

Diagnostyka tłokowa gazociągów przesyłowych

Pigging of gas transmission networks

Andrzej J. Osiadacz^{*)}

Słowa kluczowe: transport rurociągowy, tłokowanie, sieci gazowe, ekonomika eksploatacji gazociągów przesyłowych.

Streszczenie

Uruchomienie inteligentnego tłoka w gazociągu to ważny projekt, który może mieć potencjalne konsekwencje dla bezpieczeństwa i eksploatacji. Każda operacja tłokowania powinna być starannie zaplanowana, aby upewnić się, że używane jest właściwe narzędzie, że przeprowadzono odpowiednie czyszczenie rurociągu a tłok nie utknie. W artykule podano niezbędne informacje dotyczące tłoków i zasad tłokowania.

Keywords: pipeline transportation, pigging, gas networks, economics operation of gas transmission networks.

Abstract

Running an intelligent pig in a pipeline is a significant project with potential safety and operational implications. Any pigging operation should be carefully planned to ensure that the correct tool is used, that appropriate pipeline cleaning is carried out and the pig will not get stuck. The paper provides necessary information concerning pigs and rules of pigging.

1. Wstęp

Do niedawna pojęcie tłokowania gazociągu wiązało się praktycznie tylko z funkcją oczyszczenia wnętrza rurociągu. Obecnie przeprowadzanie inspekcji wewnętrznych rurociągów tłokami stanowi kluczowy element programu konserwacyjno-naprawczego, którego głównym zadaniem jest zapewnienie bezpieczeństwa i ekonomiki eksploatacji gazociągów przesyłowych. Wykorzystanie tłoków gwałtownie rośnie ze względu na ich sprawdzone zalety, coraz większe możliwości oraz wymagania prawne. Wyniki operacji tłokowania rurociągów są źródłem danych dotyczących integralności struktury rurociągu. Umożliwiają pozyskanie w stosunkowo krótkim czasie wiarygodnych informacji dotyczących potencjalnych zagrożeń i wpływu ze strony korozji czy uszkodzeń mechanicznych a także przypadkowej lub umyślnej ingerencji osób trzecich. Tłoki pozwalają również monitorować prędkość korozji oraz dostarczają szerokiego wachlarza danych o stanie technicznym gazociągu.

2. Tłokowanie rurociągów

Tłokiem nazywamy urządzenie wykorzystujące energię płynu do poruszania się wewnątrz rurociągu, wykonujące różne zadania w zależności od rodzaju tłoka ,np.: czyszczenie, osuszanie, diagnostyka przewodu itd. Tłoki można podzielić na dwie główne grupy:

- tłoki użytkowe – proste w konstrukcji i tanie urządzenia wykonujące nieskomplikowane zadania, takie jak czyszczenie wnętrza rurociągu, sprawdzanie drożności czy osuszanie rurociągu po hydraulicznej próbie ciśnieniowej,
- tłoki inteligentne – wysoce wyspecjalizowane, autonomiczne urządzenia pomiarowe, zawierające układy elektroniczne, które w czasie rzeczywistym dokonują pomiaru, wymiarowania i lokalizacji wykrytych anomalii w rurociągu. Wykorzystywane są głównie do lokalizowania i określania defektów ścianki przewo-

du, pomiaru geometrii wewnętrznej rurociągu i określenia profilu trasy gazociągu. Pomiary za pomocą tłoków inteligentnych dokonywane są w sposób bezinwazyjny i nieniszczący.

Wszystkie tłoki, inteligentne jak również użytkowe, zaliczane są do urządzeń typu in-line, co oznacza, że pracują w gazociągach bez potrzeby ich wyłączenia a ich przejście przez rurociąg nie powoduje znaczącego zakłócenia przepływu medium. Niekiedy zachodzi konieczność zmiany parametrów przesyłanego medium, z uwagi na spełnienie wymagań technicznych dla pracy tłoka np. prędkość przepływu gazu (zalecana prędkość robocza tłoka waha się w granicach 0,3 – 4 m/s). Ograniczenia takie wprowadza się głównie ze względu na wytrzymałość urządzeń inspekcyjnych oraz zachowania wysokiej jakości pomiaru.

Zakres operacji tłokowania składa się z:

- analizy dokumentacji projektowej lub powykonawczej oraz oceny istniejącego stanu rurociągu w kwestii możliwości przejścia tłoka,
- dostosowanie istniejącego rurociągu do możliwości tłokowania, np. poprzez przebudowę ‘wąskich gardeł’ lub nieodpowiednich łuków,
- wykonanie operacji tłokowania odpowiednimi tłokami i w odpowiedniej sekwencji,
- zebranie i przetworzenie danych z tłok,
- wizualizacja i analiza danych,
- ocena stanu technicznego rurociągu na podstawie zebranych danych.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie (Dz. U. 2013 poz. 640) wszystkie gazociągi o długości powyżej 36,0 km, o maksymalnym ciśnieniu roboczym powyżej 1,6 MPa i średnicy przekraczającej DN200, powinny być przystosowane do czyszczenia i operacji inspekcji wewnętrznej tłokami. W przypadku gazociągów o parametrach jak wyżej, ale średnicy większej od DN400 należy budować

^{*)} Andrzej J. Osiadacz, prof. dr hab. inż. – Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, e-mail: andrzej.osiadacz@pw.edu.pl

wraz z armaturą niezbędną do tłokowania, tj. ze słuzami odbiorczymi i nadawczymi tłoka. W przypadku ruchu rewersyjnego czyli możliwości przesyłu gazu w dwóch kierunkach występuje konieczność montażu słuz nadawczo-odbiorczych a także zabudowy na gazociągach dwukierunkowych wskaźników przejścia tłoka.

Przed przystąpieniem do tłokowania gazociągu należy przeprowadzić czynności kwalifikujące rurociąg do inspekcji. Wstępne kryteria kwalifikujące sprowadzają się do podstawowej oceny zdatości gazociągu do inspekcji w oparciu o jego cechy konstrukcyjne. Głównym czynnikiem eliminującym możliwość badania rurociągu tłokami jest przede wszystkim występowanie w nim łuków segmentowych. Łuk segmentowy składa się z segmentów rur połączonych spoiną pod odpowiednim kątem. W przypadku budowy nowych gazociągów zaleca się stosowanie łuków zimnogiętych o promieniu 40Dz oraz indukcyjnych o promieniu gięcia $R=5÷7DN$.

Kolejnym czynnikiem wpływającym negatywnie na ocenę, są różnego rodzaju przewężenia średnicy rurociągu, jak również występująca armatura. Trójniki liniowe z wylotami, które stanowią co najmniej 50% średnicy rury przewodowej powinny mieć prowadnice tłoka. Zapobiega to możliwości wejścia tłoka do odgałęzienia lub zablokowania. Stałość średnicy na trasie inspekcji jest ważnym parametrem dla zachowania wiarygodności pomiarów. Zmiany średnicy większe niż kilka centymetrów powodują błędy wskazań i spadek efektywności wykrywania uszkodzeń. Istnieją tłoki zwane multi-diameter, które w odróżnieniu od tłoków standardowych pozwalają na wykonywanie inspekcji rurociągów o dwóch różnych średnicach, bez spadku efektywności pomiaru.

W przypadku gdy przedmiotowy gazociąg nie będzie spełniał wymagań do przeprowadzenia operacji tłokowania niezbędna może okazać się przebudowa. Dostosowanie konstrukcji istniejącego gazociągu do tłokowania będzie polegała na analizie dokumentacji powykonawczej gazociągu oraz wizji lokalnej na trasie gazociągu. W pierwszej kolejności należy zidentyfikować elementy wymagające przebudowy, np. łuki segmentowe lub inne łuki nie spełniające wymagań dla przejścia tłoka, wszelakie przewężenia oraz zabudowaną armaturę. Kolejnym krokiem będzie opracowanie dokumentacji projektowej przebudowy przedmiotowych elementów wraz z uzyskaniem niezbędnych uzgodnień i decyzji. Dopiero na podstawie tak przygotowanej dokumentacji można przystąpić do prac budowlanych. Po przebudowie i przystosowaniu gazociągu do tłokowania można w bezpieczny i pewny sposób dokonać inspekcji wewnętrznej rurociągu. Dla efektywnego przeprowadzenia operacji tłokowania niezbędne jest, aby rurociąg wyposażony był w słuzę nadawczą oraz odbiorczą tłoka.

Parametry pracy gazociągu takie jak ciśnienie panujące wewnątrz rurociągu, temperatura oraz prędkość gazu mogą uniemożliwić zastosowanie tłoków z obawy przed ich uszkodzeniem lub niedokładnością pomiaru. Przed przystąpieniem do diagnostyki należy zadbać o właściwe wartości parametrów przepływającego gazu. Zalecane parametry gazu to:

- Maksymalne ciśnienie robocze $MOP \leq 12 \text{ MPa}$
- Zakres temperatury roboczej $-5 \pm 45 \text{ }^\circ\text{C}$

Przydatność każdego rurociągu do inspekcji powinna zostać określona indywidualnie przez wykonawcę tłokowania. Niedbałe rozpoznanie przydatności rurociągu może doprowadzić do uszkodzenia tłoka lub jego zakleszczenia się w rurociągu.

3. Tłoki

Wyróżnia się kilka rodzajów tłoków w zależności od ich przeznaczenia. Najpopularniejszymi tłokami są tłoki czyszczące, które służą do bieżącej konserwacji gazociągów. W przypadku wykonywania nowych rurociągów, przed ich oddaniem do eksploatacji wykonuje się próby ciśnieniowe wodne, w związku z czym istnieje konieczność osuszenia wnętrza rurociągu. Do tego służą tłoki osuszające, które najczęściej produkowane są z tworzyw sztucznych.

Nowo wybudowane gazociągi zawierają bardzo duże ilości, różnego rodzaju zanieczyszczeń.

Te zanieczyszczenia są wynikiem prowadzonych prac budowlanych. Dlatego bardzo ważne jest aby wykonywać czyszczenie gazociągu przed oddaniem go do użytku. Gabaryty niektórych odpadów, mogą stanowić duże zagrożenie dla urządzeń pracujących w tłoczniach a także dla innych części gazociągu.

Do badania anomalii oraz defektów rurociągów będących w ciągłej eksploatacji służą tłoki inteligentne magnetyczne oraz ultradźwiękowe.

3.1. Tłoki czyszczące

Czystość wnętrza rurociągu wpływa w znaczący sposób na poprawę ekonomiki przesyłu gazu. Zabiegi czyszczenia rurociągów wpisują się integralnie w program utrzymania ruchu. Każdorazowo przed przystąpieniem do inspekcji tłokowej gazociągu należy dokładnie wyczyścić rurociąg. Najwięcej zanieczyszczeń zostanie usuniętych przez tłoki czyszczące podczas pierwszego tłokowania gazociągu, natychmiast po jego wybudowaniu. W eksploatowanych gazociągach najczęściej spotykane zanieczyszczenia to: pył metaliczny, olej, oraz woda.

Głównym źródłem pyłu metalicznego w rurociągu jest proces korozji zachodzący wewnątrz. Od ścianki rury oddzielają się metaliczne drobinki, które powodują powstawanie osadu w postaci pyłu. Pył ten jest powodem znacznego wzrostu oporu hydraulicznego rurociągu.

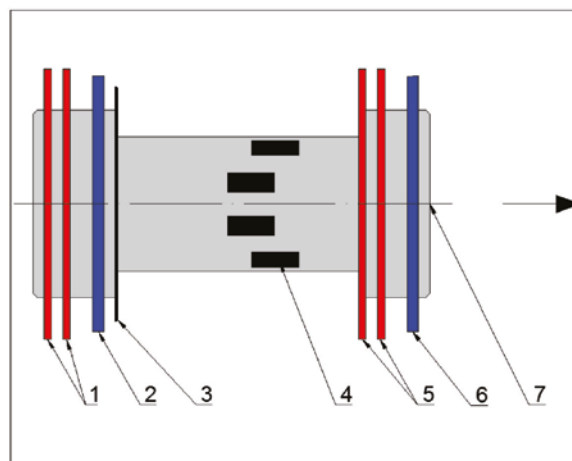
Woda w gazociągu wykrapla się z wilgotnego gazu. Stanowi duże zagrożenie dla rur, ze względu na jej wpływ na proces korozji.

Tłoki czyszczące charakteryzują się zwartą i prostą budową. Składają się z kilku tarcz pełniących różne funkcje. Tarcze te wykonane są zazwyczaj z poliuretanu wysokiej gęstości oraz materiałów odpornych na ścieranie. Schemat tłoka czyszczącego przedstawia rys. 1.

Tarcze uszczelniające (1 i 5) mają za zadanie wybieranie osadów przylegających do ścianki rurociągu. Są one wykonane z elastycznego materiału, który umożliwia ich swobodne wygięcie i dopasowanie się do ścianki zewnętrznej. Zazwyczaj ich średnica jest trochę większa od średnicy gazociągu.

Tarcze prowadzące (2 i 6) są grubsze od pozostałych tarcz a także wykonane z twardszego materiału. Mają one za zadanie utrzymać tłok w osi rurociągu.

Tarcza kalibracyjna (3) to cienkościenna tarcza aluminiowa, która odkształca się w momencie przejścia przez sekcję rury z ograniczonym przekrojem poprzecznym. Na podstawie stanu tarczy po przebiegu można określić jak zmienia się średnica wewnętrzna. Średnica tarcz kalibracyjnych jest tak dobierana aby na podstawie jej stanu można było określić czy gazociąg spełnia wymagania pozwalające na badanie gazociągu tłokiem inteligentnym.



Rys. 1 Tłok czyszczący z tarczą kalibrującą[5]
Fig.1 Cleaning pig with calibrating disc

Tłoki czyszczące często są wyposażane w dodatkowe elementy, zwiększające skuteczność czyszczenia a także pozwalające na ich lokalizację (nadajnik – 7). Do elementów zwiększających skuteczność należą magnesy (4), które mają za zadanie zbierać pręty spawalnicze oraz inne metalowe rzeczy pozostawione w gazociągu. Innym rodzajem dodatków są szczotki oraz nożyki mające oddzielić osady ściśle przylegające do ścianki wewnętrznej rurociągu. Istnieją również tłoki czyszczące wyposażone dodatkowo w druciane szczotki służące do usuwania osadów mocno przylegających do wewnętrznych ścianek gazociągu.

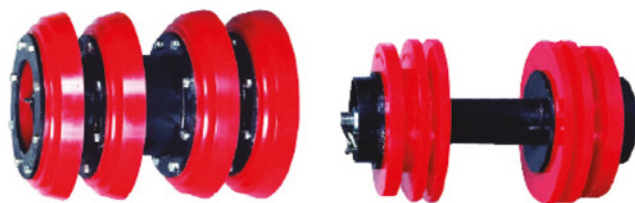
W gazociągach o nieznannej historii czyszczenia zaleca się stosowanie tłoków piankowych – rys.2.



Rys. 2 Tłoki piankowe
Fig. 2 Foam pigs

Tłoki piankowe – wykonane są z pianki poliuretanowej o strukturze przypominającej plaster miodu. W porównaniu z tłokami o konstrukcji sztywnej cechują się znacznie większą skutecznością w pokonywaniu nagłych zakrętów, wąskich gardeł czy też nie w pełni otwartych zaworów. Wykorzystuje się je do osuszania gazociągów po próbach hydraulicznych oraz czyszczenia rurociągów z zanieczyszczeń luźno związanych z powierzchnią rurociągu. Tłoki piankowe wyposażone w szczotki czyszczące, z powodzeniem usuwają również twarde złoże zanieczyszczeń. Tłoki o charakterystycznym wyglądzie przypominającym pocisk są jednokierunkowe ale te w kształcie walca mogą być wykorzystywane w dwóch kierunkach. Wadą tych tłoków jest to, że są to narzędzia jednorazowego użytku jednak przy ich niskiej cenie nie ma to istotnego znaczenia.

Tłoki mantszetowe (rys.3) występują w wielu odmianach konstrukcyjnych. Są dostępne w wersjach jedno i dwukierunkowych.



Rys. 3 Tłoki mantszetowe jedno i dwukierunkowe
Fig.3 Mandrel pigs one and bi-directional

Zbudowane są z korpusu stalowego, do którego przymocowane są mantszety wykonane z elastomeru poliuretanowego o bardzo wysokiej odporności na ścieranie. Z uwagi na prostą konstrukcję są niedrogie i niezawodne. Wykorzystywane są do usuwania pyłów, szlamów oraz odpadów stałych a także do usuwania wody po hydraulicznych próbach szczelności. Ponadto mantszety stanowią napęd tłoka, ponieważ to na nie gaz wywiera nacisk wprawiając urządzenie w ruch. W przypadku gdy zanieczyszczenia są silnie związane z podłożem, używa

się tłoków wyposażonych w stalowe szczotki. Do usuwania zanieczyszczeń bardzo silnie związanych z podłożem używa się tłoków czyszczących typu DeScaling, wyposażonych w bolce zrywające.

Tłoki typu Bi-Directional, czyli tłoki dwukierunkowe, wyposażone w mantszety poliuretanowe – tarczowe mają zdolność poruszania się w obu kierunkach, po zmianie kierunku przepływu gazu. Najczęściej stosowane przy hydraulicznych próbach ciśnieniowych. Tłoki czyszczące o tradycyjnej konstrukcji, przeważnie jedno lub dwu segmentowe, są nieskomplikowanymi urządzeniami, pozbawionymi ruchomych części i elektroniki (nie licząc opcjonalnego nadajnika). Zależnie od typu, mierzą przeważnie około 1000 mm i ważą od 100 do 300 kg. Wyposażane są w poliuretanowe mantszety w formie: tarczowej, czaszowej i kielichowej. Materiał z których są wykonywane, charakteryzuje się wysoką odpornością na ścieranie. Dobór mantszet uzależniony jest od zadania, które ma wykonać tłok, np.: czyszczenie, suszenie, separacje mediów itp.).

Należy zaznaczyć, że pojęcie czystości gazociągu nie jest jednoznacznie zdefiniowane. Istotna jest odpowiedź na pytanie czy gazociąg nadaje się do badania tłokami inteligentnymi. Brak ściślejszej definicji powoduje, że każdy z operatorów podejmuje decyzję w oparciu o własne kryteria, najczęściej na podstawie ilości usuniętych zanieczyszczeń. Jeśli kolejne przebiegi tłoka czyszczącego, nie wynoszą na światło dzienne dużych ilości zanieczyszczeń, gazociąg można poddać inspekcji tłokami inteligentnymi.

W przypadku gdy zachodzą podejrzenia o to że tłok może się zakleszczyć w gazociągu, tłok można wyposażyć w nadajnik, który generuje sygnały elektromagnetyczne niskiej częstotliwości 22 Hz. Sygnały te, odbierane są przez urządzenie lokalizujące, które pozwala śledzić pozycje tłoka. W zależności od zastosowanych akumulatorów, nadajnik może pracować od kilkunastu do dwustu godzin.

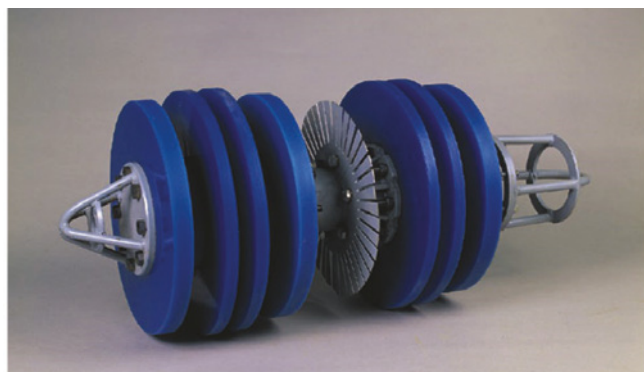
Wszystkie wspomniane wyżej tłoki czyszczące, bazują na mechanicznym usuwaniu zanieczyszczeń. Należy zaznaczyć, że nie jest to jedyny sposób ich usuwania z rurociągu. Pojawiają się tendencje, do czyszczenia chemicznego rurociągów, na przykład metodą Advance Liquid Cleaning, wykonywanej przez firmę N-SPEC®Pipeline Service. Powołując się na materiały firmy, metoda ta jest dużo bardziej wydajna, dokładna a ilość usuwanych zanieczyszczeń większa niż podczas czyszczenia mechanicznego. Metoda ta jest połączeniem metody mechanicznej z metodą chemiczną, która wykorzystuje różne związki rozpuszczające. Można ją również stosować w działających rurociągach.

3.2. Tłoki inteligentne badające geometrię rury

Badanie geometrii rurociągu staje się standardową procedurą odbioru gazociągów. Po wybudowaniu gazociągu wykonuje się tak zwaną rejestrację stanu powykonawczego. Zebrane dane o stanie gazociągu pozwalają, jeszcze w fazie budowy, ocenić jakość wykonania prac budowlanych i ocenić poprawność centrowania rur, staranność wykonania spoin obwodowych oraz wykryć wszelkie deformacje w postaci wgłębień i inne odstępstwa od owalnego przekroju przewodu, które w przyszłości mogłyby stać się ogniskiem korozji lub miejscem pęknięć. Deformacje strukturalne rurociągu mają wpływ na wytrzymałość mechaniczną oraz wywołują turbulencję przepływu, co prowadzi do powstawania lokalnych strat ciśnienia, miejscowego wytrącania się osadów i powstawania korozji. Ponadto deformacje zwiększają naprężenia mechaniczne, co w połączeniu z korozją miejscową może w szybkim czasie doprowadzić do awarii gazociągu. Wykonanie rejestracji stanu gazociągu pozwala zlokalizować wady rurociągu, które mogłyby doprowadzić do przedwczesnego zużycia. Ponadto, rejestr stanu gazociągu pozwala odróżnić deformacje powstałe w czasie budowy gazociągu od tych, które powstały w czasie eksploatacji. Głównymi przyczynami deformacji w czasie eksploatacji, jest ciśnienie tłoczonego medium, uderzenie hydrauliczne ale również nie bez znaczenia są wszelkiego rodzaju ruchy ziemi spowodowane działaniami kopalni, prowadzeniem prac budowlanych

w pobliżu czy niekorzystnymi zjawiskami atmosferycznymi (intensywne opady deszczu powodujące osuwanie się ziemi).

Po wykonaniu czyszczenia gazociągu, przystępuje się z reguły do wstępnej oceny geometrii przewodu. Wykorzystuje się w tym celu tłok o konstrukcji rurowej, wyposażony w pojedynczą tarczę kalibrującą aluminiową lub stalową. Średnice tarczy określa się z zależności $D = 0,98D_{\text{rurociagu}} - 10 \text{ mm}$. Stosuje się również tłoki wyposażone w zestaw trzech tarcz zlokalizowanych z przodu, pośrodku i z tyłu lub zestaw dwóch tarcz o wielkości opowiadającej największej i najmniejszej średnicy badanego gazociągu (rys.4). Wstępna ocena geometrii pozwala stwierdzić po stopniu zniszczenia tarcz, czy w gazociągu występują nierównomierności średnicy wewnętrznej, miejsca zanieczyszczeń stałych itd.



Rys.4 Tłok geometryczny
Fig. 4 Geometry pig

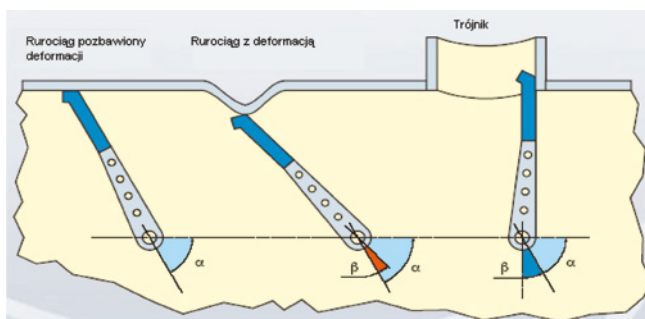
Badanie wykonuje się aby upewnić się czy tłok inteligentny będzie w stanie przejść przez gazociąg (utrata lub uszkodzenie tłoka użytkowego jest mniej dotkliwa finansowo w porównaniu z tłokiem inteligentnym). W wyniku nie otrzymuje się informacji o położeniu i rozmiarze deformacji. Informacji takich, dostarczają inteligentne tłoki geometryczne.

Tłok geometryczny należy do inteligentnych tłoków diagnostycznych i służy do pomiaru w czasie rzeczywistym geometrii przewodów. Za jego pomocą można wykryć wgniecenie, owalizację, spoiny obwodowe, fałdy, elementy armatury rurociągów takie jak trójniki, zawory itp. Cechą charakterystyczną tych tłoków jest to, że mają one zdolność do pokonywania zwężeń średnicy dochodzących do 0,75 D rurociągu. Konstrukcje tłoków geometrycznych, w zależności od producenta, mogą się od siebie różnić. Jednakże zasada działania oraz podstawowe elementy konstrukcyjne tłoków są wspólne. Możemy wyróżnić:

- korpus tłoka (jedno lub wielosegmentowy), w którym zamontowane są układy elektroniczne, akumulatory itd.
- manszety poliuretanowe, pełniące funkcje napędową oraz zapewniające współosiowe prowadzenie tłoka.
- układ hodometru – rejestruje on dystans przebyty przez tłok od punktu startowego (śluza) oraz jego prędkość .
- Układ pomiarowy składa się z czujników mechanicznych, umieszczonych na wysięgnikach tworzących głowicę pomiarową(rys.5). W momencie gdy czujnik natrafi na odkształcenie w ścianie lub inną deformację geometryczną, następuje ugięcie wysięgnika (rys.6). Stopień ugięcia oraz informacja z hodometru, która będzie pomocna do lokalizacji anomalii, trafia do systemu rejestracji danych.
- Układ rejestrujący dane pomiarowe.
- Układ zasilania w energię elektryczną podzespoły tłoka
- System lokalizujący (Time-Based Marker System) – System lokalizujący pozycje tłoka wykorzystuje połączenie danych z systemu hodometrycznego oraz z zewnętrznych źródeł, takich jak markery referencyjne. Markery powierzchniowe lokowane są na trasie rurociągu, w odległościach nie większej niż 2 km od siebie. Dane z markerów wraz z informacjami z systemu hodometrycznego, używane są do dokładnej lokalizacji wykrytych defektów.



Rys. 5 Głowica pomiarowa
Fig. 5 Mechanical „arms”

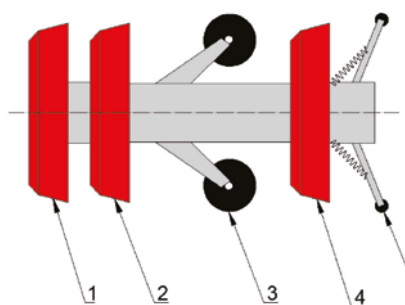


Rys.6 Zasada pracy czujnika
Fig. 6 Principle of sensor operations

Zebrane przez tłok dane, poddawane są analizie przez specjalistyczne oprogramowanie. Wyniki końcowe podawane są w formie tabelarycznej lub graficznej. Dane tabelaryczne zawierają także informacje wymagane przez zamawiającego, np.: zmniejszeniu średnicy wewnętrznej gazociągu o 5 %, występowaniu obszarów o nietypowej charakterystyce itd.

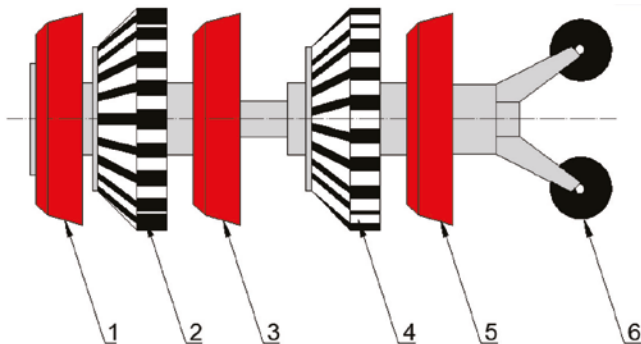
Diagnostyka rurociągu tłokiem geometrycznym, poprzedza najczęściej użycie tłoków MFL(Magnetic Flux Leakage). Może zdarzyć się, że w wyniku diagnostyki znaleziono zwężenie średnicy, które uniemożliwia dalsze stosowanie tłoków. Aby móc dokonać dalszej inspekcji, należy przeprowadzić prace naprawcze i wymienić przewężony fragmenty rurociągu.

Wgniecenia korpusu rurociągu ma duży wpływ na bezpieczeństwo oraz ekonomikę eksploatacji, powodują dodatkowe straty ciśnienia a także sprzyjają gromadzeniu się osadów i sprzyjają powstawaniu ognisk korozji. W efekcie czego czas eksploatacji rurociągu ulega skróceniu, a dodatkowo w miejscu występowania wgniecenia rurociąg poddawany jest dodatkowym naprężeniami mechanicznymi. Odchyłki od nominalnej geometrii rury mogą być zwymiarowane i zlokalizowane przy użyciu inspekcyjnego tłoka inteligentnego. Inspekcja tego typu tłokiem stanowi nieodłączny element procedur odbiorowych nowo wybudowanych rurociągów i systemu monitoringu rurociągów w trakcie eksploatacji.



Rys. 7 Tłok geometryczny[5]
Fig. 7 Geometry pig

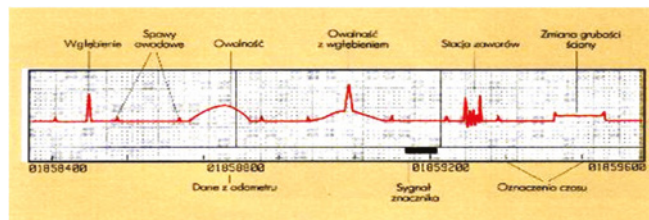
Prosty tłok geometryczny (rys 7) składa się z manszet (1,2,4), zapewniających odpowiednie położenie wewnątrz rury oraz ramion pomiarowych (5), rozmieszczonych na obwodzie korpusu. Ramiona te są napinane za pomocą sprężyn tak, aby ściśle przylegały do ścianki rurociągu. Ściśle przyleganie do ścianki rurociągu jest ważne ze względu na to, że każda zmiana w jej kształcie powoduje wygięcie ramion. Obecnie używane urządzenia mogą rejestrować odchylenia nawet rzędu 0,5-1 mm. Do lokalizacji wykrytych anomalii służą dane uzyskane za pomocą hodometru (3), który mierzy odległość od śluzu nadawczej.



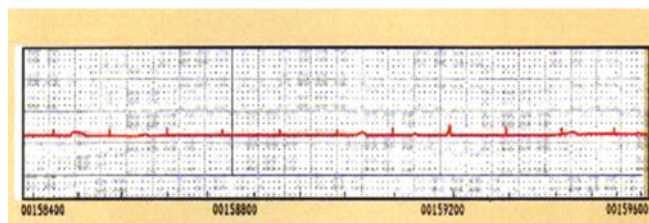
Rys. 8 Tłok geometryczny z dwoma rzędami czujników[5]
Fig. 8 Geometry pig with two set of mechanical „arms”

Bardziej zaawansowane urządzenia kalibrujące (rys.8) pozwalają uzyskać bardzo dokładne informacje co do kształtu wewnętrznej rury. Stosowane są w nich, tak jak w podstawowej wersji tłoka kalibracyjnego manszety (1,3,5) oraz hodometr (6). Natomiast różni się metoda, którą wykonywany jest pomiar geometrii wewnętrznej rurociągu. Zastosowanie dwóch rzędów zaawansowanych ramion pomiarowych (2,4) pozwala na dokładne zbadanie całego obwodu rury.

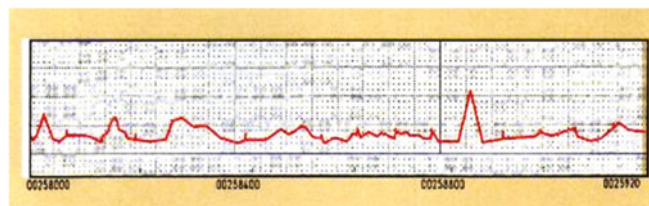
Poniżej przedstawiono wykresy zarejestrowane przez tłok geometryczny:



Rys. 9 Wyniki tłokowania
Fig. 9 Pigging – results



Rys. 10 Wyniki tłokowania – brak defektów
Fig. 10 Pigging – results, no defects



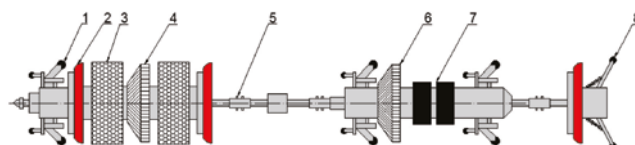
Rys. 11 Wyniki tłokowania – silne deformacje
Fig. 11 Pigging results – strong deformations

4. Inteligentne tłoki magnetyczne

Wśród wielu narzędzi stosowanych do diagnostyki rurociągów czołowe miejsce zajmują magnetyczne tłoki inteligentne – MFL. Inspekcje MFL używane są typowo do wykrywania, lokalizacji i charakteryzowania anomalii w systemach przesyłowych gazu ziemnego i ropy naftowej. Istnieje wiele typów anomalii, które można wykryć za pomocą metody MFL takich jak: miejscowe ubytki metalu, uszkodzenia mechaniczne, pęknięcia, odkształcenie ścianek przewodu. Metoda inspekcji MFL wykorzystuje do lokalizacji defektów zjawisko rozproszenia pola magnetycznego. Tłok wyposażony jest w silne magnesy stałe (lub jeden elektromagnes), które indukują pole magnetyczne w ściance rurociągu. Gdy pole to, natrafi na ubytek w rurociągu, następuje zmiana rozkładu linii pola i jego częściowe rozproszenie. Układy czujników tłoka dokonują pomiaru rozproszenia i na podstawie otrzymanej charakterystyki określa geometrię defektu. Niewątpliwą zaletą tłoków MFL jest to, że nie wymagają one medium sprężającego, to znaczy cieczy w której tłok musi być zanurzony podczas jego pracy, co w przypadku diagnostyki gazociągów, stanowi znaczne ułatwienie w wykonywaniu inspekcji. Tłoki te cechują się wysoką dokładnością w detekcji i wymiarowaniu defektów.

Tłoki inteligentne charakteryzują się modułową budową (rys.12). Poszczególne moduły łączone są ze sobą za pomocą elastycznych połączeń (5), które zapewniają urządzeniu elastyczność, możliwość przejścia przez łuki o mniejszym promieniu gięcia. Siłę napędową zapewniają poliuretanowe manszety (2), które w przeciwieństwie do tłoków geometrycznych nie zapewniają koncentrycznego położenia tłoka. Rolę tą spełniają specjalne rolki (1) zlokalizowane w modułach urządzenia. Metalowe szczotki (3) zapewniają odpowiedni poziom magnetyzacji ścianki rurociągu. W ostatnim module znajdują się ramiona, które tak jak w przypadku tłoka geometrycznego badają owalizację rurociągu. Istnieją dwa podstawowe rodzaje tłoków inteligentnych:

- zwykły tłok inteligentny MFL – który bada ściankę gazociągu wyłącznie poprzez badanie stopnia rozproszenia pola magnetycznego,
- tłok inteligentny MFL wysokiej rozdzielczości – taki jak przedstawiony na rysunku 12 charakteryzuje się tym, że posiada drugi rząd czujników (6), który bada wewnętrzną ściankę gazociągu i pozwala rozróżnić ubytki wewnętrzne od ubytków zewnętrznych.



Rys. 12 Tłok inteligentny MagneScan[1]
Fig.12 Intelligent pig

4.1 Typowe anomalie rurociągów wykrywanych przez tłoki MFL

Wżery korozyjne i straty metalu

Podstawowym zadaniem tłoków MFL jest wykrywanie miejsc występowania korozji oraz pomiar wielkości ubytków korozyjnych. Korozja dotyka zarówno zewnętrznych jak i wewnętrznych powierzchni rurociągu. Może przyjąć postać korozji ogólnej, o równomiernym rozłożeniu ubytków na powierzchni materiału oraz korozji wżerowej. Ta ostatnia może w szybkim czasie doprowadzić do powstawania pęknięć korozyjnych.

Uszkodzenia mechaniczne

Uszkodzenia te rozumiane są jako mechaniczne usunięcie części materiału składającego się na ściankę przewodu. Mogą być spowodowane działaniem osób trzecich np.: uszkodzenie gazociągu koparką.

Miejsca uszkodzeń mechanicznych cechują się występowaniem płytkich pęknięć, które dodatkowo osłabiają wytrzymałościowo rurociąg, co w niektórych przypadkach może prowadzić do konieczności obniżenia parametrów jego pracy.

Pęknięcia

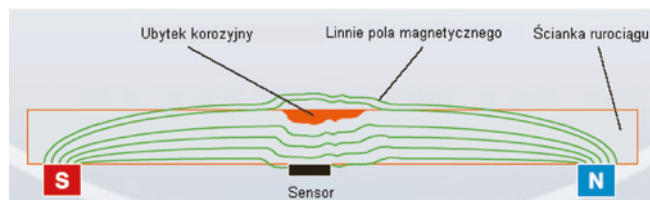
Pęknięcia nie są typową anomalią występującą w rurociągach. Mogą być spowodowane naprężeniami w rurociągu, korozją wewnętrzną, niewłaściwie wykonanymi spawami lub korozją selektywną w strefie przyspoinowej. Tłoki MFL nie zostały wprawdzie zaprojektowane do wykrywania pęknięć, ale radzą sobie z ich lokalizacją dość dobrze, o ile pęknięcia są prostopadłe do linii pola magnetycznego i dochodzą do krawędzi ścianki. Pęknięcia i rozwarstwienia wewnątrz ścianki, nie dochodzące do jej krawędzi nie są wykrywane przez tłoki MFL!

Deformacje

Tłoki MFL potrafią lokalizować deformacje powierzchni rurociągu. Podobnie jak w przypadku pęknięć, tłoki te nie zostały zaprojektowane do wykrywania tego typu anomalii. Deformacje wykrywane są w momencie gdy czujnik traci kontakt ze ścianką przewodu.

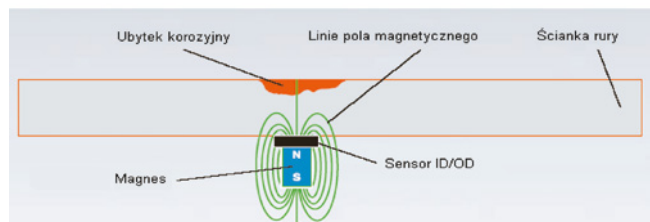
4.2. Zasada działania i budowa tłoków MFL

Tłok MFL używa dwóch rodzajów czujników: Główne sensory korozji (Main Corrosion Sensors) oraz czujniki typu IO/OD. Czujnik główny wykorzystywany jest do lokalizacji i wymiarowania defektów. Jednakże nie jest on w stanie stwierdzić, czy wykryty defekt znajduje się na zewnętrznej czy wewnętrznej ściance przewodu. Informację tą uzyskuje się z sensora IO/OD. Rozmiar defektu określany jest na podstawie charakterystyki rozproszenia pola magnetycznego.



Rys.13 Główny czujnik korozji[10]

Fig.13 Main Corrosion Sensor



Rys.14 Czujnik typu IO/OD[10]

Fig. 14 Sensor IO/OD

Pomiar metodą MFL można podzielić na trzy etapy: namagnesowanie ścianki rury, pomiar rozproszenia pola magnetycznego, obróbka i analiza zebranych danych.

Tłok MFL wyposażony jest w silne magnesy stałe lub elektromagnes. Pomiędzy tymi rozwiązaniami istnieje szereg różnic konstrukcyjnych. Magnesy stałe mają przewagę nad elektromagnesem, że nie wymagają zasilania w energię elektryczną. Jednakże elektromagnes daje znacznie większą elastyczność. Można go włączać i wyłączać oraz regulować jego moc w zależności od potrzeb. Liczba magnesów stałych jest dość duża, w idealnym przypadku ich liczba zapewnia całkowite pokrycie ścianki rurociągu. Jednakże nie jest to możliwe do osiągnięcia w stu procentach, ze względu na istniejące przerwy pomiędzy kolejnymi magnesami. Sytuacja taka może prowadzić

do niejednorodności indukowanego pola magnetycznego w ściance rurociągu, a to z kolei może obniżyć wiarygodność wyników. W przypadku zastosowania elektromagnesu, mamy do czynienia z jednym elektromagnesem na cały segment magnetyczny, co znacznie ułatwia dostosowanie jego kształtu do powierzchni rurociągu. Bardzo istotnym szczegółem konstrukcyjnym jest sposób indukowania pola magnetycznego w ściance. Bieguny magnesów mogą być połączone z metalowymi szczotkami lub „stopami”. Zadaniem tych elementów, jest tarcie o wewnętrzną ściankę rurociągu, indukując w niej pole magnetyczne. Szczotki te ze względu na swą elastyczność nie powodują dodatkowych oporów w ruchu tłoka.

Pomiar rozproszenia pola magnetycznego, dokonywany jest przy użyciu głównych czujników korozji (Main Corrosion Sensors), które rozmieszczone są równomiernie na całym obwodzie tłoka i umieszczone są pomiędzy biegunami magnesów.

Sygnał z czujników pomiarowych oraz z układu hodometrycznego trafia do modułu przetwarzania i zapisu danych. W starszych modelach tłoków MFL, moduł gromadzenia danych był analogowy. System takiego zapisu był podatny na błędy i zakłócenia. Został on zastąpiony przez systemy cyfrowe. Sygnał cyfrowy umożliwia kontrolę poprawności danych oraz poddaje się łatwo kompresji, co nie jest bez znaczenia jeśli weźmie się pod uwagę to że, podczas diagnostyki rurociągu gromadzi się bardzo dużo danych otrzymywanych z czujników. Na podstawie zarejestrowanych danych, określa się korzystając ze specjalnego oprogramowania lokalizację i wymiary wykrytych anomalii.

Analiza rozproszenia pola magnetycznego jest skomplikowanym zadaniem, gdyż kształt i rozmiary defektu nie odpowiadają kształtowi rozproszonego pola magnetycznego. Dane zebrane przez urządzenie MFL, przetwarzane są przez oprogramowanie wykorzystujące odpowiednie modele matematyczne.

Tłoki MFL o typowej budowie mogą być jedno, dwu lub wielosegmentowe. Segmenty łączone są elastycznymi połączeniami, poprzez które poprowadzona jest wiązka przewodów zapewniająca zasilanie poszczególnym modułom tłoka oraz transfer danych pomiędzy nimi. Tłoki jedno członowe zwykle mierzą od 2 do 3 metrów i są one dłuższe od pojedynczego członu, składającego się na tłok wielosegmentowy. Długość tłoków wielosegmentowych jest dość zróżnicowana, zazwyczaj są to urządzenia o długości od 3 – 5 m. ale można także spotkać tłoki wielosegmentowe o długości ok. 9 metrów. Długość tłoka jest bardzo ważnym parametrem określającym zdolność do pokonywania łuków. Im urządzenie jest dłuższe tym gorzej radzi sobie z ich pokonywaniem, dlatego też tłoki wielosegmentowe, z racji swojej budowy, są narzędziem elastycznym. Zwykle używane są w rurociągach o małych średnicach, gdzie nie można zastosować dłuższych narzędzi o nieelastycznej budowie oraz w rurociągach o dużych średnicach, gdzie występują łuki o małym promieniu skrzywienia.

Niezależnie od budowy, tłoki jedno i wielo-członowe wyposażone są w systemy:

- system napędowy – stanowią go manszety poliuretanowe, dzięki którym tłok szczelnie wypełnia przekrój rurociągu. Ciśnienie wywołane tłoczonym medium działa na powierzchnię manszet wprawiając urządzenie w ruch,
- system magnetyczny,
- układ hodometryczny – układ składa się z kilku niezależnych kółek, których obrót jest zliczany. Na tej podstawie obliczany jest dystans przebyty przez urządzenie od punktu startowego (śluzy) oraz prędkość.
- system sensorów – składa się zwykle z dwóch rodzajów czujników:
 - układ czujników głównych
 - układ czujników IO/OD
 - system przetwarzania i obróbki danych
 - system określania pozycji obwodowej – podczas przejścia tłoka przez rurociąg, urządzenie doznaje rotacji wokół swojej osi. Prowadzi to do sytuacji w której dany czujnik bada inny

sektor obwodu rurociągu. Dla prawidłowego zlokalizowania defektów, staje się niezbędne określenie pozycji tłoka w chwili dokonania wykrycia defektu.

- system lokalizujący (Time-Based Marker System) – system lokalizujący pozycje tłoka – wykorzystuje połączenie danych z systemu hodometrycznego oraz z zewnętrznych źródeł, takich jak markery referencyjne ustawiane na trasie rurociągu.
- centralny system sterowania – układ elektroniczny który zarządza wszystkimi systemami tłoka.
- system zasilania – zapewnia energię elektryczną do pracy czujników, elektromagnesu (o ile nie wykorzystuje się magnesów stałych), układu rejestrującego i przetwarzającego dane. Większość tłoków MFL używa systemów zasilania nadających się do ponownego użycia, oczywiście po ich uprzednim naładowaniu. Przeważnie używa się akumulatorów kadmowo-niklowych lub kwasowych. W porównaniu do innych źródeł zasilania, akumulatory kadmowo-niklowe nie dają dużej mocy, jednakże są one łatwo ładowalne, co obniża koszty inspekcji. Pojemność systemu zasilania oraz pobór energii przez urządzenie MFL, pozwala wyznaczyć maksymalny czas inspekcji. W celu wydłużenia czasu inspekcji, próbuje się stosować inne baterie np.: litowe czy cynkowe-srebrne ale ich wadą jest brak możliwości do ponownego ładowania.

Warunkiem uzyskania dokładnych wyników jest zapewnienie odpowiedniego poziomu namagnesowania rury. Wykonawca badania na podstawie wcześniej uzyskanych informacji dokonuje doboru oraz kalibracji urządzenia.

Kalibracja urządzenia polega na regulacji mocy magnesów tak aby zapewniły one odpowiedni poziom namagnesowania. Optymalne wyniki uzyskiwane są dla magnetyzacji na poziomie 18-20 kA/m.

Poziom magnetyzacji jest rejestrowany w trakcie całego procesu dzięki czemu można określić czy badanie przebiegło pomyślnie. Poziom ten ulega wahaniom na całej długości rurociągu. Ma to związek z wieloma czynnikami, takimi jak grubość ścianki, której wzrost powoduje spadek magnetyzacji czy też kontakt z metalem o innych cechach fizycznych.

Ograniczenia

Istnieją pewne ograniczenia jeśli chodzi o efektywne wykorzystanie tłoków MFL. Istnieją trudności w wykrywaniu defektów w strefie przyspoinowej, gdzie sama obecność spoin obwodowych powoduje znaczne zakłócenia pola magnetycznego. To powoduje, że tylko większe defekty znajdujące się w tej strefie są możliwe do wykrycia. Kolejnym ograniczeniem jest niemożność wykrywania wzdłużnych defektów ścianki rurociągu (pęknięcia równoległe do linii pola magnetycznego nie powodują jego zakłóceń. Nie można wykryć także rozwarstwień wewnątrz ścianki, które nie dochodzą do jej krawędzi.

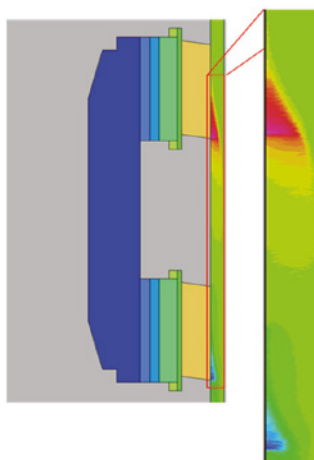
5. Prędkość ruchu tłoka

Podczas wykonywania badania gazociągu za pomocą tłoków ważne jest aby zapewnić odpowiednie parametry przepływu strumienia gazu. Zapewnienie odpowiedniej prędkości pozwala uzyskać dokładne wyniki oraz zapewnić bezpieczną pracę gazociągu. Zalecane prędkości zależą od rodzaju tłoka i specyfiki wykonywanych czynności. Optymalna prędkość tłoka czyszczącego zawiera się w przedziale od 1,5 do 3,5 m/s, natomiast maksymalna prędkość, której nie powinno się przekraczać ze względów bezpieczeństwa wynosi 5 m/s [10]. Takie wartości warunkowane są bezpieczeństwem oraz efektywnością pracy. Zbyt wolno poruszający się tłok czyszczący może się zatrzymać, natomiast zbyt szybko poruszający się tłok może gubić zgromadzone zanieczyszczenia. Przekroczenie maksymalnej prędkości niesie za sobą różne zagrożenia, w zależności od dodatkowego wyposażenia tłoka czyszczącego. Jeżeli są to szczotki stalowe, zbyt duże tarcie może powodować uszkodzenie ścianek rurociągu i przyspieszyć

korozję. Tłoki geometryczne powinny przemieszczać się z prędkością mieszczącą się w przedziale od 3 do 5 m/s. Zakres ten jest wyższy niż w przypadku tłoków czyszczących, ze względu na brak inwazyjnych części a także to, że nie przenosi on ze sobą żadnych zanieczyszczeń. Nie zalecane jest przekraczanie prędkości 5 m/s, ze względu na możliwość przeskakiwania ramion pomiarowych przez niewielkie ubytki i anomalie, przez co wyniki badania ulegają pewnemu zniekształceniu. Prędkość urządzeń może być regulowana na podstawie pomiarów odcinkowych. Mierzony jest czas w jakim tłoki pokonują kolejne odcinki trasy i na tej podstawie oblicza się ich średnią prędkość a te informacje przekazywane są do dyspozytora w celu ewentualnej modyfikacji parametrów pracy tłoczni.

Tłoki inteligentne mają bardzo rygorystyczne ograniczenia co do prędkości z jaką się poruszają. Ma to związek z ich budową oraz dokładnością z jaką muszą wykonać pomiary. Jak już wspomniano tłoki inteligentne mają budowę modułową, dlatego też zbyt duża prędkość może na nie wpływać negatywnie, zwłaszcza na łukach, gdzie występowałyby duża siła bezwładności. Prędkość ruchu tłoka jest ściśle związana z magnetyzacją ścianki gazociągu. Zalecana prędkość tłoka zawiera się w przedziale od 2 do 3 m/s. W trakcie badania prędkość jest mierzona za pomocą wbudowanego akcelerometru.

Na rys. 15 przedstawiono jakość magnetyzacji ścianki rurociągu dla prędkości tłoka inteligentnego wynoszącej 5 m/s. Obszary zaznaczone kolorem niebieskim i czerwonym przedstawiają obszary o wysokiej gęstości prądu [4]. Analizując rozkład obszaru o wysokiej gęstości w ściance rury (zielona powierzchnia) można stwierdzić, że zewnętrzna powierzchnia ścianki nie jest namagnesowana na poziomie zapewniającym odpowiedni poziom dokładności badania.



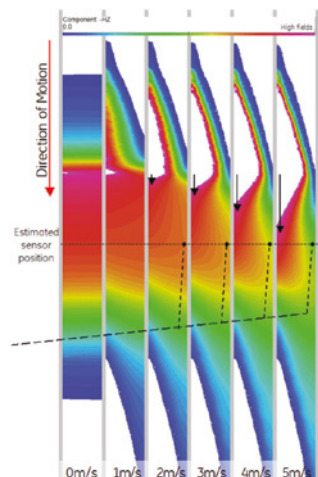
Rys.15. Magnetyzacja ścianki przy $v=5$ m/s.[4]

Fig. 15. Wall magnetization for velocity $v=5$ m/s.

Na rys.16 przedstawiono wyniki badań [4], które pokazują jaki wpływ na poziom magnetyzacji (prądy wirowe) ścianki rurociągu ma prędkość poruszania się tłoka. Optymalne wartości są osiągane dla wartości $2 - 3 \frac{m}{s}$. Prędkość $1 \frac{m}{s}$ pomimo tego, że zapewniałaby praktycznie idealny poziom magnetyzacji ścianki, jest nieekonomiczny i stwarza zagrożenie zatrzymania tłoka. Tłoki inteligentne, ze względu na swoją dużą masę, stwarzają znacznie większe zagrożenie zatrzymania ze względu na niską prędkość niż inne rodzaje tłoków. Innym aspektem, który można rozpatrywać zarówno pod względem trudności technologicznej i wysokiego nakładu finansowego, jest żywotność baterii. Dla zalecanej prędkości w przedziale od 2 do $3 \frac{m}{s}$ i przykładowego odcinka o długości 10 km, tłok wykonałby badanie w czasie od 1 do 1,5 h, natomiast dla prędkości $1 \frac{m}{s}$ czas ten ulega znacznemu wydłużeniu i wynosi 3h. Powodowałoby to potrzebę wykorzystania mocniejszych i droższych akumulatorów.

Dla prędkości przekraczających $3 \frac{m}{s}$ dochodzi do zmiany rozkładu strumienia magnetycznego. Powoduje to, że zewnętrzna powierzchnia ścianki rurociągu nie jest wystarczająco namagnesowana. Taka sytuacja może doprowadzić do utraty danych z zewnętrznej powierzchni gazociągu. Jest to niedopuszczalne zwłaszcza w gazocią-

gach ułożonych w środowiskach o wysokim potencjale korozyjnym, gdzie istnieje wysokie ryzyko występowania korozji na powierzchni zewnętrznej a także ze względu na ryzyko nie wykrycia uszkodzeń powstałych w wyniku działania osób trzecich.



Rys. 16 Magnetyzacja ścianki przy różnych prędkościach[4]

Fig.16 Wall magnetization for different velocities

6. Tłoki inteligentne ultradźwiękowe

Tłok ultradźwiękowy, podobnie jak urządzenia MFL, jest autonomicznym narzędziem używanym do wewnętrznej inspekcji rurociągów. Tłok umożliwia wykrywanie, wymiarowanie i lokalizowanie anomalii takich jak: korozyjne ubytki metalu, uszkodzenia mechaniczne rurociągu oraz pęknięcia. Ponadto w przeciwieństwie do tłoków MFL, wykrywane są również anomalie metalurgiczne takie jak laminacje (rozwarstwienia w materiale przewodu) i wtrącenia pochodzenia hutniczego, a także pęknięcia nie dochodzące do ścianki przewodu.



Rys. 17 Tłok ultradźwiękowy

Fig. 17 Ultrasonic pig

Zasada działania tłoka ultradźwiękowego opiera się na pomiarze grubości ścianki rurociągu, wykorzystując do tego celu efekt odbicia fali ultradźwiękowej. Emiter wysyła impuls ultradźwiękowy, który odbija się od ścianki wewnętrznej i zewnętrznej rurociągu, trafiając do czujnika. Miarą grubości ścianki jest czas od emisji do powrotu do czujnika. Dla prawidłowej pracy tłoka ultradźwiękowego, wymagane jest aby był on zanurzony w tzw. medium sprzęgającym. W praktyce oznacza to, że tłok powinien być zanurzony w cieczy. Z tego powodu urządzenia tego typu, spotyka się raczej w diagnostyce ropociągów niż gazociągów. Jednakże istnieje możliwość diagnostyki ropociągów, wystarczy aby tłok zanurzony był w słupie wody np.: ograniczonym przez dwa tłoki użytkowe. Po wykonaniu diagnostyki, ropociąg powinien zostać osuszony. Tego typu operacja jest raczej kosztowna, dlatego też bardzo rzadko korzysta się z tłoków ultradźwiękowych do diagnostyki ropociągów.

Budowa tłoków ultradźwiękowe jest bardzo podobna do budowy tłoków MFL. Spotykane są warianty jedno-segmentowe jak i wielo-segmentowe. Poszczególne tłoki ultradźwiękowe, w zależności od producenta, różnią się od technologią wykonania i rozwiązaniami technicznymi. Każdy z nich powinien zawierać następujące moduły:

- poliuretanowe manszety napędowe,
- system zasilania,
- generator ultradźwięków,
- czujnik ultradźwięków,
- centralny system sterowania,
- system lokalizujący (Time-Based Marker System),
- system przetwarzania i obróbki danych,
- układ hodometryczny.

7. Tłoki optyczne

Tłoki optyczne wyposażone są w kamerę wysokiej rozdzielczości, która umożliwia filmowanie wnętrza rurociągu. Rozwiązanie takie nazywane jest Optical Observation Device (ODP). W centralnej części urządzenia znajduje się kamera otoczona przez reflektory oświetlające wnętrze rurociągu. Materiał filmowy przechowywany jest w jednostce rejestrującej. Tłoki umożliwiają optyczną kontrolę stanu rurociągu; czystości, wgniecenia, uszkodzenia powierzchni czy stan armatury.

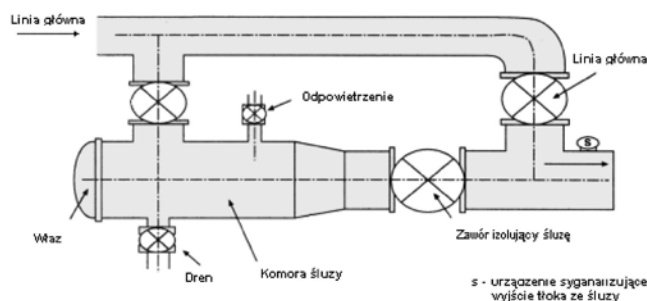
8. Śluzy

Śluzy są obiektami konstrukcyjnymi, które służą do wysyłania i odbierania tłoków. Umieszczane są zazwyczaj w łatwo dostępnych miejscach dla transportu samochodowego, przy użyciu którego dostarcza się tłok do śluzy. Śluzy to także obiekty do których trafiają zanieczyszczenia, które tłok usunął z rurociągu. Niekiedy są to znaczne ich ilości, zatem planując położenie śluz, należy przewidzieć sposób odbioru i wywozu zanieczyszczeń. W przypadku gdy podczas budowy gazociągu, nie przewidziano budowy śluzy, można je stosunkowo łatwo dobudować. Wiele firm dysponuje gotowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi śluz, które można dopasować do indywidualnych potrzeb klienta.

Należy zaznaczyć, że śluzy nie są produkowane seryjnie i sprzedawane jako gotowy element do montażu. Dla wszystkich spotykanych w przemyśle śluz, można wyróżnić parę elementów wspólnych. Wszystkich śluz wyposażone są w elementy automatyki, kontrolujące czy tłok opuścił lub wrócił do śluzy. Ponadto, śluzy posiadają włazy wyposażone w mechanizm uniemożliwiający jego otwarcie gdy w komorze śluzy znajduje się gaz pod ciśnieniem.

Na rysunkach 18 i 19 przedstawiono schematy śluz nadawczej i odbiorczej.

Śluza nadawcza



Rys. 18 Śluza nadawcza tłoka

Fig. 18 Pig launcher

Przy wprowadzaniu tłoka do ropociągu wykonuje się następujące czynności:

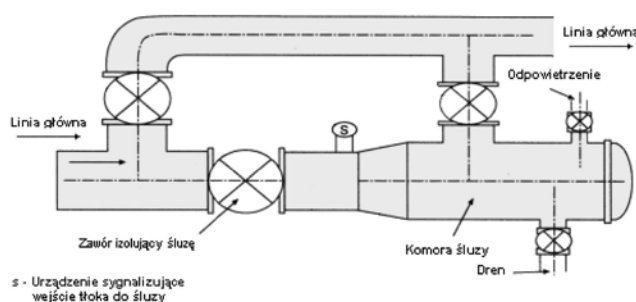
Isolacja komory śluzy, poprzez zamknięcie wszystkich zaworów.

W systemie gazowym otwarcie zaworu odpowietrzenia, w celu wyrównania ciśnienia w komorze śluzy z ciśnieniem atmosferycznym (dla systemów transportujących ciecz otwiera się również zawór drenujący).

Po wyrównaniu ciśnienia w komorze z ciśnieniem atmosferycznym otwierany jest wąż służy. Następnie:

- wprowadzenie tłoka do służy,
- zamknięcie i uszczelnienie włazu służy,
- zamknięcie drenu i rozpoczęcie napełniania komory służy poprzez powolne otwieranie zaworu głównego,
- po zakończeniu napełniania, zamknięcie zaworu odpowietrzającego,
- otwarcie zaworu izolującego służę – tłok w tym momencie gotowy jest do wprowadzenia,
- rozpoczęcie zamykania zaworu na głównej linii rurociągu co powoduje przepływ gazu przez komorę służy,
- przy dalszym zamykaniu zaworu, przepływ gazu powoduje przesunięcie tłoka do głównej linii rurociągu – opuszczenie komory przez tłok, sygnalizowane jest przez urządzenie zaznaczone na schemacie „s”,
- po wyprowadzeniu tłoka, otwiera się w pełni zawór na linii głównej oraz zamyka się zawory dochodzące do komory służy.

Śluza odbiorcza



Rys.19 Śluza odbiorcza tłoka
Fig.19 Pig receiver

Z kolei, odbieranie tłoka ze służy wymaga następujących czynności:

- upewnienie się że komora służy jest pod ciśnieniem,
- pełne otwarcie zaworów dochodzących do komory służy,
- rozpoczęcie procesu zamykania zaworu na głównej linii i wymuszenie przepływu medium przez komorę służy,
- w momencie gdy sygnalizator zarejestruje wejście tłoka do komory, zamyka się zawory dochodzące do służy i otwiera zawór na linii głównej,
- otwarcie zaworu odpowietrzającego (oraz drenującego w przypadku systemów transportujących ciecze) i wyrównanie ciśnienia panującego w służy z ciśnieniem atmosferycznym,
- otwarcie włazu i usunięcie tłoka.

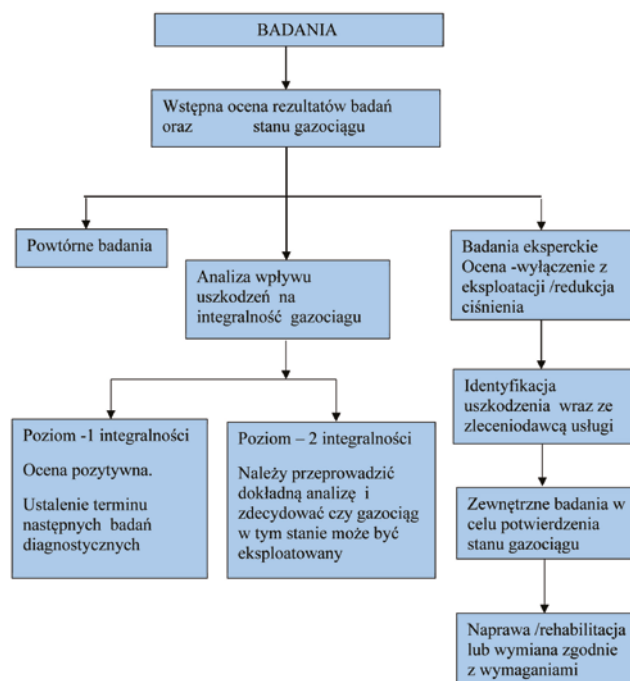
9. Analiza rezultatów tłokowania

Po otrzymaniu wyników badań gazociągu zaleca się etapowy proces przeglądu i oceny rezultatów. Proces ten przedstawiono na rys. 20.

Operatorzy rurociągów używają tłoków do inspekcji wewnętrznej rury w celu zidentyfikowania miejsc wzdłuż rurociągów, w których doszło do wewnętrznych lub zewnętrznych strat metalu spowodowanych korozją. Lokalizacja korozji jest określana przez wykonawcę inspekcji tłokiem inteligentnym, wraz z przewidywanymi wymiarami korozji takimi jak maksymalna głębokość, długość osiowa i szerokość obwodowa. Powszechnie ocenę wytrzymałości skorodowanych rurociągów przeprowadza się stosując metody ASME B31G i RSTRENG[11].

W stalowych rurociągach mamy do czynienia z kilkoma rodzajami korozji:

- korozja chemiczna
- korozja kawitacyjna



Rys.20 Ocena rezultatów badań tłokami inteligentnymi
Fig. 20 Assessing intelligent pig data

- korozja naprężeniowa
- korozja elektrochemiczna

Ocena stanu faktycznego a co za tym idzie możliwości dalszej eksploatacji rurociągu powinna zostać określona na podstawie obliczeń, które pozwalają na wyznaczenie maksymalnej dopuszczalnej wartości ciśnienia na konkretnym odcinku rurociągu i wskaźnika redukcji ciśnienia gazu. Na podstawie wyników inspekcji wewnętrznej rurociągu operator systemu przesyłowego może dokonać analizy przydatności przedmiotowego rurociągu do dalszej eksploatacji. W przypadku występowania korozji wżerowej i ubytków ścianki rurociągu operator sieci musi podjąć kroki i ocenić czy może dalej bezpiecznie eksploatować rurociąg czy konieczny będzie jego remont lub przebudowa. Znając wielkość ubytków oraz wżerów korozyjnych można dokonać obliczenia jego wytrzymałości, znając jego podstawowe parametry oraz materiał, z którego został wykonany. Do obliczeń wytrzymałościowych oraz wyliczenia minimalnej grubości ścianki służy norma PN – EN 1594. Do obliczenia minimalnej grubości ścianki rurociągu korzysta się ze wzoru:

$$T_{min} = \frac{DP \cdot D}{20 \cdot f_0 \cdot R_{t0,5}(\theta)} \cdot C_0 \quad (1)$$

gdzie:

- T_{min} – obliczeniowa minimalna grubość ścianki [mm],
- DP – projektowane ciśnienie w rurociągu [bar],
- D – średnica zewnętrzna rurociągu [mm],
- f_0 – współczynnik projektowy, zależny od klasy lokalizacji,
- $R_{t0,5}(\theta)$ – minimalna granica plastyczności w temperaturze projektowej [N/mm²],
- C_0 – naddatek na korozję lub erozję.

Współczynnik projektowy należy określić zgodnie z paragrafem 9 ust. 1 Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie (Dz. U. 2013 po. 640). Dla poszczególnych klas lokalizacji współczynnik projektowy wynosi:

- Dla pierwszej klasy lokalizacji – 0,40
- Dla drugiej klasy lokalizacji – 0,60
- Dla trzeciej klasy lokalizacji – 0,72

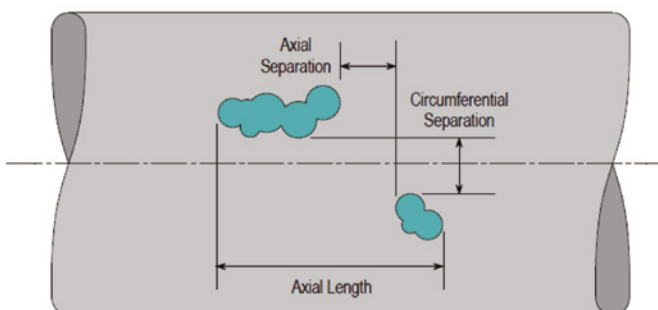
Przekształcając wzór (1) obliczamy maksymalne dopuszczalne ciśnienie dla zadanej grubości ścianki:

$$P_{max} = \frac{20 \cdot f_0 \cdot R_{10,5}(\theta) \cdot T_{rzecz} \cdot c_0}{D} \quad (2)$$

Dla rzeczywistej, zmniejszonej poprzez korozję, grubości ścianki T_{rzecz} rurociągu o średnicy D , przy uwzględnieniu klasy lokalizacji i wynikającego z niej współczynnika projektowego można określić ciśnienie, przy którym przedmiotowy gazociąg może dalej bezpiecznie pracować.

W gazociągach korozja może występować również w taki sposób, że obszary ubytków metalu są rozmieszczone blisko siebie w kierunku wzdłużnym, obwodowym lub śrubowym. Jeżeli obszary ubytków metalu są zlokalizowane blisko siebie to prawdopodobne jest, że mogą one oddziaływać i ulegać awariom przy niższym ciśnieniu niż przewidywane na podstawie analizy izolowanych, pojedynczych defektów. Przyjęło się, że kryterium używane do grupowania anomalii wykrytych podczas operacji tłokowania tłokami inteligentnymi jest uzgadnianie między operatorem rurociągu a wykonawcą tłokowania. Tworzenie klastrów zgodnie z ustalonym kryterium interakcji powinno być przeprowadzone już w momencie, gdy wykonawca tłokowania dostarcza wyniki kontroli operatorowi.

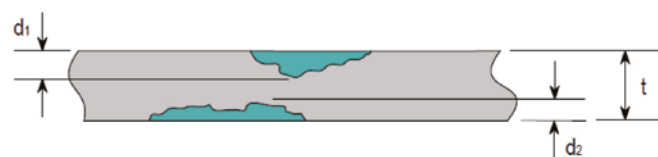
Przeprowadzono wiele analiz numerycznych oraz testów na rozezwinięciu, aby wypracować kryteria oceny wzajemnego oddziaływania defektów korozyjnych rozmieszczonych blisko siebie w rurociągach (rys.21). Interakcje pomiędzy dwoma defektami można ocenić w zależności od typu defektu i orientacji, w kierunku osiowym lub obwodowym.



Rys.21 Odległości wzajemnego oddziaływania wad korozyjnych[11]

Fig.21 Corrosion defect interaction distances

Oddziaływanie można ocenić pod kątem wad, które występują na wewnętrznej lub zewnętrznej powierzchni rury. Tam, gdzie para defektów zewnętrznych i wewnętrznych nachodzi na siebie, jak zaprezentowano na rys. 22, należy je połączyć, aby utworzyć wadę złożoną. Taka wada złożona jest tworzona przez obliczenie łącznej długości defektu. Głębokość takiej wady jest sumą maksymalnych głębokości defektów wewnętrznych i zewnętrznych.



Rys.22 Nakładające się wady wewnętrzne i zewnętrzne[11]

Fig.22 Overlapping external and internal defects

Wady korozyjne mogą występować na stosunkowo szerokim obszarze powierzchni rury i mogą być różnie zorientowane. Na kierunek uszkodzenia ma wpływ przyczyna korozji.

Rurociąg, w którym występuje zjawisko utraty metalu, jest uznawany za akceptowalny i może pracować dalej, gdy oszacowane naprężenie niszczące pomnożone przez odpowiedni współczynnik

bezpieczeństwa jest równe lub większe od naprężenia obwodowego przy ciśnieniu roboczym. Nie da się określić jednego uniwersalnego współczynnika bezpieczeństwa odpowiedniego dla wszystkich typów konstrukcji rury, trybów pracy rurociągu, warunków obciążenia czy wszystkich typów defektów. Według ASME B31G-2009 zaleca się stosowanie minimalnego współczynnika bezpieczeństwa, który jest równy stosunkowi minimalnego ciśnienia próby wodnej gazociągu do maksymalnego ciśnienia roboczego (MOP).

10. Wnioski końcowe

Badania diagnostyczne tłokami inteligentnymi, pozwalają uzyskać szczegółowe dane o stanie technicznym rurociągu. Umożliwiają w krótkim czasie, dostęp do wiarygodnych danych o lokalizacji miejsc potencjalnych zagrożeń takich jak: uszkodzenia mechaniczne, deformacje przewodu, czy miejsca skorodowane. Dane te, ułatwiają operatorowi podejmowanie decyzji czy i w jakim zakresie konieczny jest remont danego odcinka. Ogranicza to możliwość powstania awarii, która mogłaby spowodować przerwanie dostaw gazu, wydłuża czas eksploatacji rurociągu. Stosowanie tłoków czyszczących, umożliwia utrzymanie projektowanej przepustowości, poprzez usuwanie zanieczyszczeń odkładających się na wewnętrznej ścianie rurociągu. Zanieczyszczenia powodują wzrost oporów liniowych. Prowadzi to do spadku zdolności przepustowej rurociągu. Tłoki inteligentne ze względu na wysoce złożoną konstrukcję i skomplikowane układy pomiarowe nie należą do urządzeń tanich. Przed przystąpieniem do inspekcji, trzeba określić warunki jakie musi spełnić gazociąg, aby nie naraził urządzenia na uszkodzenie lub utratę (zagnieżdżenie w przewodzie).

Diagnostyka tłokowa gazociągów ma kluczowe znaczenie w zapewnieniu bezpieczeństwa użytkownika sieci przesyłowych. Ma ogromny wpływ na okres eksploatacji rurociągów a także na koszty eksploatacji sieci.

LITERATURA:

- [1] Beuker T., H. Lindner, S. Brokhaus. 2010., „Review of Advanced In-Line Inspection Solutions for Gas Pipelines”, Aberdeen, <http://www.ppsa-online.com/papers/10-Aberdeen/2010-07-Rosen-slides.pdf>
- [2] Duliński W.2007. „Transport gazu” AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne.
- [3] MOHITPOUR Mo 2005. „Pipeline operation & maintenance – A Practical Approach” ASME, Nowy Jork.
- [4] Mullin] I.2008. „SECURING THE BEST PERFORMANCE ENTITLEMENT FROM MFL TECHNOLOGY” Cramlington, Wielka Brytania
- [5] Ostapowicz D.2013. „Diagnostyka gazociągów za pomocą tłoków inteligentnych,” Praca magisterska, P-W, Wydział Inżynierii Środowiska, <http://www.ppsa-online.com/papers/08-Aberdeen/2008-05-PII.pdf>
- [6] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE API Standard 1163 “In-Line Inspection Systems Qualification” Second edition XXXX 201X Washington, D.C. 200005
- [7] PIGGING PRODUCTS & SERVICES ASSOCIATION „BUYERS’ GUIDE & DIRECTORY OF MEMBERS 2012-2013”, <http://www.ppsa-online.com/download/?PPSADirectory12-13.pdf>
- [8] PIPELINE OPERATORS FORUM. 2009. “Specifications and requirements for intelligent pig inspection of pipelines”.
- [9] „The 2012 biannual PII pipeline client conference”, April 26-27,2012 – Durham, UK
- [10] Morawski T., 2006. „Diagnostyka tłokowa przy pomocy tłoków inteligentnych,” Nowoczesne Gazownictwo, , Nr 1
- [11] PROJECT 153 M GUIDANCE FOR ASSESING THE REMAINING STRENGTH OF CORRODED PIPELINES, GL Noble Denton, Report Nr 9492, April 2010
- [12] <http://www.kkiem.mech.pg.gda.pl/rurociagi/z4/index.html>
- [13] http://www.pipelineoperators.org/?page_id=8
- [14] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Geofon>
- [15] <http://www.ppsa-online.com/papers/10-Aberdeen/2010-07-Rosen-slides.pdf>
- [16] <http://www.ultrasonic.home.pl/index.php?doc=&lang=pl>