Korki cieczowe w instalacjach gazowych

Urządzenia zabezpieczające przed uderzeniami hydrodynamicznymi

Cezary Pokrzywniak, Przemysław Szkudlarczyk
pod kierunkiem dr. hab. inż. Stanisława Nagy, prof. AGH

W wielu instalacjach służących do eksploatacji i przesyłu gazu ziemnego często spotykamy się z występowaniem przepływu medium wielofazowego. Jego transport rurociągami na duże odległości wymaga więc analizy układów pod względem powstawania korków cieczowych oraz przepływu gazu.

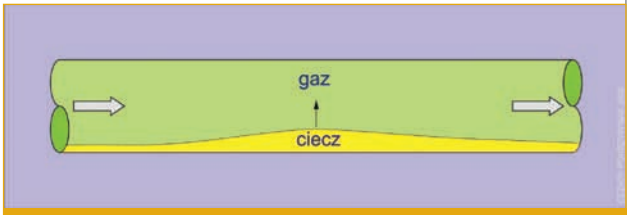
Charakterystyka korków

Pod pojęciem hydrodynamicznych korków cieczy rozumie się zjawisko zapoczątkowane niestabilnością fal na granicy międzyfazowej gaz–ciecz przy przepływnie laminarnym w danych warunkach. W przypadku występowania w instalacjach licznych korków hydrodynamicznych praca rurociągu przechodzi w stan przepływu przerywanego, który charakteryzuje się przepływem złożonym gaz–ciecz, wykazującym często zachowanie niestabilne.

Mechanizmy formowania się korków

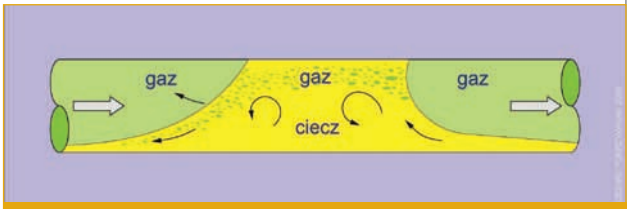
Istnieją przynajmniej cztery główne mechanizmy powstawania korków:

- przy przepływie w warunkach ustalonych korki tworzą się na skutek niestabilności fal, ponieważ przy pewnych prędkościach przepływu zanika charakterystyka warstwowa przepływu, co prowadzi do tworzenia się korków;
- przy małych prędkościach przepływu w obniżonych częściach rurociągu gromadzi się ciecz, która wykrapla się z substancji transportowanych rurociągiem. Ciecz ta blokuje przepływ gazu aż do momentu wydmuchania jej w formie korka;
- przy gwałtownym przesterowaniu systemu (przez operatora) z jednego stanu stabilnego w inny — np. podczas zwiększenia natężenia przepływu, znajdująca się w rurociągu ciecz podczas szybkiego przemieszczania tworzy coraz to większe skupiska aż do momentu powstania korka lub wielu korków;
- oczyszczanie rurociągów z wykorzystaniem tłoków czyszczących może spowodować powstanie bardzo dużych korków cieczy, ponieważ cała ciecz zalegająca w rurociągu zostaje wypchnięta przez poruszający się tłok.

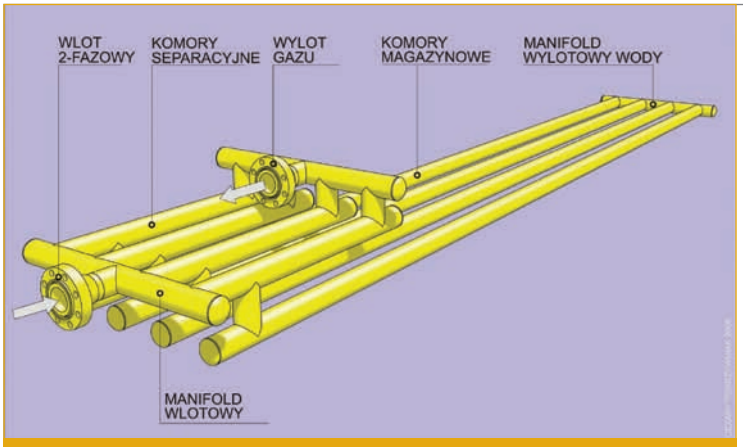


Schemat 1. Wzrost fali Kelvina–Helmholtza

Schemat 2. Powstanie czoła i ogona korka



Schemat 3. Wnikanie gazu



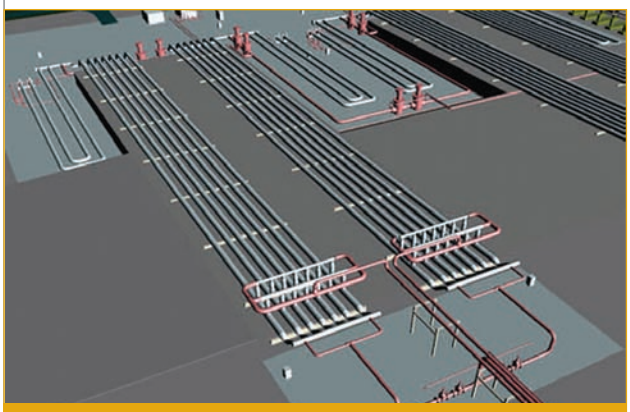
Schemat 4. *Slug catcher* rurowy (harfowy)

Długości korków cieczy są trudne do ustalenia również dlatego, że formują się one podczas powstawania fal hydrodynamicznych na styku ciecz–gaz w przepływie warstwowym.

Schematy od 1 do 3 przedstawiają tworzenie się korków przy przepływie płynu wzdłuż rurociągu. Początkowo przepływ jest ustabilizowany (schemat 1), tzn. gaz płynie górną częścią rurociągu, ciecz znajduje się w jego dolnej części. Kiedy gaz przepływa nad falą, następuje miejscowy spadek ciśnienia. W obszarze fali powstaje wtedy siła skierowana do góry, w celu wyrównania tego spadku ciśnienia, analogicznie jak jest to w zjawisku Bernoullego. W odpowiednich warunkach siła ta jest dostateczna do uniesienia grzbietu fali do górnej części rury. Ten nagły wzrost amplitudy fali pod wpływem przepływu gazu jest wyzwalany przez niestabilność Kelvina–Helmholtza.

Gdy tylko fala osiągnie górną część rurociągu, tworzy się tzw. hydrodynamiczny korek cieczowy z czołem (prawa strona) i ogonem (lewa strona) — przedstawiony na schemacie 2. Korek ten, przepychany przez gaz, przemieszcza się z większą szybkością niż warstwa cieczy w dolnej części rurociągu dlatego następuje spiętrzenie cieczy na jego czole.

Wnikanie gazu w przednią część korka powoduje wytworzenie strumienia, który porywa bąbelki gazu (schemat 3). To wnikanie gazu prowadzi do zmniejszenia ilości cieczy w korku i pojawienia się w nim turbulencji wpływającej na jego niestabilność.



Fot. 4.1. Projekt *slug catchera* rurowego

Fot. 4.2. Zdjęcie *slug catchera* rurowego

Łapacze korków

W celu zabezpieczenia instalacji technologicznych przed uderzeniami hydrodynamicznymi korków oraz zagwarantowania stabilnej pracy układów stosuje się specjalne typy separatorów zdolne do przyjęcia przepływu dużych objętości cieczy w nieregularnych odstępach czasu. Zwykle instalowane są one w systemach separacji gazu lub innych dwufazowych instalacjach na wylocie z rurociągu oraz w pośrednich punktach rurociągu w celu odbioru fluktuujących przepływów cieczy.

Separatory te nazywamy *slug catcherami* i z uwagi na budowę możemy podzielić na:

- *slug catchery* rurowe/harfowe — wykonane w formie systemu rur rozdzielczych;
- *slug catchery* zbiornikowe — wykonane w formie pojedynczego dużego zbiornika;
- odwadniacze połączone z rurociągiem w zabudowie podziemnej.

Dobór separatorów jest bardzo trudnym zadaniem z uwagi na konieczność określenia charakterystyki przepływu z uwzględnieniem korków cieczy oraz separacji cieczy i gazu. Czasy retencji rozdzielenia ciecz–gaz przyjmuje się jak dla standardowych separatorów, natomiast odpowiednią pojemności do fluktuacji poziomu cieczy z korków dobiera się na podstawie ich wielkości[1].

Typy *slug catcherów* rurowych

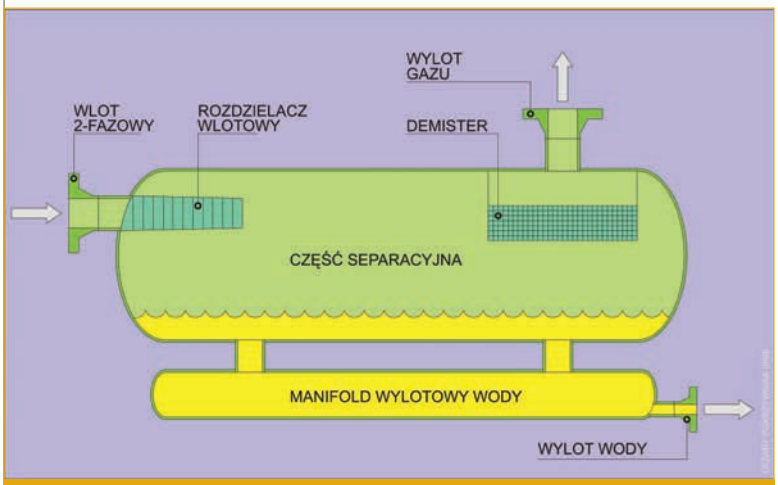
W instalacjach wysokociśnieniowych separatory mogą wymagać stosowania bardzo grubych ścianek płaszcza. W celu uniknięcia budowy zbiorników grubościennych, *slug catchery* są często wykonywane jako układ rur. Rury o długości kilkunastu lub kilkudziesięciu metrów są wykorzystywane jako długie, smukłe separatory poziome. Są one zwykle nachylone pod kątem od jednego do dziesięciu stopni i często łączone w zespoły. *Slug catcher* rurowy jest najczęściej tańszy w wykonaniu niż typowy *slug catcher* zbiornikowy o tej samej wydajności, z powodu cieńszych ścianek wymaganych w rurach o mniejszej średnicy. Konstrukcja równoległa urządzeń zawierających kilka rur umożliwia również ich rozbudowę poprzez dodanie kolejnych. Schemat budowy *slug catchera* rurowego, nazywanego często harfowym, przedstawia schemat 4. oraz fotografia 4.1 i 4.2.

Typy *slug catcherów* zbiornikowych

Z uwagi na spełniane funkcje, *slug catchery* najczęściej stosowane są jako separatory poziome. Takie rozwiązanie charakteryzuje się największą skutecznością w wypadku występowania dużych ilości cieczy w przepływającym strumieniu; (w porównaniu z separatorami pionowymi), zapewnia optymalne warunki do uwolnienia gazu. Konstrukcja *slug catchera* zbiornikowego może być jedno– lub dwukomorowa. W separatorach dwukomorowych ciecze poprzez rury łączące opadają do umieszczonego poniżej zewnętrznego zbiornika cieczy.

Separator w zależności od konstrukcji oraz charakterystyki pracy może być wyposażony w: rozdzielacz wlotowy, *demister* na wylocie gazu, łamacz wirów na spuście cieczy, wewnętrzne przegrody, wewnętrzne instalacje do wymywania piasku, glin, iłów itp.

Schemat budowy *slug catchera* zbiornikowego przedstawia schemat 5. oraz fotografia 5.1 i 5.2.



Schemat 5. *Slug catcher* zbiornikowy

Typy odwadniaczy

Przykłady odwadniaczy widzimy na schemacie 6. i fotografii 6.1. Zbiornik ściekowy jest podłączony do rury i często jest umieszczony pod nią. Linia przepływowa ze zbiornika służy do usuwania cieczy z odwaniacza do zbiornika magazynowego lub cysterny.

Rozróżniamy dwa typy odwadniaczy różniące się zabudową zbiornika ociekowego, który może być poziomy lub pionowy. Stosowany jest również podział z uwagi na różny typ podłączenia układów zaworowych. Szczególnym rozwiązaniem konstrukcyjnym odwadnia-

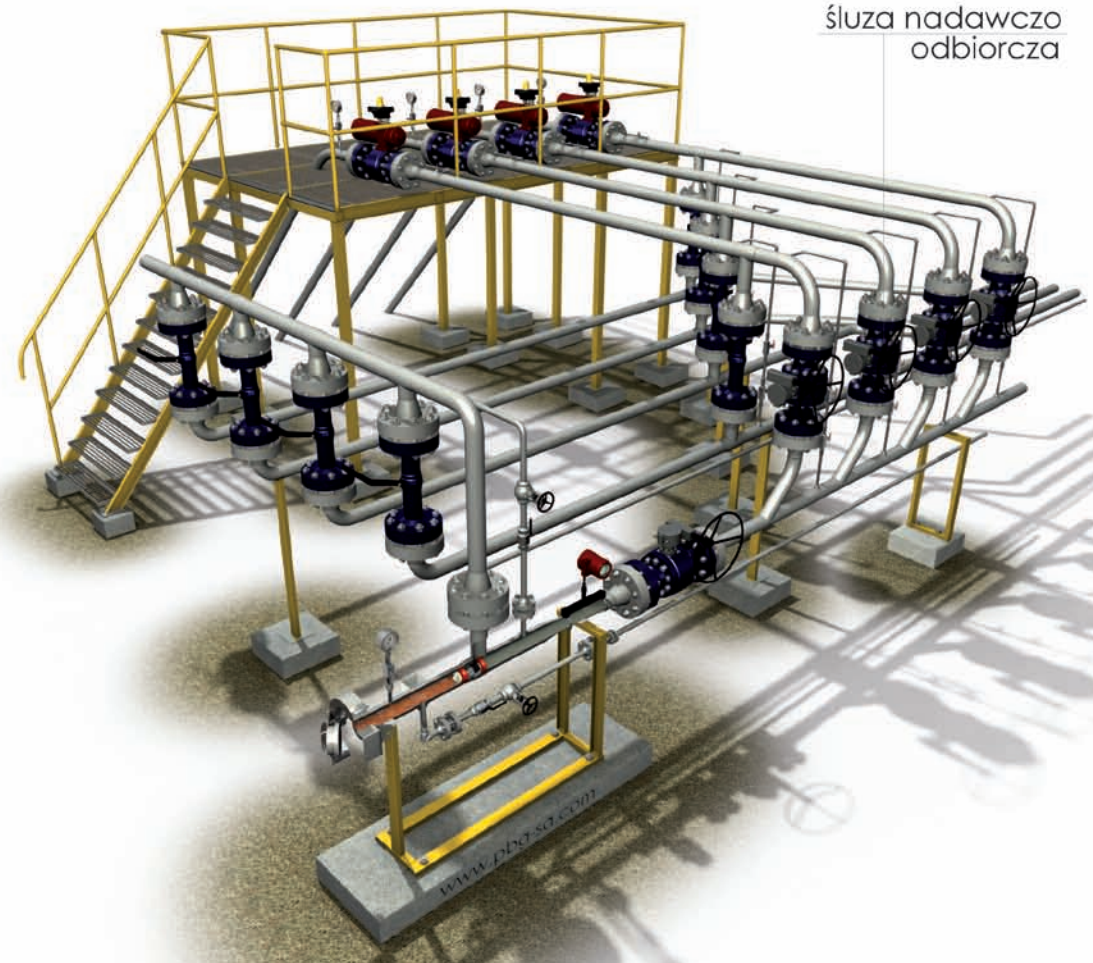
Fot. 5.1. Projekt *slug catchera* zbiornikowego

Fot. 5.2. Zdjęcie *slug catchera* zbiornikowego

od elementów do...

PBG S.A.

kompletnych obiektów

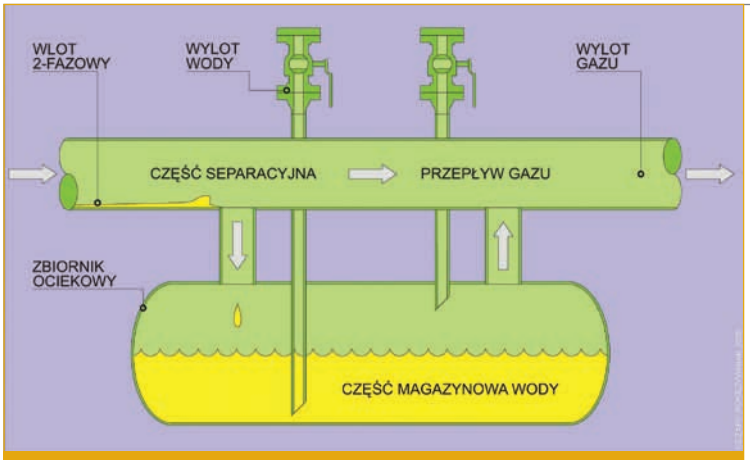


Profil działalności:

- kopalnie ropy naftowej i gazu ziemnego
- instalacje skraplania gazu LNG
- stacje regazyfikacji LNG
- odazotowanie gazu
- instalacje separacji LPG
- stacje CNG
- podziemne magazyny gazu
- rurociągi przesyłowe i sieci dystrybucyjne
- mieszalnie gazu
- stacje kompresorowe gazu

Realizujemy projekty jako generalny wykonawca lub podwykonawca w zakresie: projektowania, wykonawstwa, eksploatacji i serwisowania.

www.pbg-sa.pl



Schemat 6. Odwadniacz

Fot. 6.1. Zdjęcie odwadniacza

czy są odwadniacze przystosowane do przejścia tłoka czyszczącego.

Podsumowanie

Podstawowymi układami stosowanymi przy budowie i eksploatacji rurociągów są śluzy przystosowane do czyszczenia rurociągów tłokami (fotografia 7.). Regularne czyszczenie rurociągów powoduje zmniejszenie ilości cieczy znajdującej się wewnątrz rurociągu. Wpływa to na ograniczenie wielkości ewentualnych korków oraz pozwala poprawić przepustowość rurociągu.

W celu pełnego zabezpieczenia instalacji i urządzeń znajdujących na końcach rurociągów przed uderzeniami hydrodynamicznymi spowodowanymi przez korki cieczowe stosuje się *slug catchery*, które ewidentnie podnoszą bezpieczeństwo pracy rurociągów oraz pośrednio wpływają na obniżenie kosztów eksploatacji.

Fot. 7. Śluza odbiorcza tłoka

Cezary Pokrzywniak
Przemysław Szkudlarczyk

Literatura

1. *"Hydrodynamic Slug Size in Multiphase Flowlines", Feesa Ltd Case Study, 2003,*
2. *"Fluid Flow and Piping", Engineering Data Book, 11th Edition, 1998,*
3. *"Separators and Filters", Engineering Data Book, 11th Edition, 1998,*
4. *Walter C. Driedger, "Controlling Vessels and tanks", Hydrocarbon Processing, marzec 2000,*
5. *"Specification for Oil and gas Separators', API Specification 12J, Seventh Edition, październik 1989,*
6. *Hussein Alboudwarej, Miles Haukeness, "New Design Improves Performance of Gas–Pipeline Drip Separators", Oil&Gas Journal, kwiecień 2001.*

PBG S.A.
ul. Skórzewska 35
Wysogotowo k/Poznania
62–081 Przeźmierowo, Polska
e–mail: cezary.pokrzywniak@pbg–sa.pl
www.pbg–sa.pl

Przypisy

[1] *Sposoby obliczania korków wywołanych przez fale hydrodynamiczne opisano w publikacjach Greskovicha, Shriera czy Brilla. Schemat obliczania korków generowanych różnicą poziomów terenu opracował Schmidt, a metody analityczne ustalania korków spowodowanych przez zmiany natężenia przepływu wlotowego — Cunliffe. Metody analizy dynamiki czyszczenia rurociągów tłokami podali McDonald i Baker.*