eksploatacyjnego maszyn systemów produkcyjnych/Measures and limits of machine wear margin of production systems. Problemy Eksploatacji/Maintenance Problem 1/2016, s. 129-159.
- [3] G. Wojas: Badania nieniszczące w praktyce inspekcji dozоровej, Przegląd Spawalnictwa, Vol 86, No 10 (2014).
- [4] G. Świt, A. Krampikowska, K. Schabowicz: Zastosowanie metody emisji akustycznej do lokalizacji uszkodzeń w zbiorniku na produkty ropopochodne, Przegląd Spawalnictwa, Vol 87, No 12 (2015).
- [5] D. Mężyk, P. Stasiak: Wprowadzenie do zaawansowanych technik pomiarowych 3D stosowanych w wideoboroskopowych zdalnych badaniach wizualnych, Przegląd Spawalnictwa, Vol 88, No 6 (2016).
- [6] K. Jeżowiecka-Kabsch, H. Szewczyk: Mechanika płynów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001.
- [7] L. Böswirth, S. Bschorer. Technische Strömungslehre. Vieweg + Teubner Verlag Wiesbaden 2012.
- [8] E. Moeck and H. Strickert. Technische Diagnostik an Schiffsmaschinenanlagen. Verlag Technik Berlin 1982.
- [9] Z. Engel. Ochrona środowiska przed drganiem i hałasem. PWN Warszawa 1993.
- [10] T. J. Holroyd. The Acoustic Emission & Ultrasonic Monitoring Handbook. CPC Oxford 2000.