



Hanna KUBACKA

**Zarządzanie przepływem partii produktowych
w rurociągach transgranicznych.
Modelowanie sprawnego działania.**

Rozprawa doktorska

Promotor:

dr hab. Maciej SZYMCZAK, prof. nadzw. UEP

Poznań, 2014

Składam serdeczne podziękowania

*Panu Profesorowi dr hab. Maciejowi Szymczakowi
za życzliwość, zrozumienie i wszechstronną pomoc
w przygotowaniu niniejszej pracy*

Rodzicom, rodzeństwu i przyjaciołom za wsparcie i wiarę

Spis treści

Wstęp	1
1 Przesyłowy transport paliw we współczesnej gospodarce światowej	18
1.1 Zarządzanie łańcuchem dostaw w przemyśle naftowo-paliwowym .	18
1.1.1 Makroekonomiczny wymiar sektora energetycznego w gospodarce narodowej	18
1.1.2 Rola paliwowego łańcucha dostaw	23
1.1.3 <i>Upstream-midstream-downstream</i> . Zintegrowany paliwowy łańcuch dostaw	25
1.1.4 Integracja wertykalna łańcucha dostaw i outsourcing	28
1.2 Rurociągi transgraniczne	33
1.2.1 Ekonomia rurociągów transgranicznych	36
1.2.2 Podstawowe problemy funkcjonowania rurociągów transgranicznych	38
1.3 Proces przesyłu partii produktowych w rurociągach transgranicznych	42
1.3.1 Sekwencjonowanie partii produktowych	42
1.3.2 Planowanie przesyłu partii produktowych	45
1.3.3 Systemy zarządzania przepływem paliw w rurociągach transgranicznych	48
1.4 Postęp technologiczny w sektorze naftowo-paliwowym w aspekcie makroekonomicznym	52

1.4.1	Nowoczesne technologie przemysłu naftowo-paliwowego . . .	52
1.4.2	Technologiczne czynniki kształtowania popytu i podaży . . .	59
1.4.3	Ochrona środowiska i emisja dwutlenku węgla	64
1.4.4	Komputerowe systemy wspomaganie nadzoru i utrzymania integralności rurociągu	67
2	Zarządzanie przepływem partii produktowych. Przegląd infrastruktury przesyłowej	69
2.1	Paliwa płynne	80
2.1.1	Partie produktów paliwowych	80
2.1.2	Pochodzenie produktów paliwowych	82
2.2	Infrastruktura przesyłowa paliw płynnych	84
2.2.1	System i sieci rurociągowo	84
2.2.2	Armatura kontrolno-pomiarowa	88
2.2.3	Parki zbiornikowe	90
2.2.4	Prawo drogi i koncesje wydobywcze	91
2.3	Uwarunkowania eksploatacyjne rurociągów transgranicznych	93
2.3.1	Czynniki różnicujące magistrale przesyłowe	93
2.3.2	Założenia projektowe i wdrożenie systemów zarządzania rurociągami	94
2.3.3	Projektowanie bezpiecznych rurociągów	95
2.3.4	Uwarunkowania występowania zakłóceń i awarii przesyłu .	98
2.4	Systemy zarządzania przepływem partii produktowych	107
2.4.1	Komputerowe systemy monitoringu rurociągu CPM	108
2.4.2	Przyjmowanie i wydawanie partii produktowych	111
2.4.3	Tłoczenie partii produktowych i wybór trasy	112
2.4.4	Kontrola wypełnienia rurociągu	112
3	Modelowanie sprawnego działania rurociągów przesyłowych	116
3.1	Modelowanie infrastruktury rurociągowej	116
3.1.1	Modelowanie matematyczne systemu rurociągowego	119

3.1.2	Topologia systemu rurowciągowego	120
3.1.3	Adaptacja modelu do warunków rzeczywistych	121
3.2	Modelowanie przepływu partii produktowych w rurowciąгах	123
3.2.1	Zjawisko przepływu w systemach rurowciągowych	123
3.2.2	Podstawowe równania hydrauliczne i termodynamiczne	126
3.2.3	Metoda obliczeniowa przewodu wydatkującego po drodze	129
3.2.4	Metoda Crossa obliczenia sieci obwodowych.	131
3.3	Kwantyfikacja i ocena determinant ryzyka	131
3.3.1	Analiza bezpieczeństwa funkcjonalnego	133
3.3.2	Kwantyfikacja czynników sprawności i ryzyka	135
3.3.3	Metody oceny sprawnego działania	138
3.3.4	Kryteria sprawnego działania	143
3.4	Niezawodność zarządzania przepływem partii produktowych	144
4	Model sprawnego zarządzania przepływem partii produkto- wych w rurowciąгах transgranicznych.	147
4.1	Schemat oceny ryzyka w projektach rurowciągowych - metodologia postępowania badawczego	148
4.1.1	Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia	156
4.1.2	Konsekwencje wystąpienia zagrożenia	159
4.1.3	Metoda wyznaczania pozycji rankingowej ryzyka	160
4.1.4	Macierz oceny ryzyka	162
4.2	Scenariusze sprawnego zarządzania przepływem partii produkto- wych w rurowciąгах transgranicznych	165
4.3	Podsumowanie	167
	Zakończenie	170
	Bibliografia	180
	Załącznik 1 - Proces rafinacji	188
	Załącznik 2 - Świadectwo jakości partii produktowej	189

Spis symboli i skrótów	190
Spis rysunków	195
Spis tabel	197

Wstęp

Rozbudowany system krajowych i transgranicznych rurociągów tworzy podstawowy składnik infrastruktury wykorzystywanej do przepływu partii produktowych. Uwzględniając aspekty technologiczne, ekonomiczne i ekologiczne infrastruktura ta z pewnością powinna być nowoczesna, niezawodna i bezpieczna. Pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa powinno odbywać się w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu ciągłości i niezawodności dostaw. Realizacja potrzeb odbiorców na paliwa winna przebiegać przy uwzględnieniu odpowiednich parametrów jakościowych partii produktowych, warunków ochrony środowiska oraz społecznie akceptowalnych cen [Urząd Regulacji Energetyki 2013].

Sprawność zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych jest współcześnie uzależniona od wielu czynników, tj. stanu technologicznego systemu rurociągowego, form własności jego infrastruktury, lokalizacji oraz stopnia wykorzystania i zróżnicowania kierunków przesyłu partii produktowych, dywersyfikacji tras i baz paliwowych, stopnia rozwoju i wydajności¹ połączeń produktowych systemów rurociągowych. Wzrost popytu na produkty rafinacji ropy naftowej w ostatnich kilku latach, niezależnie od historycznych uwarunkowań, wymusza potrzebę doskonalenia metod przepływu partii produktowych. Modelowanie sprawnego działania, przy uwzględnieniu prawidłowości zjawisk związanych z przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych i towarzyszących im informacji, staje się kluczowym narzędziem służącym do

¹ Przepustowości, tzn. tempa transferu wolumenu produktu w jednostce czasu.

budowania konkurencyjnej pozycji przedsiębiorstw na rynku paliwowym. Oznacza to, że stosowanie specjalistycznych technologii sterowania i nadzoru przepływu paliw w czasie rzeczywistym ma swoje uzasadnienie ekonomiczne i technologiczne. Po drugie - dla konsorcjów paliwowych, przesyłających partie produktowe, wdrożenie efektywnej i niezawodnej sieci komunikacyjnej przyczynia się do usprawnienia funkcjonowania procesów logistyki paliw. Po trzecie - warunkiem działania i sukcesu na międzynarodowym rynku paliw jest fakt dysponowania przez przedsiębiorstwa sprawnym modelem przesyłu partii produktowych w rurociągach transgranicznych².

Modelowanie sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych polega na sterowaniu podstawowymi procesami technologicznymi i ekonomicznymi w sferze przepływu paliw³:

- w ramach danych struktur rynkowych, potencjału i potrzeb oraz racjonalizacji tych procesów (składanych zamówień, przesyłu i magazynowania);
- w ramach uczestniczących państw, w taki sposób, aby partie produktowe były dostępne u określonego odbiorcy w odpowiednim czasie, we właściwym miejscu i odpowiedniej ilości.

We współczesnym otoczeniu biznesowym charakteryzującym się globalizacją gospodarki i przy sprzyjającym kreowaniu warunków uczciwej konkurencji, rozumianej jako tworzenie jednakowych warunków działalności dla wszystkich uczestników rynku paliwowego, przedsiębiorstwa i operatorzy rurociągów, przesyłający partie produktowe w rurociągach transgranicznych, stosują innowacyjne technologie oraz strategie osiągnięcia i utrzymywania przewagi konkurencyjnej. Badania nad modelami zarządzania łańcuchem dostaw partii produktowych w rurociągach

² Proces wprowadzania nowych technologii w sektorze naftowo-paliwowym stanowi, pomimo wielkich wydatków i nakładów inwestycyjnych, powszechnie obowiązujący trend.

³ Su [1999] twierdzi, że aby system fizycznej dystrybucji mógł odnieść sukces musi on spełnić szereg istotnych funkcji, takich jak magazynowanie i transport produktów. Oznacza to zatem, że wymienione funkcje muszą być zintegrowane skutecznym systemem zarządzania całościowym procesem przesyłu partii produktowych.

transgranicznych skupiły, w ostatnich latach, ogromną uwagę zarówno naukowców jak i praktyków [Chan i Qi 2003b]⁴.

Zarządzanie paliwowym łańcuchem dostaw

Zarządzanie łańcuchem dostaw (*ang. Supply Chain Management SCM*) to kierowanie i sprawowanie kontroli nad siecią połączonych przedsiębiorstw zaangażowanych w świadczenie usług oraz dostarczanie produktów wymaganych przez klientów końcowych [Harland 1996]. Procesy logistyczne w sektorze paliwowym obejmują przesył i magazynowanie gotowych produktów rafinacji z rafinerii do punktu odbioru.

Zarządzanie łańcuchem dostaw obejmuje planowanie i zarządzanie wszystkimi działaniami zaangażowanymi w pozyskiwanie i dystrybucję partii produktowych. Co ważne, proces ten również obejmuje koordynację współpracy operatorów rurociągów z partnerami i dostawcami usług (3PL third-party) oraz klientów końcowych, np. portów lotniczych zaopatrujących się w paliwa lotnicze⁵. Łańcuch dostaw integruje procesy zarządzania popytem i podażą w obrębie poszczególnych przedsiębiorstw paliwowych [Christopher i Towill 2001]. Zarządzanie łańcuchem dostaw pełni funkcję integracyjną - główny nacisk położony jest na powiązania celów i procesów biznesowych przedsiębiorstw w spójny i sprawny międzynarodowy model biznesowy [Cooper, Douglas i Janus 1997]. Model ten obejmuje logistykę, a więc zarządzanie oraz działania operacyjne koordynujące procesy i działania paliwowego łańcucha dostaw [Jonsson 2008]⁶.

⁴ Zarządzanie łańcuchem dostaw zostało określone przez Christophera [2001] jako „zarządzanie *upstream* i *downstream* relacjami z dostawcami i klientami w celu dostarczenia najwyższej wartości konsumenckiej po niższym koszcie dla łańcucha dostaw jako całości [tł. własne]”. Modelowanie sprawności zarządzania rurociągowym przesyłem partii produktowych łańcucha dostaw może ułatwić zrozumienie prawidłowości funkcjonowania łańcucha dostaw i poprawić jego całkowitą wydajność [Myers, Griffith, Daugherty i Lusch 2004; Chen i Paulraj 2004]

⁵ Przedsiębiorstwa naftowo-paliwowe to uczestnicy paliwowego łańcucha dostaw w sektorze naftowo-paliwowym. Zaliczają się do nich konsorcja i spółki naftowo-paliwowe, operatorzy rurociągów, pośrednicy i inne firmy dostarczające usługi transportowe ropy naftowej i jej rafinowanych produktów.

⁶ W Wielkiej Brytanii badania wykazały, że 40% produktu krajowego brutto przeznaczonego zostało na działania operacyjne w zakresie dystrybucji i logistyki [Gunasekaran, Patel i McGaughey 2004]. Autorzy zauważyli, że takie trendy prezentują znaczący, widoczny wpływ zarządzania dystrybucją, zakupami i dostawami na majątek przedsiębiorstw naftowo-paliwowych.

Paliwowy łańcuch dostaw może być opisany w wymiarze wewnętrznych działań organizacyjnych uwzględniających funkcjonowanie trzech różnych segmentów rynku: segment obejmujący prace poszukiwawcze i wydobycie ropy naftowej (*upstream*); rafinację (*midstream*) oraz logistykę, transport, marketing, dystrybucję i magazynowanie produktów naftowych⁷ (*downstream*)⁸. Kształtowanie się rynku naftowo-paliwowego obejmuje ściśle powiązane ze sobą procesy⁹:

- demonopolizację rynku obejmującą jego podział na podsektory wydobycia i produkcji (*upstream*); przetwarzania (rafinerie), transportu i magazynowania (*midstream*) oraz przesyłu, dystrybucji i handlu (*downstream*);
- liberalizację rynku, dzięki której w kolejno poszerzanych obszarach działalności, niezależne przedsiębiorstwa będące uczestnikami wskazanych trzech podsektorów współpracują ze sobą na zasadach wolnorynkowych.

Zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych uwzględnia strategię przepływu partii paliwowych, usług i informacji. Proces integracji kanałów dystrybucji partii paliwowych umożliwia poprawę efektywności działań przedsiębiorstw w łańcuchu dostaw i pozwala im skutecznie konkurować na rynku paliwowym [Harrison i New 2001]. Dla przedsiębiorstw łańcuch

⁷ Benzyny silnikowe, olej napędowy, olej opałowy, paliwo lotnicze lub surowiec dla przemysłu petrochemicznego.

⁸ Inna definicja łańcucha dostaw głosi, że „działania łańcucha dostaw obejmują planowanie, realizację zamówień, kontrolę i monitorowanie dostaw produktu celem tworzenia wartości netto, budowania konkurencyjnej infrastruktury, wykorzystując pełną logistykę synchronizującą podaż z popytem i pomiar całkowitej wydajności” [Cox 1999]. Łańcuch dostaw jest również definiowany jako wszystkie powiązane przedsiębiorstwa, które za pomocą środków bezpośrednich lub pośrednich, doprowadzają do dostarczenia usługi lub produktu do klienta [Chopra i Meindl 2004]. Współczesny konkurencyjny rynek paliw jest głównym czynnikiem wpływającym na każdy aspekt tego, w jaki sposób uczestnicy łańcucha dostaw w sektorze naftowo-paliwowym ze sobą współpracują, a sieci łańcucha dostaw są zorganizowane. Jeśli poszczególne przedsiębiorstwa chcą wzmocnić swoją pozycję na rynku paliwowym, muszą zrozumieć, jak działa zintegrowany paliwowy łańcuch dostaw i jak poszczególni uczestnicy mogą usprawnić jego funkcjonowanie. Kluczowym warunkiem sukcesu przedsiębiorstw jest zrozumienie, że to łańcuch dostaw jako całość konkuruje na rynku paliwowym, a nie poszczególni jego uczestnicy [Christopher i Towill 2001], a porażka łańcucha dostaw jest ostatecznie określana na rynku przez klienta końcowego.

⁹ Dodatkowo, charakterystycznym procesem w sektorze naftowo-paliwowym obserwowalnym np. w Polsce jest prywatyzacja tego sektora obejmująca przekształcenia przedsiębiorstw państwowych w spółki Skarbu Państwa, a następnie sprzedaż ich udziałów inwestorom krajowym lub zagranicznym.

dostaw stanowi okazję do bardziej efektywnego wykorzystania zasobów paliwowych. Skala zjawiska, zarządzanie elementami infrastruktury przesyłowej i zasobami paliwowymi, transport, kształtowanie cen i dostępność informacji to tylko niektóre z czynników, które sprawiają, że przedsiębiorstwa dążą do sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych. Dostępność partii produktowych w przesyłowym łańcuchu dostaw może radykalnie zmienić efektywność łańcucha dostaw i szybkość reagowania na dynamiczne zapotrzebowanie na wielkość dostaw paliw. Nieoczekiwane zmiany wymagań klientów lub zakłócenia dostaw, podobnie jak wybór trasy przepływu partii paliwowych, wpływają na sprawność zarządzania przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw w rurociągach transgranicznych. Wybór lokalizacji i stopnia przepustowości obiektów infrastruktury mają znaczący wpływ na wydajność systemu rurociągowego. Decyzje w sprawie zamówień paliw i ich realizacji w ramach własnych zasobów lub *outsourcingu* również stanowią istotny czynnik kształtowania zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych¹⁰.

Sprawność paliwowego łańcucha dostaw

Zarządzanie przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw jest ważnym elementem strategii konkurencji - zwiększenia wydajności organizacyjnej i rentowności przedsiębiorstw. Rola wskaźników sprawności w sukcesie organizacji nie może być pominięta, ponieważ mają one istotny wpływ na strategiczne, taktyczne i operacyjne planowanie działań oraz ich kontrolę. Pomiar sprawności i jego kryteria stanowią istotny czynnik kształtowania celów, oceny wyników oraz określenia przyszłych kierunków działań [Gunasekaran i in. 2004].

Na rynku paliwowym zachodzą obecnie istotne zmiany. Przedsiębiorstwa paliwowe nieustannie monitorują działania swoich konkurentów. Monitoring nie doty-

¹⁰ Dla firm naftowo-paliwowych marża może być znacznie zwiększona, jeżeli firmom uda się dokonać zakupów w całym łańcuchu dostaw w jednej walucie. Jednostką rozliczeniową w całym łańcuchu dostaw w sektorze naftowo-paliwowym jest dolar amerykański.

czy już indywidualnych wyników przedsiębiorstw paliwowych, ale koncentruje się na stopniu integracji łańcucha dostaw - jego zdolności do realizacji potrzeb klienta końcowego pod względem dostępności produktów, szybkości reakcji i terminowości dostawy. Sprawne zarządzanie paliwowym łańcuchem dostaw rozpatrywane jest w wielu płaszczyznach, m.in. wydajności przesyłu, stopnia niezakłóconych i terminowych dostaw paliw (skuteczności). Stopień sprawności zarządzania przesyłem partii produktowych, w ramach wydajności łańcucha dostaw, może być ilustrowany na wykresie jako punkt przecięcia krzywej możliwości funkcjonalnych i ograniczeń przedsiębiorstwa przesyłającego partie paliwowe w rurociągach transgranicznych.

Główny cel modelowania sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych, przy jednoczesnym zapewnieniu racjonalnych cen produktów paliwowych, uwzględnia [Dzikuć 2012]:

- zagwarantowanie bezpieczeństwa dostaw paliw, tj. ciągłych i niezakłóconych dostaw produktów paliwowych ;
- zagwarantowanie wysokiej jakości produktów paliwowych i jakości obsługi odbiorców;
- zagwarantowanie rentowności przedsiębiorstw funkcjonujących w sektorze paliwowym;
- zapewnienie sektorowi naftowo-paliwowemu środków niezbędnych na odnowienie i rozwój jego infrastruktury technicznej.

Inżynieria badań i rozwoju (B&R), produkcja, sprzedaż i marketing tworzą narzędzia efektywnego projektowania przesyłu i sprzedaży partii produktowych w paliwowym łańcuchu dostaw. Tradycyjne, zastane formy i ograniczenia kooperacyjne pomiędzy przedsiębiorstwami ulegają transformacjom. By osiągnąć ostateczny cel łańcucha dostaw - zdolność do szybkiej i konkurencyjnej realizacji zamówienia - firmy dążą do nawiązania nowych form współpracy. Przedsiębiorstwa paliwowe potrzebują mierników, kryteriów lub „metryk” poprawy sprawności transgranicznego łańcucha dostaw [Gunasekaran, Patel i Tirtiroglu 2001].

Kryteria pomiaru sprawności zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych pozwalają dokonać oceny jakości świadczonych usług (miernik obsługi) oraz jakości działalności biznesowej (szybkość reakcji na zmiany otoczenia biznesowego, zapasy, wskaźniki finansowe). Podstawowym celem zarządzania przepływem partii produktowych w łańcuchu dostaw jest maksymalizacja sprawności paliwowego łańcucha dostaw oraz wytworzenie maksymalnej wartości dodanej przesyłowego łańcucha dostaw (minimalizacja kosztów krańcowych). Paliwowy łańcuch dostaw charakteryzuje się integracją wertykalną. Celem sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych jest połączenie wszystkich uczestników w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw w jeden zunifikowany system zarządzania przepływem partii produktowych. Zabieg ten prowadzi do maksymalizacji sprawności zarządzania łańcuchem dostaw i dostarczenia jak największej korzyści dla wszystkich powiązanych podmiotów¹¹ [Jie, Parton i Cox 2007].

Łańcuch dostaw w przemyśle naftowo-paliwowym ma charakter dynamiczny - uzależniony jest on od zmian zewnętrznych i wewnętrznych, krótko- i długoterminowych. Określenie stopnia jego sprawności pozwala zdefiniować cele biznesowe, kontrolować i utrzymywać przedsiębiorstwo na drodze rozwoju gospodarczego. Mierniki sprawności zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych dostarczają nie tylko narzędzi opisu i oceny wydajności łańcucha dostaw, ale pozwalają również na prawidłowe ustalenie pozycji i zadań przedsiębiorstw na rynku paliwowym.

Problem naukowy

Zarządzanie przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych, z uwzględnieniem oceny jego niezawodności i skuteczności, jest przedmiotem prezentowanej pracy. Producenci i usługodawcy branży paliwowo-naftowej muszą

¹¹ Mierniki sprawności są ważne, gdyż wpływają na zachowania kształtujące sprawność zarządzania łańcuchem dostaw. Wskaźniki wydajności łańcucha dostaw zapewniają przedsiębiorstwom standardowe ramy do oceny operacji łańcucha dostaw i wydajności, uwzględniając wewnętrzne i zewnętrzne powiązania firmy [Burcher, Lee i Sohal 2006].

sprostać obecnie coraz silniejszej presji zróżnicowania i poprawy jakości paliw oraz dostosowania podaży do aktualnego zapotrzebowania na gotowe produkty rafinacji¹². Z drugiej strony, w celu zapewnienia zysku, muszą minimalizować koszty ruropięgowego przesyłu partii paliwowych, skracać czas realizacji zamówień i możliwie szybko obniżyć poziom zapasów. Coraz więcej przedsiębiorstw paliwowo-naftowych stara się rozwijać długoterminowe, strategiczne partnerstwo z kilkoma poddostawcami i współpracować z nimi w ramach ich działalności operacyjnej [Lambert, Cooper i Pagh 1998].

Model działania, wykorzystujący mierniki sprawności zarządzania ruropięgowym przesyłem partii produktowych, maksymalizuje potencjał paliwowego łańcucha dostaw. **Zidentyfikowane, słabe obszary podlegają korektom, a celem modelowania sprawnego zarządzania przesyłem partii produktowych w ruropięgach transgranicznych staje się poszukiwanie sposobów i metod eliminacji obszarów objętych ryzykiem.** Ruropięgowy przesył paliw zmierza w kierunku wyższej skuteczności i efektywności, a operatorzy ruropięgów, dystrybuujący partie paliwowe, są zdecydowani zapewnić właściwą kontrolę zawartości ruropięgów i jakości transportowanego produktu poprzez zastosowanie modelu sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych.

Otoczenie biznesowe operatorów transgranicznych ruropięgów produktowych w Europie i na Bliskim Wschodzie podlega ustawowej kontroli państw. Kraje, przez które przebiega ruropięg, regulują w trybie polityczno-prawnym procesy rynkowe. Konsorcja naftowo-paliwowe często zmuszone są korzystać z istniejącej infrastruktury ruropięgowej, z ograniczonymi możliwościami jej modyfikacji wzdłuż całego paliwowego łańcucha dostaw, gdzie występuje wiele geopolitycznych czynników, nad którymi nie mają kontroli.

Z przesyłem partii produktowych w ruropięgach transgranicznych wiąże się wysoki koszt ruropięgowego transportu paliw oraz wysokie zapotrzebowanie na kapitał obrotowy. Ponadto, wahania cen ropy naftowej na rynkach międzynaro-

¹² Przeprowadzone badania wskazują, że dynamiczna reakcja na zachowania klienckie oraz bieżące wydarzenia wpływają na budowanie wizerunku firmy kształtowanego presją na zapewnienie satysfakcji klienta [Amolo 2002].

dowych są dość wysokie w porównaniu z innymi produktami, a kwestie bezpieczeństwa są krytyczne ze względu na właściwość wysokiej palności partii produktowych, co wymaga szczególnego uwzględnienia podczas całego procesu transportu, magazynowania i sprzedaży detalicznej [Dempster, Pedrón, Medova i E.Scott 2000]. Biorąc pod uwagę metody eliminacji obszarów objętych ryzykiem, przedsiębiorstwa należące do sektora *downstream* paliwowego łańcucha dostaw oczekują terminowych i niezakłóconych dostaw odpowiedniej ilości oraz określonej jakości produktów paliwowych przy niskich kosztach [Cirtita i Glaser-Segura 2012]¹³.

Istnieje potrzeba przyjęcia usystematyzowanego podejścia badawczego do problematyki zarządzania przesyłem partii produktowych w rurociągach transgranicznych, w szczególności do modelowania jego sprawnego działania. Nie zostały przedstawione i zidentyfikowane do tej pory kryteria i mierniki sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych przy wykorzystaniu dostępnych narzędzi IT. Nie ma także całościowych opracowań sprawnego działania - nie istnieją modele, które wskazywałyby na krytyczne parametry procesu transportu paliw przy dążeniu do intensyfikacji zdolności przesyłowych. Na poziomie zastosowań praktycznych również obserwuje się pilną potrzebę uporządkowania działań w postaci przyjęcia zintegrowanego modelu zarządzania w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw. Podejmowane w tej mierze liczne zabiegi zorientowane są na osiągnięcie strategicznych celów konsorcjów paliwowych, tj. maksymalizację zysku, wzmocnienie pozycji rynkowej, zwiększenie stopnia dostosowania do warunków otoczenia czy likwidację przestojów w przepływie partii produktowych.

Rurociągowy transport międzynarodowy w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw niesie za sobą - ze względu na swoją wagę gospodarczą - ważne wyzwania badawcze. W wyniku oceny sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach możliwe jest wskazanie priorytetowych działań

¹³ Uwzględniając wyżej wymienione czynniki można stwierdzić, że sprawne zarządzanie przesyłem partii produktowych w rurociągach transgranicznych powoduje zwiększenie zysku. Amolo [2002] zauważył, że większość firm naftowych była ograniczana w realizacji celów operacyjnych. Główne ograniczenia zostały zidentyfikowane we współdzielonej infrastrukturze przesyłowej i prawnych uregulowaniach państw.

prowadzących do sprawnego przesyłu partii produktowych z uwzględnieniem minimalizacji ryzyka wystąpienia awarii, zakłóceń i przerw w dostawach paliw¹⁴.

Hipotezy i cele badawcze

Praca, co wyraźnie wskazują dotychczas poczynione uwagi, w głównej mierze ma charakter projektowy. Głównym celem rozprawy jest opracowanie modelu zarządzania integralnością przesyłu partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw. Model uwzględnia kryterium maksymalizacji niezawodności przyływu, a więc minimalizacji liczby awarii, zagrożeń i zakłóceń dostaw. Pomiar, wskazanie mierników i kryteriów sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych przez operatorów międzynarodowych rurociągów w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw to podstawowe instrumenty pojęciowe konstrukcji i opisu całościowego modelu zarządzania integralnością rurociągów. Sprawne zarządzanie integralnością przesyłu partii produktowych stanowi „platformę komunikacyjną” pomiędzy wynikami analiz działań techniczno-technologicznych (lista rankingowa działań), a korzyściami biznesowymi dla konsorcjów naftowo-paliwowych płynących z podjęcia sprawnych działań.

Dla skutecznej realizacji podstawowych celów badawczych konieczne stało się prawidłowe rozpoznanie i ocena zagrożeń występujących na poziomie konstrukcji infrastruktury przesyłowej. W stopniu wyłącznie niezbędnym przedstawione zostaną charakterystyczne zjawiska hydrauliczne prowadzące do awarii rurociągu, problematyka indywidualnych uwarunkowań rurociągów transgranicznych (tranzyt, transport, prawa drogi)¹⁵ oraz procesy sekwencjonowania tzw. batchy (partii produktowych) i planowania nominacji (zamówień) w procesie transportowym.

¹⁴ Istotną determinantą modelowania sprawności zarządzania tranzytem partii produktowych dotyczy uwzględnienia nowych wyzwań, którym stawiają czoła operatorzy rurociągów przesyłający paliwa w rurociągach międzynarodowych.

¹⁵ Tranzyt rurociągowy w odróżnieniu od transportu rurociągowego polega na transporcie partii produktowej z jednego państwa do drugiego państwa przez państwo niezależne „suwerenne”, przy czym suwerenne państwo tranzytowe to państwo, które uczestniczy w procesie transportu jedynie w sposób bierny, tzn. nie pełni funkcji ani punktu nadania, ani odbioru, a jedynie oddaje do użytku infrastrukturę rurociągową znajdującą się na jego terytorium do celów transportowych między sąsiadującymi państwami, pobierając w zamian opłatę tranzytową za udostępnienie magistrali przesyłowych (choć ma pełną kontrolę nad produktem znajdującym się wewnątrz infrastruktury przesyłowej znajdującej się na terytorium tego państwa).

Głównemu celowi badawczemu podporządkowane są instrumentalnie szczegółowe cele badawcze. Opis określonych, złożonych zależności dotyczących procesu modelowania sprawnego działania rurociągów przesyłowych, kwantyfikacja i ocena determinant ryzyka wymaga wcześniejszych rozstrzygnięć badawczych w sprawie:

- określenia wpływu czynników technicznych i ekonomicznych na stan bezpieczeństwa przesyłu i sprawne zarządzanie przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych - z uwzględnieniem obowiązujących struktur, procedur oraz stosowanych rozwiązań systemowych;
- określenia prawidłowości występujących w procesie transportu paliw płynnych w rurociągach;
- klasyfikacji metod sprawnego zarządzania integralnością rurociągu;
- identyfikacji kluczowych wskaźników (charakterystycznych i krytycznych parametrów zarządzania przepływem) oraz opracowanie wytycznych sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych.

Praca badawcza nad modelem zarządzania integralnością przesyłu partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw oparta została na przekonaniu, które można przedstawić przy użyciu następującej hipotezy:

Hipoteza 1. *Sprawność zarządzania przesyłem partii produktowych w rurociągach transgranicznych jest niska ze względu na brak uwzględnienia rozkładu czynników ryzyka.*

W pracy omówiono szereg ważnych powodów, dla których sprawność zarządzania przesyłem partii produktowych należy podnieść. Wskazano pilną potrzebę opracowania modelu sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach, opartego na ujęciu zasobowym i ilościowym. Modelu uwzględniającego algorytmy i schematy postępowania oparte na konstrukcji macierzy oceny ryzyka oraz określeniu pozycji rankingowej działań priorytetowych.

Utrzymanie wysokich standardów sprawności działań, w wyniku podejścia do zarządzania ryzykiem, umożliwia podejmowanie racjonalnych decyzji uwzględniających dopuszczalny poziom ryzyka w procesie przepływu partii produktowych w rurociągach transgranicznych.

Zunifikowany teoretyczny formalizm modelowania sprawnego działania w zarządzaniu przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych pozwala ustalić poziom ryzyka zagrożenia dostaw partii produktowych w konkretnym segmencie rurociągowym.

Pełna lista zadań będąca wynikiem modelu sprawnego działania stwarza transparentność i poprawność podejmowanych strategicznych decyzji zarządczych w szczególności odnośnie pilnej potrzeby odnowy eksploatowanych rurociągów.

Opracowanie wytycznych sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w transgranicznym transporcie rurociągowym pozwala określić sposób minimalizacji liczby zakłóceń i nieszczelności w infrastrukturze przesyłowej.

Zaawansowane rozwiązania technologiczne usprawniają zarządzanie przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw. Wspomagają integrację działań operacyjnych, w szczególności zapewniają lepszy wynik finansowy konsorcjów paliwowych, zwłaszcza redukcję kosztów operacyjnych oraz efektywne zarządzanie ryzykiem.

Takie postawienie problemu i sformułowanie celu badawczego wymaga, dla swej realizacji, interdyscyplinarnego podejścia. Efektem pracy badawczej jest bowiem, uwzględniający aspekty ekonomiczne i technologiczne, nowatorski i zunifikowany model sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych. Dla realizacji stawianych w pracy celów badawczych konieczne stało się gruntowne przygotowanie merytoryczne zarówno z nauk ekonomicznych, jak i nauk technicznych. Mamy tu do czynienia bowiem z wieloma kwestiami technicznymi, które warunkują sposób zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych (warunki brzegowe). Autorka jest zarówno absolwentką Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, jak i Politechniki Poznańskiej, a ponadto ma praktyczne doświadczenie międzynarodowe w sektorze naftowo-paliwowym. Znajomość zagadnień ekonomicznych i technicz-

nych w połączeniu z posiadaną współczesną wiedzą z zakresu międzynarodowego doświadczenia praktycznego w sektorze naftowo-paliwowym umożliwiła w decydującym stopniu przeprowadzenie szczegółowych badań oraz konstrukcję modelu. Propozycja niniejsza wskazuje na ważność tematu pracy i stanowi jedno z pierwszych takich podejść badawczych w skali kraju.

Zakres rozprawy i metody badawcze

Niniejsza rozprawa dotyczy procesu zarządzania przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw, głównie w Europie oraz na Bliskim Wschodzie (np. Kuwejt). Praca uwzględnia globalny zakres przestrzenny opisywanych zjawisk, zważywszy, że przedmiotem badań są rurociągi transgraniczne, międzynarodowe sieci przesyłowe, a także tranzytowe rurociągi krajowe. Zarządzanie przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych oraz modelowanie ich sprawnego działania to kluczowy obszar zagadnień badawczych w zakresie nie tylko skuteczności procesów rurociągowego przesyłu, ale i konkurencyjności przedsiębiorstw naftowo-paliwowych.

Metody badawcze obejmują symulacje numeryczne oraz nowoczesne metody, jak np. (*data mining*). W celu zaprojektowania systemu rurociągowego przesyłu partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw wykorzystano metodę elementów skończonych MES¹⁶ (*ang. Finite Element Method FEM*) opartą na różniczkowaniu równania zachowania energii, momentu pędu i masy oraz różnicową metodę objętości kontrolnych - metodę bilansów elementarnych MBE (*ang. Control Volume Method*) opartą na całkowaniu równania zachowania energii, momentu pędu i masy oraz metodę elementów brzegowych (MEB) (*ang. boundary element method BEM*). Ponadto, w celach modelowania matematycznego procesu transportu posłużono się podstawowymi zależnościami hydraulicznymi i termodynamicznymi, tj. równaniem bilansu masy, pędu i ener-

¹⁶ Jest narzędziem matematycznym, stosowanym do obliczeń inżynierskich, które pozwala przekształcić zbiór równań różniczkowych opisujących zachowanie czy właściwości jakiegoś ciągłego medium na układ równań nieliniowych.

gii, uwzględniono również warunki brzegowe i początkowe uruchomienia partii paliwowych.

Przyjęta metodologia postępowania badawczego została zbudowana w oparciu o póhilościowe metody oceny ryzyka. Podczas analizy i oceny ryzyka zostały uwzględnione wszystkie przewidywalne mechanizmy powstawania uszkodzeń, awarii i zakłóceń w rurociągach *onshore* i *offshore*. Zestaw odpowiednich czynników wpływających na prawdopodobieństwo wystąpienia awarii oraz ich konsekwencji jest dostosowany do otoczenia rurociągu, tj. brany jest pod uwagę ich wpływ na bezpieczeństwo pracy, środowisko, gospodarkę, a także wizerunek firmy. Wyniki oceny integralności rurociągu są następnie wykorzystane do wykreślenia całkowitego ryzyka w macierzy oceny ryzyka sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych poprzez określenie kryteriów (poziomów) akceptacji ryzyka. Z tego względu **macierz oceny ryzyka** jest podstawowym narzędziem budowy planu zarządzania integralnością rurociągu. Dalej, na podstawie utworzonego planu dokonuje się całkowitej oceny ryzyka występujących niesprawności (zakłóceń, awarii i uszkodzeń) dominujących w każdej grupie.

Ustalanie priorytetów działań za pomocą macierzy oceny ryzyka dostarcza mechanizmu systematycznego określania i uchwycenia ryzyka związanego z działaniami operacyjnymi w zakresie przepływu partii produktowych w rurociągach transgranicznych. W wyniku listy rankingowej działań o krytycznym znaczeniu możliwe jest podjęcie operacyjnych i strategicznych decyzji zarządczych i utworzenie planu integralności rurociągu w celu zapewnienia sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych. Metodologia opracowywania macierzy oceny ryzyka tworzy logiczny proces ustalania priorytetów, sortowania i analizy listy czynności usprawniających zarządzanie przesyłem paliw. Dzięki temu możliwe jest w efekcie uniknięcie awarii, zakłóceń i przestojów w dostawach paliw, a także wybór alternatywnych, niezagrażonych awarią tras przesyłowych.

Układ i treść pracy

Ramowy plan pracy obejmuje cztery rozdziały. Pierwszy rozdział poświęcony jest omówieniu znaczenia przesyłowego transportu paliw płynnych we współczesnej gospodarce światowej z uwzględnieniem makroekonomicznego wymiaru postępu technologicznego w branży transportu paliw, a także ekonomicznego wymiaru procesu planowania w logistyce paliw. Celem rozdziału jest zwięzłe zapoznanie czytelnika z charakterystyką łańcucha dostaw w sektorze naftowo-paliwowym: *upstream*, *midstream* i *downstream*. Sprecyzowanie sektora *downstream* paliwowego łańcucha dostaw jako obszaru właściwego dla omawianej tematyki pracy zarządzania przepływem partii produktowych¹⁷. Omówiono w nim zaawansowane praktyki inżynierskie i systemy informatyczne zarządzania rurociągami.

Drugi rozdział stanowi ocenę parametryczną konstrukcji magistral przesyłowych z uwzględnieniem analizy zarządzania ryzykiem oraz zawiera opis istotnych zależności występujących w procesie transportu paliw. Dokonano w nim przeglądu konstrukcji magistral przesyłowych i ich uwarunkowań eksploatacyjnych. W rozdziale tym zawarty został opis partii produktowych, w tym paliw płynnych transportowanych rurociągami transgranicznymi oraz przedstawiono zjawisko bilansowania nominacji paliwowych - ich sekwencjonowania oraz harmonogramowania.

Trzeci rozdział poświęcony jest opisowi przesłanek budowy modelu przesyłu paliw. Przedstawione zostały w nim warunki i kryteria modelowania matematycznego hydraulicznych procesów transportowych, wykorzystujących współczesne, zaawansowane systemy informatyczne do analizy i obróbki danych. Opisano funkcjonalność podstawową i zaawansowaną informatycznych systemów monitoringu i nadzoru procesu przepływu partii produktowych w rurociągach (*ang. Computational Pipeline Monitoring CPM*). Rozdział ten zamyka prezentacja kryteriów sprawności zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych: kwantyfikacja i ocena determinant sprawności i ryzyka (w tym kryteria

¹⁷ Partie produktowe to gotowe produkty naftowe, tj. benzyny silnikowe, oleje napędowe, oleje opałowe, paliwo lotnicze itp., które przynależą do sektora *downstream* paliwowego łańcucha dostaw.

pomiaru i analiza metod oceny).

Ostatni, czwarty rozdział stanowi podsumowanie wyników analiz poprzednich trzech rozdziałów. Przedstawiono w nim model sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych. Uwzględniono przesłanki budowy modelu matematycznego dla celów symulacji oraz kryteria sprawności działania (sprecyzowanych w rozdziale trzecim).

Poznawcze i praktyczne walory rozprawy

Konkluzje, wnioski i rekomendacje wynikające z przeprowadzonych badań mogą stanowić podstawę wyjściową do dalszych badań naukowych. Wkład naukowy w zakresie ekonomiki transportu dotyczy tych elementów, które w sposób bezpośredni i usystematyzowany odnoszą się do najważniejszych zagadnień związanych ze zjawiskiem zarządzania przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw w rurociągach transgranicznych. Wyniki badań mają charakter interdyscyplinarny i wskazują szerokie możliwości ich wykorzystania zarówno na poziomie teoretycznym, jak i na poziomie praktycznym. Zaprezentowana koncepcja pomiaru sprawności łańcucha dostaw ma swoje odniesienia teoretyczne i poprzez swoje zdolności predykcyjne może mieć zastosowanie w konkretnych procesach występujących w przemyśle naftowo-paliwowym.

Przeprowadzone badania, w zakresie zarządzania przesyłem partii produktowych w rurociągach transgranicznych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw mogą stanowić bazę do przeprowadzenia kolejnych analiz w zakresie poszukiwania jeszcze lepszych sposobów modelowania jego sprawności działania. Praca badawcza w tym względzie dostarcza interesujących wskazówek - wskaźników i kryteriów pomiaru sprawności działania, które również mogą być wykorzystane przy projektowaniu właściwego oprogramowania przez firmy dostarczające zaawansowane systemy sterowania i nadzoru pracy rurociągów¹⁸.

Modelowanie sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w ru-

¹⁸ Wyniki badań mają zastosowanie w podejmowaniu optymalnych decyzji przez decydentów w organizacjach i instytucjach publicznych oraz rządowych.

rociągach transgranicznych ma swoje implikacje praktyczne - znajduje zastosowanie wśród operatorów rurociągowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw. Przeprowadzone badania mają walor aplikacyjny dla potencjalnych inwestorów w branży naftowo-paliwowej. Wspierają one kadre menedżerską i dyrektorów ogniw paliwowego łańcucha dostaw w przemyśle naftowym (kierowników terminali, rafinerii, odcinków krajowych rurociągów tranzytowych). Dostarczają narzędzi oceny warunków lokalnych, kluczowych czynników sukcesu i wyzwań charakterystycznych dla międzynarodowego środowiska biznesowego sektora paliwowego. Konkluzje płynące z pracy przyczyniają się do zwiększenia sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw.

Przedstawiony w pracy model sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych może być na poziomie praktycznym wykorzystany w różnorodny sposób przez kadre menadżerska. Wspiera on proces podejmowania decyzji dotyczących wyboru trasy tłoczeń, a w sytuacjach kryzysowych i inwestycyjnych, umożliwia podjęcie trafnych decyzji dotyczących m.in. naprawy infrastruktury przesyłowej lub jej rozbudowy.

Rozdział 1

Przesyłowy transport paliw we współczesnej gospodarce światowej

1.1 Zarządzanie łańcuchem dostaw w przemyśle naftowo-paliwowym

1.1.1 Makroekonomiczny wymiar sektora energetycznego w gospodarce narodowej

W XXI wieku trudno wyobrazić sobie rozwój przemysłu naftowo-paliwowego bez wprowadzania i wykorzystywania nowoczesnych technologii i innowacji technologicznych. Zarządzanie przesyłem partii produktowych w rurociągach transgranicznych to wyścig technologiczny mający swoje ogromne konsekwencje makroekonomiczne. Finansowy wymiar tych zabiegów wiąże się z procesem modelowania sprawnego zarządzania przesyłem jak największego wolumenu paliw z rafinerii do odbiorców. Nowoczesne zarządzanie przesyłem partii produktowych przyczynia się do budowy przez konsorcja naftowo-paliwowe swoich pozycji ekonomicznych i strategicznych w całym sektorze, dotyczy to rynków paliwowych o za-

sięgu krajowym jak i międzynarodowym. Kraje, których gospodarka narodowa jest silnie uwarunkowana sytuacją sektora energetycznego, w tym szczególnie pozycją przemysłu naftowo-paliwowego i jego wysokim udziałem w PKB, muszą stawić czoła wyzwaniom sprawnego zarządzania przesyłem rurociągowym partii produktowych. Sektor naftowo-paliwowy należy do kluczowych gałęzi przemysłowych, ma istotny wpływ na wskaźniki wzrostu gospodarczego i stabilność makroekonomiczną państw. Przemysł naftowo-paliwowy charakteryzuje się wysokim poziomem skupienia kapitału, a jego wpływ na zatrudnienie jest często pomijany w analizach. Według *American Petroleum Institute* szacuje się, że przemysł naftowo-paliwowy w USA zapewnia, w sposób bezpośredni i pośredni, ponad 9 milionów miejsc pracy (około 5% całkowitego narodowego zatrudnienia) [*Energy for Economic Growth* 2012]. Opis wymiaru ekonomicznego i identyfikacja udziału przemysłu naftowo-paliwowego w gospodarce narodowej została już licznie poruszana w literaturze przedmiotu [Bank 2004a; Bank 2004b; Bank 2004c; Bank 2006; Bank 2007; IMF 2007; CERA 2012]. Rola sektora naftowo-paliwowego w fiskalnych przychodach państwa poddana była gruntownej analizie w [Ustinova, Kuboniwa i Tabata 2005; Kumah i Matovu 2007; Jouko 2003]. Międzynarodowa rola CIS źródeł energetycznych omówiona została przez [Agency 2007; Rudiger 2005; Rudiger 2006; Rudiger 2007; Leonid 2010; Ustinova i in. 2005; Merlevede, van Aarle i Schoors 2007]. Prace te pokazują, że sektor naftowo-paliwowy, poza bezpośrednim udziałem w PKB gospodarki narodowej, jest głęboko powiązany z innymi gałęziami przemysłu. Sektor ten, o czym często wspomina się, należy do największych, przemysłowych konsumentów wody, a jego potrzeby stanowią 40% całkowitego zużycia wody w Stanach Zjednoczonych¹ [CERA 2012].

Przemysł naftowo-paliwowy ma wpływ na zrównoważony wzrost i tempo rozwoju gospodarki światowej - począwszy od zwiększania wydajności zasobów energetycznych, przez tworzenie nowych miejsc pracy, a kończąc na ochronie środowiska. Kluczowymi czynnikami w utrzymaniu zasobów naftowo-paliwowych są:

¹ Podobną sytuację obserwujemy w Polsce, np. lokalizacja rafinerii w Płocku została wybrana ze względu na bardzo szerokie koryto Wisły w tym miejscu, umożliwiające doskonały dostęp do wody zarówno w celach rafinacji (m.in. procesu krakingu), ale i chłodzenia. Obszar miasta Płock jest około dwukrotnie mniejszy niż tereny zajmowane przez rafinerię.

- trwałe inwestycje;
- zwiększona wydajność produkcyjna i dystrybucyjna;
- zastosowanie nowoczesnych, dostępnych technologii;
- wsparcie prawne i społeczne.

Przegląd silnych i słabych stron gospodarowania ropą naftową i jej produktami został w sposób kompleksowy przedstawiony w tabeli 1.1 [Czaplicka-Kolarz, Siemek, Chmielniak, Dubiński, Maranda, Miksch, Pinińska, Probierz, Rosik-Dulewska, Roszkowski i Tajduś 2007].

Tabela 1.1: Analiza gospodarowania ropą naftową.

SILNE STRONY	SILNE STRONY
PERSONEL	
wysoki poziom kadr przemysłu, kształcenia specjalistycznego i zaplecza naukowo-badawczego	brak polityki przyciągania i zatrzymywania najzdolniejszej młodej kadry
MARKETING	

Tabela 1.1: Analiza gospodarowania ropą naftową.

SILNE STRONY	SILNE STRONY
<p>- komfort użytkowania paliw węglowodorowych, a zwłaszcza:</p> <ul style="list-style-type: none"> • łatwość regulacji procesu; • szybki rozruch; • możliwość optymalnego dostosowania do potrzeb odbiorcy; • niskie koszty obsługi; <p>- udział przemysłu w licznych imprezach targowych</p> <p>- rozwój działów marketingu w branży</p> <p>- reklama</p>	<p>- duży stopień uzależnienia od jednego dostawcy węglowodorów z importu²</p> <p>- specyfika użytkowania ropociągów i rurociągowych produktowych powodująca konieczność:</p> <ul style="list-style-type: none"> • wykonywania zabezpieczeń przed oddziaływaniem ropy naftowej i jej produktów z nieszczelności; • doprowadzania do pomieszczeń dodatkowego powietrza w technologiach otwartego spalania. <p>- brak swobody wyboru dostawcy gazu ziemnego dla wszystkich odbiorców</p> <p>- stosunkowo małe oddziaływanie marki polskiej na rynku krajowym</p>
INNY POTENCJALNY OBSZAR POSZUKIWANIA SILNYCH I SŁABYCH STRON	
<p>- korzystna struktura geologiczna umożliwiająca tworzenie nowych podziemnych magazynów ropy i paliw ciekłych w kavernach solnych,</p> <p>- mały negatywny wpływ użytkowania ciekłych paliw węglowodorowych na środowisko</p>	
FINANSE	

² W Polsce około 95% ropy naftowej importowane jest z Rosji.

Tabela 1.1: Analiza gospodarowania ropą naftową.

SILNE STRONY	SILNE STRONY
- dobra kondycja ekonomiczna przedsiębiorstw sektora naftowego	<p>wysokie i niestabilne ceny surowców węglowodorowych</p> <p>- długi cykl inwestycyjny w przemyśle naftowym, związany z barierami formalnymi (administracyjnymi i udziałem społeczeństwa w procesie decyzyjnym)</p> <p>- wysokie koszty inwestycji w przemyśle naftowym</p> <p>- wysokie koszty związane z koniecznością dochowania wymagań w zakresie ochrony środowiska, w tym konieczność likwidacji szkód środowiskowych powstałych w odległej przeszłości</p> <p>- wysoki podatek akcyzowy na paliwa</p> <p>- konieczność opłat za moc zamówioną i związane z tym koszty technologii stosowanych okresowo</p>

Źródło: [Czaplicka-Kolarz i in. 2007].

Zarządzanie przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych stanowi integralną część paliwowego łańcucha dostaw. Obejmuje on transport krajowy i międzynarodowy, zamówienia, obsługę zapasów, import/eksport oraz zastosowanie technologii informacyjnej [Lee i Billington 1992]. W łańcuchu dostaw, wiodące w tej branży spółki naftowo-paliwowe, są powiązane zarówno ze swoimi bezpośrednimi dostawcami surowców, jak i z firmami będącymi dalszymi ogniwami w procesie dystrybucji produktów naftowych, ale i również z przedsiębiorstwami, zajmującymi się przepływem informacji i kapitału. Wprowadzane międzynarodowe standardy dla umów naftowych, elastyczność składanych zamówień, zachowanie bezstronności i bezpieczeństwa energetycznego, kształtowanie

wolnego rynku stanowią postulowany³ kierunek stymulujący bezpieczeństwo i rozwój tego sektora gospodarczego. W praktyce jednak postulaty te są trudne do osiągnięcia. Struktura właścicielska infrastruktury przesyłowej, lokalizacja zasobów surowcowych oraz uwarunkowania geopolityczne prowadzą do powstawania lokalnych rynków monopolistycznych. Ze względów geograficznych i geopolitycznych często zdarza się, że przesył na trasie tranzytowej musi uwzględniać występujące elementy monopolu, np. kraj tranzytowy, który wykorzystuje pozycję monopolisty, poszukuje okazji do maksymalizacji zysków oraz uzyskania wyższej stopy zwrotu z inwestycji [Sharkey 1982; Lysons i Farrington 2006].

1.1.2 Rola paliwowego łańcucha dostaw

Strukturę łańcucha dostaw, typ i poziom relacji między panterami oraz koordynację operacyjną w obrębie łańcucha dostaw przedstawia rysunek 1.1. Zarządzanie łańcuchem dostaw (*ang. supply-chain management SCM*)⁴ można zdefiniować jako konfigurację, koordynację i ciągłą poprawę sekwencyjnie zorganizowanego zestawu operacji [Gołemska 2009; Sławińska i Szymczak 2010]. Celem zarządzania łańcuchem dostaw jest zapewnienie maksymalnej obsługi klienta przy możliwie najniższych kosztach. Klientem jest każdy, kto wykorzystuje produkt końcowy łańcucha dostaw.

Celem strategicznym konsorcjów naftowo-paliwowych jest maksymalizacja zysku, umocnienie pozycji na rynku, zwiększenie stopnia dopasowania do warunków otoczenia, likwidacja przestojów paliwowych, konieczność redukcji kosztów wzdłuż łańcucha dostaw [Omonbude 2007]. W wyniku poprawy systemów informatycznych i technologii komunikacyjnych na każdym etapie działalności operacyjnej istnieje obecnie możliwość lepszego koordynowania działania łańcucha dostaw w przemyśle naftowo-paliwowym [Burcher i in. 2006].

W sektorze naftowo-paliwowym obserwujemy wyczerpywanie się dotychczasowych zasobów surowcowych. W rzeczywistości zasoby nie są przyczyną ogranicze-

³ O unormowaniach prawnych dotyczących transportu i magazynowania paliw płynnych można przeczytać w m.in. [Agency 2007; ESMAP 2003; Urząd Regulacji Energetyki]

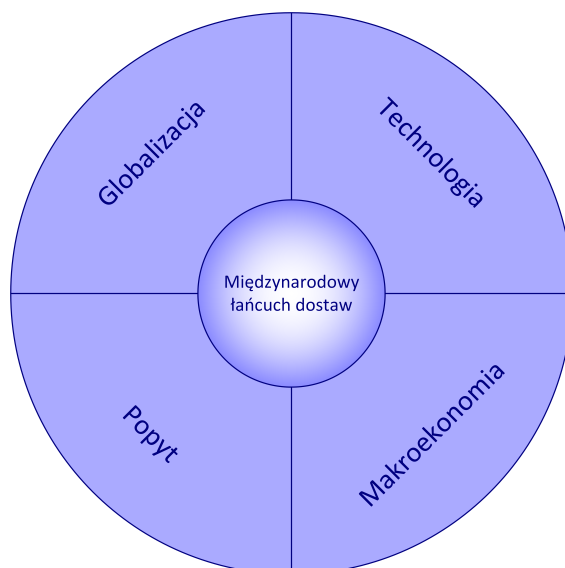
⁴ Według E. Gołemskiej [2010], łańcuchy dostaw zróżnicowane są według: długości; szerokości; liczby i rodzaju miejsc nadania; liczby ogniw tego łańcucha, producentów i dystrybutorów.

Zarządzanie łańcuchem dostaw	
Konfiguracja	Struktura łańcucha dostaw: baza dostawców dla sektora naftowego, pionowa (jedna jednostka odpowiedzialna za decyzje) lub integracja pozioma (zadania przydzielane poszczególnym partnerom łańcucha dostaw), ile i jakie działania są zlecane na zewnątrz, rodzaj i forma kanału dystrybucji
Relacje	Typ i poziom relacji między partnerami (lub działaniami firm) określone przez wzajemnie wymienianą informację i jej treść. W prostej formie jest to wymiana informacji o zawieranych transakcjach (wielkość, ceny). Wzajemne relacje mogą być rozszerzone o współdzielenie strategii informacjami finansowymi, planami inwestycyjnymi.
Koordinacja	Koordinacja operacyjna w obrębie łańcucha dostaw, np. koordynacja przepływu materiałów, koordynacja zarządzania zapasami, wielkość produkcji, prognozowania, harmonogramu produkcji. Podejmowanie decyzji o metodach i zakresie koordynacji w łańcuchu dostaw jest działalnością operacyjną.

Rysunek 1.1: Główne elementy pojęciowe zarządzania łańcuchem dostaw.
Źródło: [Gołębska 2009].

nia dostaw. Biorąc pod uwagę ogromny potencjał dostępnych i znanych rezerw, rosnące możliwości odzyskania surowca z istniejących pól przy użyciu nowych technologii oraz potencjalne odkrycia, zwiększa się możliwość zaspokojenia potrzeb na ropę naftową w gospodarce światowej.

Zgodnie z prognozami badań przemysłowych, istnieje wystarczająco dużo pozostałych zasobów, aby utrzymać obecny poziom produkcji w ciągu co najmniej najbliższych 50 lat [Arckhipov, Eliseeva i Galkina 2013]. Głównym wyzwaniem dla przemysłu naftowego nie jest dostępności zasobów ropy naftowej, ale wprowadzenie, z uwzględnieniem wpływu otoczenia na międzynarodowy łańcuch dostaw (rysunek 1.2), rezerw do produkcji i dostarczania produktów końcowych konsumentom z minimalnym możliwym kosztem. Odpowiedni program zarządzania łańcuchem dostaw umożliwi ten cel.



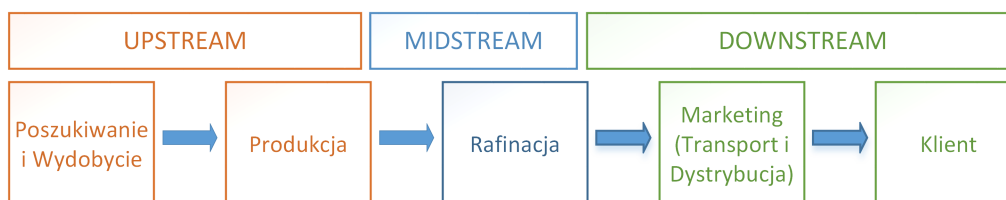
Rysunek 1.2: Wpływ otoczenia na międzynarodowy łańcuch dostaw.

Źródło: [Gołębska 2010].

1.1.3 *Upstream-midstream-downstream*. Zintegrowany paliwowy łańcuch dostaw

Główne ogniwa zintegrowanego łańcucha dostaw w przemyśle naftowo-paliwowym (przedstawione na rysunku 1.3) dzieli się na trzy sektory, tzw. triadę energetyczną:

1. *upstream*: poszukiwanie/wydobycie i produkcja;
2. *midstream*: przesył, magazynowanie, przetwarzanie surowca;
3. *downstream*: rafinacja, dystrybucja i marketing.



Rysunek 1.3: Główne ogniwa zintegrowanego łańcucha dostaw sektora naftowo-paliwowego.

Źródło: [Chim 2007].

Sektory *upstream*, *midstream* i *downstream* łącznie stanowią paliwowy łańcuch dostaw. Sektor naftowo-paliwowy charakteryzuje się dużą grupą dostawców. Na każdym etapie łańcucha dostaw dokonuje się wiele operacji. Na przykład, wydobycie obejmuje badania sejsmiczne, geofizyczne i geologiczne. Produkcja obejmuje wiercenie i wydobycie z rezerwuarów. Produkt rafinacji jest elementem wejściowym fazy marketingu. Marketing i sprzedaż skupia się na dystrybucji detalicznej benzyny, oleju silnikowego i innych produktów rafinacji. Rozważania dotyczące roli i znaczenia logistyki w koordynacji przepływów międzynarodowych są przedstawione w [Szymczak 2004]. Na każdym etapie uczestnikiem procesu może być oddzielna firma lub jednostka zintegrowanego przedsiębiorstwa. Powszechnym problemem dla wszystkich firm-ogniw łańcucha dostaw w branży naftowo-paliwowej jest ekonomiczność i korzystność wyników podjętych działań: zysk kontra koszty. Niewiele gałęzi przemysłu może korzystać z maksymalizacji efektywności łańcucha dostaw bardziej niż sektor ropy naftowej [Gunasekaran i in. 2004]. Niewiele gałęzi przemysłu wymaga codziennych dostaw produktu w dużych ilościach na rynki krajowe i globalne, zarówno na lądzie (projekty rurociągowie *onshore*), jak i morzu (projekty rurociągowie *offshore*).

W przemyśle naftowo-paliwowym niemal wszystkie znaczące operacje są planowane z wyprzedzeniem. Celem zarządzania łańcuchem dostaw jest zapewnienie maksymalnej obsługi klienta przy możliwie najniższych kosztach [Monczka, Trent i Handfield 1998; Neely, Gregory i Platts 1995]. Wśród ogniw łańcucha dostaw branży naftowej operacje poszukiwawcze tworzą wartość poprzez analizę sejsmiczną i identyfikację potencjalnych złóż surowcowych. Innymi słowy podczas operacji produkcyjnych wykorzystuje się wyniki operacji poszukiwawczych. W podobny sposób rafinacja jest klientem produkcji, marketing jest klientem produktów rafinacji, natomiast konsumentem produktów rafinacji, takich jak benzyny, jest ostateczny klient.

Dla konsorcjów naftowo-paliwowych marża może być znacznie zwiększona, jeżeli wszystkim uczestnikom paliwowego łańcucha dostaw uda się dokonać za-

kupów w jednej walucie⁵. W sektorze *upstream* paliwowego łańcucha dostaw, gdzie dla wszystkich uczestniczących przedsiębiorstw produktem jest ropa naftowa⁶ zakres konkurencji jest ograniczony. Firmy poszukiwawcze i produkcyjne mogą różnicować swoją pozycję rynkową głównie w oparciu o zdolność do tańszego i efektywniejszego sposobu pozyskania ropy. Przedsiębiorstwa sektora *upstream* paliwowego łańcucha dostaw można więc opisywać pod wieloma aspektami (koszt i efektywność pozyskania produktu), jednak podstawowym kryterium różnicującym jest ich zdolność konkurencyjna w budowaniu strategii zarządzania paliwowym łańcuchem dostaw. We współczesnym świecie szybkość wymiany informacji oraz redukcja czasu reakcji firm na rynku paliwowym, zdolność do szybkiej odpowiedzi i wdrożenia rozwiązań w sprawach awaryjnych daje namacalny efekt zmniejszenia kosztów wzdłuż paliwowego łańcucha dostaw. Tradycyjnie, w badaniach operacyjnych, stosuje się podejście analityczne koncentrujące się na poprawie efektywności poszczególnych jednostek wzdłuż paliwowego łańcucha dostaw. Inne podejście, stosowane w sektorze naftowo-paliwowym, postuluje skupienie uwagi na poprawie wydajności całego łańcucha dostaw. Pierwszy wariant - podejście tradycyjne - jest podejściem indywidualistycznym, natomiast drugie stanowisko reprezentuje podejście holistyczne. Wybór podejścia, przy zachowaniu priorytetowego celu - ciągłej gotowości systemu do nieprzerwanego działania, uwzględnia przede wszystkim racjonalne przesłanki ekonomiczne, tzn. maksymalizację korzyści przy minimalnych kosztach. Celem zarządzania łańcuchem dostaw jest zapewnienie maksymalnej obsługi klienta przy możliwie najniższym koszcie [Gołemska i Szymczak 2004; Gołemska 2010; Chen i Paulraj 2004; Dempster i in. 2000]. Zarządzanie przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych to zbiór zintegrowanych i skoordynowanych czynności podejmowanych w obrębie sektora *downstream* paliwowego łańcucha dostaw.

⁵ Przewody rurowe są jednym z najważniejszych towarów dostarczanych do przemysłu naftowo-paliwowego. Są one zamawiane, produkowane, transportowane, magazynowane, przygotowywane, a następnie dostarczone do miejsca instalacji na polu naftowym. Zarządzanie tą częścią łańcucha dostaw może stanowić ważne wyzwanie dla większości firm naftowych, gdyż opóźnienie w dostawie elementów orurowania, okładzin, przewodów i innych akcesoriów, może spowodować przestój wiertniczy i w konsekwencji zwiększyć koszty operacyjne.

⁶ Z bardzo wąskim zróżnicowaniem parametrów fizykochemicznych.

1.1.4 Integracja wertykalna łańcucha dostaw i outsourcing

W przemyśle naftowo-paliwowym zachodzi konieczność stopniowej integracji działań skierowanych na osiągnięcie strategicznych celów konsorcjów paliwowych, do których należą [Chopra i Meindl 2004]:

- maksymalizacja zysku;
- umocnienie pozycji na rynku;
- zwiększenie stopnia dostosowania do warunków otoczenia;
- likwidacja przestojów przepływu partii paliwowych.

Rozwój techniczny i skutki globalizacji przemysłu naftowo-paliwowego wymuszają potrzebę zarządzania firmowym łańcuchem dostaw w zintegrowany i spójny sposób. Rozwój ten, w warunkach globalizacji handlu ropą naftową i gotowych produktów naftowych, konkurencji oraz dostępności technik informatycznych zakłada zwiększenie zapotrzebowania na sprawną i szybszą obsługę klienta. Analizując współczesny rynek możemy zaobserwować pewne, charakterystyczne zjawiska⁷.

Konfiguracja strategii łańcucha dostaw konsorcjów naftowo-paliwowych polega obecnie na przesunięciu granic ich działania i podniesieniu parametrów mających wpływ na budowę relacji klientów i dostawców. Waga przyjętej koncepcji zarządzania łańcuchem dostaw zależeć będzie od intensywności międzynarodowych przepływów między elementami systemu korporacyjnego [Szymczak 2004a].

⁷ Zużycie i wpływ starzenia się istniejących złóż naftowo-gazowych zmusza wiele firm do poszukiwań nowych złóż ropy naftowej w innych regionach. Te nowe miejsca znajdują się często w trudno dostępnych warunkach środowiskowych, np. na terenach arktycznych. Przykładem może być przesył ropociągiem Trans-Alaska w Kanadzie lub projektowany arktyczny rurociąg Zapolarie-Purpe w Rosji. Nowe poszukiwania złóż zmuszają firmy do zwiększania liczby i głębokości odwiertów, a także wymuszają penetrację terenów trudnych do eksploatacji (np. projekty *offshore*- projekty wydobywcze na morzu). Te zmiany mają wpływ na wzrost nie tylko trudności technicznych i operacyjnych, ale także kosztów i ryzyka związanego z eksploatacją nowych złóż. W odpowiedzi na wspomniane wyżej okoliczności, konsorcja naftowe generalnie odchodzą od strategii bycia tylko przedsiębiorstwami wydobywczymi. Zmierzają one w kierunku poszerzenia działalności o elementy zarządzających zapasami i rezerwuarami. Wspieranie wspomnianej tendencji, w przyjętej przez spółki naftowo-paliwowe strategii, wymaga wdrożenia projektów łączących wydobywanie i produkcję w jeden jednolity, zintegrowany, spójny i zrównoważony system wydobywania i przesyłu.

Normą staje się obecnie, że wydobycie i produkcja surowców są silnie ze sobą powiązane, a dotychczasowe podziały na niezależne obszary zostają zniwelowane.

Integracja wertykalna (pionowa) jest połączeniem jednego przedsiębiorstwa z drugim, któremu albo jedno przedsiębiorstwo sprzedaje produkt wyjściowy lub od którego kupuje produkty wejściowe⁸. Integracja pionowa charakteryzuje przemysł naftowo-paliwowy. Jak przedstawiono na rysunku 1.3, produkt wyjściowy etapu poszukiwań i wydobycia (złoże surowcowe) jest użytkowany w procesie produkcji. Wyrób etapu produkcji (wydobyta ropa naftowa) stanowi produkt wejściowy procesu rafinacji. Wyrób z rafinerii (produkt paliwowy) jest wprowadzany do kanału dystrybucji. Na tej podstawie wyraźnie można stwierdzić, że przemysł naftowo-paliwowy cechuje się integracją pionową przedsiębiorstw paliwowego łańcucha dostaw.

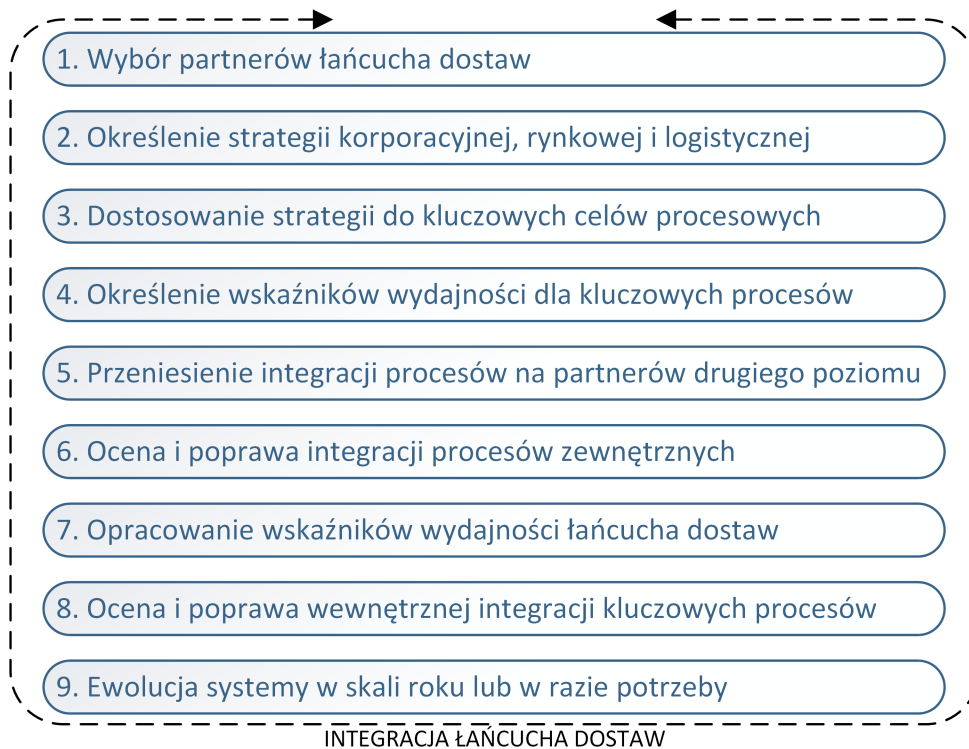
Przedsiębiorstwa naftowo-paliwowe tworzą jednocześnie **paliwowy łańcuch wartości dodanej**⁹ w zakresie swojej działalności. Zintegrowany wertykalnie paliwowy łańcuch wartości ostatecznie kończy się na jednym skonsolidowanym rachunku zysków i strat. Jedynym negatywnym aspektem integracji pionowej jest zwiększona ekspozycja na ryzyko finansowe związane ze wzrostem cyklu koniunkturalnego i recesją. Oczywiście jest, że jeżeli przedsiębiorstwo kontroluje większość aktywów w łańcuchu dostaw, wówczas w sposób nieunikniony ponosi również większe ryzyko i ciężar problemów gospodarczych związanych z powolnym w czasie procesem sprzedaży ropy naftowej i jej rafinowanych produktów w łańcuchu dostaw [Urbanowska-Sojkin i in. 2007].

Korzyści integracji wertykalnej w zintegrowanym paliwowym łańcuchu dostaw (rysunek 1.4) obejmują: lepszą kontrolę jakości rafinowanych produktów, większą koordynację działań wzdłuż łańcucha wartości, dostęp do nowych technologii

⁸ Wyrób jednej przedsiębiorstwa jest produktem wejściowym drugiego przedsiębiorstwa, będącego kolejnym ogniwem łańcucha dostaw

⁹ Koncepcja łańcucha wartości dodanej stworzona przez Michaela Portera przedstawia działalność przedsiębiorstwa jako ciąg czynności powiązanych ze sobą w logiczną całość, podejmowanych w czasie wytwarzania wyrobu finalnego lub usługi, prowadzących do uzyskania wartości dodanej. Autor wyróżnił dwa rodzaje czynności kreujących wartość: czynności podstawowe i czynności pomocnicze. Czynności podstawowe są bezpośrednio związane z wytworzeniem wyrobu finalnego lub usługi oraz ich sprzedażą czyli jest to podstawowy proces zachodzący w przedsiębiorstwie, obejmujący fizyczne wytwarzanie, sprzedaż, dostarczanie oraz obsługę produktu na rynku [Blaik i Matwiejczuk 2008; Urbanowska-Sojkin, Banaszyk i Witczak 2007].

(np. w dystrybucji fizycznej dóbr i przepływie strumieni usług lub wykorzystaniu „*know-how*” partnerów w łańcuchu dostaw oraz innych doświadczeniach o znaczeniu strategicznym), uwzględnienie korzyści z pozyskanych wyższych marż. Ostatecznie, poprzez wyważenie z jednej strony korzyści a z drugiej poniesionych kosztów, konsorcja paliwowo-naftowe i pozostali uczestnicy łańcucha dostaw mogą określić idealny poziom integracji pionowej. Spółka naftowo-paliwowa, która nie zdecyduje się na integrację pionową wciąż może próbować czerpać korzyści płynące z integracji wertykalnej poprzez zachowanie długoterminowej relacji z klientami i dostawcami.



Rysunek 1.4: Integracja łańcucha dostaw.

Źródło: [Chan i Qi 2003b]

Jeżeli zadania operacyjne w logistyce międzynarodowej są zdecentralizowane, uzależnione od uwarunkowań indywidualnych, możliwości uczestników sektorów

paliwowego łańcucha dostaw, to *outsourcing*¹⁰ może zapewnić znacznie lepszą wydajność i jakość paliwowego łańcucha dostaw. Decyzje wskazujące, które operacje wykonywane będą wewnątrz firmy, a które zlecane na zewnątrz, np. w formie *outsourcingu*, stwarzają możliwość uzyskania dodatkowych korzyści. Po pierwsze, *outsourcing* zapewnia przedsiębiorstwom sektora naftowo-paliwowego możliwość skoncentrowania się na ich głównych kompetencjach. Ponadto, umożliwia przedsiębiorstwom osiągnięcia zysku ze zlecanych usług bez ponoszenia kosztów stałych. Wreszcie, *outsourcingowane* działania sprzyjają tworzeniu zrównoważonego rozwojowi przedsiębiorstw sektora naftowo-paliwowego. *Outsourcing* stał się jednym z podstawowych form współpracy w budowaniu strategii globalnego paliwowego łańcucha dostaw. W sektorze naftowo-paliwowym najczęściej na zewnątrz zlecane są usługi wydobywcze, konstrukcyjne lub informatyczne, np. kontroli rurociągu i zdalnej detekcji wycieków.

Obecnie firmy naftowo-paliwowe poszukują nowych sposobów zmniejszenia całkowitych kosztów operacyjnych oraz poprawy efektywności i zwiększenia zysków z działalności. Dokonywanie niezbędnych ulepszeń, w wyniku optymalizacja paliwowego łańcucha dostaw, pozwala firmom na ugruntowanie pozycji międzynarodowej i jej zdolności konkurencyjnej¹¹ oraz uzyskanie wymiernych korzyści finansowych na rynku naftowo-paliwowym.

Wśród działań mających na celu maksymalizację efektywności zarządzania paliwowym łańcuchem dostaw często wykorzystuje się [Dempster i in. 2000; ?]:

- segmentację klientów w oparciu o preferencje produkcyjne;

¹⁰ Outsourcing to zlecenie zadań, które dotychczas były realizowane w przedsiębiorstwie, zewnętrznym usługodawcom. Polega na „przekazaniu zewnętrznym usługodawcom zgodnie z postanowieniami w umowie (kontrakcie) powtarzających się wewnętrznych zadań organizacji, związanych z ich realizacją pracowników, maszyn, urządzeń, wyposażenia, technologii i innych zasobów oraz kompetencji decyzyjnych dotyczących ich wykorzystania” [Greaver 1999] s.3. Outsourcing to forma współpracy, którą można potraktować jako rozwiązanie podejmowane w następstwie działań restrukturyzacyjnych. Przedstawiona przez P. Bendora-Samuela definicja outsourcingu prezentuje natomiast możliwość wykorzystania outsourcingu zarówno do pojedynczych usług (także funkcji pomocniczych), jak i w zakresie procesów gospodarczych realizowanych wcześniej samodzielnie przez zleceniodawcę [Bendor-Samuel 2003].

¹¹ Zdolności rywalizacji o korzyści związane z udziałem kraju w międzynarodowym podziale pracy [Gołemska 2009; Schorr 2001].

- dostosowanie kanałów dystrybucyjnych i tras tłoczeń do harmonogramu dostarczanych nominacji;
- obserwowanie trendów i prognoz rynkowych;
- zawiązywanie form długotrwałego partnerstwa (np. aliansów strategicznych, outsourcingu);
- wybieranie technologii, której korzyści wykorzystane mogą być wzdłuż całego paliwowego łańcucha dostaw.

Działania logistyczne są istotnym elementem łańcucha dostaw. Strategia rozwoju międzynarodowych układów kooperacyjnych uwzględnia pozycję konkurencyjną łańcucha dostaw, dlatego przedsiębiorstwa powinny wprowadzać elementy logistyczne do obranych strategii konkurencyjnej i marketingowej [Szymczak 2004b]. Zróżnicowanie potrzeb klientów powoduje poszerzenie wachlarza zamówień, a realizacja ich generuje konieczność optymalizacji powiązań łańcucha dostaw. W celu dostarczenia produktu paliwowego w określonym czasie, miejscu i wolumenie, konieczne jest dostosowanie konfiguracji sieci logistycznych do zdwersyfikowanych zamówień klientów. W sektorze naftowo-paliwowym szczególnie istotny jest proces efektywnej alokacji zasobów do dynamicznych zmian popytu zamówień. W reakcji na nawet niewielkie zmiany popytu na paliwa, zmiana poziomu zapasów paliw powoduje efekt tzw. byczego bicza¹² w paliwowym łańcuchu dostaw [Lee, Padmanabhan i Whang 1997; Forrester 2007].

Zarządzanie przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych wymaga od uczestników paliwowego łańcucha dostaw zintegrowania swoich decyzji z oczekiwaniami klientów i możliwościami dostawców [Holmberg 2002; ?]. Proces ten obejmuje również zarządzanie relacjami między przedsiębiorstwami.

¹² Efekt „byczego bicza” (zwany też efektem Forreстера) może być niebezpieczny dla producentów ropy naftowej i paliw płynnych z powodu nierentowności magazynowania większej ilości produktu. Cechuje się (i) dynamicznymi oscylacjami popytu zamówień i zapasów paliw, w górę i w dół. Proces ten przebiega w niekonwencjonalny sposób np. w wyniku konfliktów międzynarodowych; (ii) wzmocnieniem zmian i funkcji np. przy przełomie technologii wydobycia ropy naftowej ze skał łupkowych; (iii) opóźnieniem fazowym - szczyt jednego etapu ma tendencję do przesuwania się na szczyt etapu poprzedzającego np. w wyniku globalnej kumulacji popytu na określone paliwa w sezonie grzewczym np. oleju opałowego [Forrester 1958].

Relacje z klientem, jak i stosunki między przedsiębiorstwami, stanowią klucz do skutecznej koordynacji paliwowego łańcucha dostaw. **W celu zaspokojenia specyficznych wymagań klienta, ewaluacja całkowitej wydajności przesyłowej może być przeprowadzona poprzez dopasowanie jakości i wolumenu produktu oraz czasu i miejsca dostawy**[Ip, Chan i Lam 2011; ?].

Przy budowaniu relacji i powiązań między logistyką a strategią korporacji międzynarodowych w sektorze naftowo-paliwowym należy wziąć pod uwagę¹³ [Gołębska 2010]:

- tworzenie sieci logistycznej, ze szczególnym uwzględnieniem produkcji, a także wymagań rynku;
- uwzględnienie w budowaniu sieci zróżnicowania produktów oraz cyklu życia wyrobów;
- dywersyfikację procesów logistycznych, uzależnionych od produktowej lub geograficznej integracji łańcucha dostaw.

Szczególnie istotne w obliczu dynamiki procesów globalizacji i internacjonalizacji działalności oraz nasilonej konkurencji są modele zarządzania informacją, które w swojej tradycyjnej formie mogą nie być wystarczającego do odniesienia sukcesu rynkowego [Szymczak 2004b].

1.2 Rurociągi transgraniczne

Rurociągi transgraniczne (międzynarodowe, w tym tranzytowe) to linie przesyłowe, które przechodzą przez terytorium „suwerennego” kraju w celu dostarczenia ropy naftowej lub ich rafinowanych produktów na rynek energetyczny. Definiowane są jako rurociągi, których źródło¹⁴ znajduje się na terenie jednego państwa oraz których trasa przebiega przez jedno lub więcej państw.

Strukturalnie, rurociąg transgraniczny może przyjąć formę jednego z dwóch możliwych modeli [Vinogradov 2001]:

¹³ Koncepcja ta jest spójna z poglądami B. Schary’ego wyrażonymi w publikacji [Schary i Tage 2002].

¹⁴ Głowica lub interkonektor z innym systemem rurociągów.

- **serii połączonych rurociągów krajowych**, z których każdy stanowi oddzielną i samodzielną linię przesyłową. Każdy rurociąg krajowy jest regulowany przez prawo kraju, w którym się znajduje. Korzyścią tego rozwiązania dla *stron rurociągu* (właścicieli lub operatorów rurociągu) to ochrona ich interesów, w zależności od struktury własności projektu rurociągowego;
- **pojedynczej zintegrowanej jednostki**, która regulowana jest przez umowy międzyrządowe i handlowe (np. *Nordstream*).

Przykłady transgranicznych rurociągów naftowych i gazowych zostały zaprezentowane w tabeli 1.2.

Tabela 1.2: Transgraniczne rurociągi naftowe i gazowe.

Region Kaspijskiego	Morza	Pan Europeam Pipeline (PEOP) Nabucco Gazociąg południowo-kaukaski Trans Adriatic Pipeline (TAP) Kaspijskie konsorcjum paliwowe (CPC) White Stream Gazociąg Trans-Caspian Gazociąg Grecja-Włochy Rurociąg Posejdon
Bliski Wschód i Afryka Północna		Rurociąg Dolphin faza druga Rurociąg Iran-Pakistan-Indie (IPI) Rurociąg perski Gazociąg arabski Rurociąg Arish-Ashelon Rurociąg Greenstream
Rosja		Bluestream Nordstream Rurociąg OPAL SouthStream
Afryka		Transmed Galsi Medgaz NIGAL (gazociąg Trans-Saharan) Gazociąg zachodnioafrykański (WAGP)
Ameryka Południowa		Gasoducto del Sur

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [ESMAP 2003].

Istnieją trzy podstawowe podejścia definiujące charakter przesyłu rurociągami transgranicznym [ESMAP 2003]:

- sam rurociąg;

- handel międzynarodowy;
- transgraniczny tranzyt produktów paliwowych.

W Europie rurociągi międzynarodowe cechują się wspólną funkcją operacyjną zarządzania, realizowaną przez firmy co najmniej dwóch państw europejskich, tj. wdrażaniem i stosowaniem wspólnych, kompatybilnych technologii transportu i magazynowania, wspólnym sterowaniu rozległymi sieciami komputerowymi, co czyni je systemami eurologistycznymi¹⁵.

Transport rurociągowy jest najbardziej niezawodną, najbezpieczniejszą i najtańszą gałęzią transportu dużych ilości ropy naftowej i paliw gotowych (benzyna, olej napędowy, olej opałowy, LPG) z rafinerii do odległych terminali paliwowych [Omonbude 2007]. Jednocześnie jest to najwolniejszy (prędkość około 3-8 m/h) sposób transportu [Cerde 2008]. Rurociągi paliwowe transportują paliwa bez przerwy - przez całą dobę, o wszystkich porach roku i w każdych warunkach pogodowych.

Infrastruktura rurociągową jest nieodłącznym elementem paliwowego łańcucha dostaw, środkiem przemieszczania się ropy naftowej i paliw płynnych z jednego punktu do drugiego. Wartość rurociągu¹⁶ zatem jest ściśle określana wartością produktu, który jest nim transportowany. Nie bez znaczenia dla rentowności i dochodowości projektu pozostają zatem takie uwarunkowania techniczne jak: wydajność rurociągów, wymiary rurociągu, zabezpieczenia przed mieszaniem transportowanych produktów, zastosowane systemu nadzoru i kontroli (opisane w rozdziale 1.2.1). Wpływ na ekonomiczność transgranicznego przesyłu rurociągowego ma bezsprzecznie struktura i rozmiar rynku oraz uwarunkowania geopolityczno-dyplomatyczne (opisane w rozdziale 1.2.2) [ESMAP 2003].

¹⁵ Przykładem rurociągu transgranicznego o zasięgu europejskim jest rurociąg TAL (*ang. Transalpine Pipeline*) przebiegający z portu Triest (Włochy) przez Szwajcarię i Czechy do Niemiec posiadający swoje parki zbiornikowe przy rafineriach Ingolstadt i Karlsruhe.

¹⁶ Wartość projektu rurociągowego mierzona jest najczęściej zyskiem, rentownością, płynnością działań operacyjnych, ale przede wszystkim odpowiedzialnością przedsiębiorstwa w zakresie ekologicznym i społecznym, tj. liczbą awarii i terminowością dostaw.

1.2.1 Ekonomia rurociągów transgranicznych

Struktura kosztów inwestycji rurociągowych (opisane równaniem 1.1) charakteryzuje się wysokimi kosztami stałymi KS i niskimi kosztami zmiennymi KZ ¹⁷:

$$K = KS(d) + KZ(d, Q), \quad (1.1)$$

gdzie d to średnica rurociągu, a Q to wydajność rurociągu. Koszty zmienne KZ to koszty operacyjne rurociągu: koszty utrzymania rurociągu (inżynieria, nadzór, administracja itp.), stawki koncesji, koszt paliwa do przetłoczenia [McLellan 1992]. W szczególności koszty operacyjne (zmienne) uwarunkowane są czynnikami techniczno-technologicznymi: średnicą rurociągu i jego wydajnością. Znakomita część kosztów całkowitych K to koszty konstrukcyjne pompowni [Masseron 1990]. Koszty stałe KS inwestycji są niezależne od wydajności (przepustowości) linii przesyłowej zależą natomiast od: średnicy rurociągu (np. koszt rurowania, przygotowania terenu do posadowienia rurociągu), kosztu wyposażenia rurociągu (np. urządzeń pomiarowo-kontrolnych, pompowni). Dodatkowo, J. Masseron [1990] podkreśla istotny udział kosztów najmu rurociągu, wysokości taryf tranzytowych oraz kosztów związanych z np. prawem drogi (opisanym w rozdziale 2.2.4).

Ekonomia przesyłu rurociągowego, rozumiana jako zjawiska i prawidłowości ekonomiczne występujące w inwestycjach rurociągowych, charakteryzuje się następującymi cechami:

- korzyściami skali;
- długoterminowymi projektami;
- pozycją rurociągu w dłuższym paliwowym łańcuchu dostaw (*upstream-midstream-downstream*).

Pojemność rurociągów jest funkcją wykładniczą odzwierciedlającą ekonomiczne **korzyści skali** podjętych działań operacyjnych. Należy zauważyć, że koszt

¹⁷ Wysokie koszty stałe konstruowania rurociągów są odzwierciedleniem znaczących inwestycji kapitałowych na budowę przesyłowej infrastruktury paliwowego łańcucha dostaw w szczególności zależnych od średnicy instalowanego rurociągu. Natomiast koszty operacyjne (zmienne), które są relatywnie niskie w stosunku do kosztów stałych, wynikają z dużych korzyści skali cechujących sektor naftowo-paliwowy [McLellan 1992].

instalacji rurociągu jest zależny od rozmiarów rurociągu (powierzchni, długości, średnicy), a dostępna powierzchnia przesyłowa rurociągu określa pojemność rurociągu, co z kolei definiuje jeden z najważniejszych, pod względem ekonomicznym, dla projektu rurociągowego czynnik - **wydajność (przepustowość) rurociągu**. Wykładnicza zależność oznacza, że przy wzroście pojemności rurociągu, średni koszt stały spada eksponencjalnie [McLellan 1992].

Rurociągi wymagają ogromnych inwestycji początkowych. Koszt inwestycji uzależniony jest od terenów, na których rurociąg jest posadowiony, bowiem na terenach górzystych, nierównych i trudnodostępnych jest on znacznie wyższy, aniżeli dla rurociągów położonych na płaskich i otwartych przestrzeniach. Wysokie koszty stałe powodują, że eksploatacja rurociągu, pomimo że ponoszone są straty, nadal może być rentowna - koszty zmienne, tj. podjętych działań operacyjnych, są uwzględnione w strukturze kosztów całkowitych dalszego funkcjonowania rurociągu wpływając na minimalizację strat (i ich konsekwencje) [Masseron 1990]. Po wybudowaniu rurociągu zmiana osiągalnych korzyści skali i zwiększenie wydajności linii przesyłowej są ograniczone i stosunkowo trudne do osiągnięcia. Istnieją jednak trzy możliwości zwiększenia przepustowości rurociągu, tj. wydajności rurociągu transportującego ropę naftową i paliwa płynne: (i) uruchomienie dodatkowej ścieżki przepływu produktu, np. bypassu, (ii) zwiększenie mocy przetwórczej pompowni oraz (iii) zastosowanie dodatków redukujących opory przepływu (*ang. drag reducing agent*) w rurociągu i w konsekwencji umożliwiającymi swobodniejszy przepływ transportowanego produktu [Kennedy 1993; Omonbude 2007]. Przy założeniu wyboru rentownej strategii ekonomicznej, rurociąg, pomimo braku potencjalnych zysków, nadal może funkcjonować, ponieważ operatorzy rurociągowi osiągają szybki zwrot z inwestycji, a infrastruktura rurociągową jest funkcjonalną częścią dłuższego paliwowego łańcucha dostaw. Rurociąg nadal może działać jako korytarz transportowy¹⁸ [Soligo i Jaffe 1998].

¹⁸ Zasady budowy i określenie kierunków rozwoju paneuropejskiej infrastruktury transportowej zostało określone zgodnie z przyjętym na Krecie w 1994 r. dokumentem o zasadach budowy korytarzy transportowych - w każdym kraju Europy Wschodniej i Środkowej znajduje się co najmniej jeden korytarz transportowy; warunkiem włączenia korytarza do paneuropejskich sieci jest pozytywny wynik rachunku ekonomicznego inwestycji infrastrukturalnych; w przebiegu korytarza musi znajdować się transport kolejowy i kombinowany [Czaplicka-Kolarz i in. 2007].

W sektorze naftowo-paliwowym transport partii produktowych wyróżnia się bardzo niskim stopniem degradacji produktu w czasie przesyłu paliw, a także niskim poziomem zanieczyszczenia środowiska¹⁹. Poza momentami ich budowy lub wykluczenia ich fragmentów z obiegu ze względu na konieczność wymiany całej lub części infrastruktury, rurociągi zawsze wypełnione są produktem. Przerwy w dostawie paliw nie tylko zagrażają rentowności rurociągu, ale także mogą zagrozić zwrotowi z inwestycji²⁰ na obu końcach linii przesyłowej.

1.2.2 Podstawowe problemy funkcjonowania rurociągów transgranicznych

Rezerwy złóż ropy naftowej i gazu ziemnego, położone w pobliżu rynków wykazujących coraz większe zapotrzebowanie energetyczne, zostały wyczerpane. Wciąż dostępne są natomiast pola eksploatacyjne oddalone od rynków importujących surowce energetyczne. Znajdują się one często w obszarach śródlądowych, które uniemożliwiają dostęp do morza, a co za tym idzie wykorzystanie transportu morskiego. Okoliczności zasygnalizowane powyżej powodują, że rurociągi o zasięgu międzynarodowym stanowią podstawowy środek transportu dalekobieżnego. Rola transgranicznych rurociągów naftowych i paliwowych jest coraz ważniejsza dla światowych rynków energetycznych. W związku z tym powstaje nowa, pilna potrzeba ukształtowania międzynarodowych stosunków gospodarczych w sektorze naftowo-paliwowym. Elementem podstawowym tendencji wzrostowej bezpieczeństwa wewnętrznego i gospodarczego państwa jest stabilność sektora naftowo-paliwowego [Jouko 2003]. Jakość międzynarodowych stosunków politycznych i gospodarczych, między sąsiadującymi państwami stanowi często źródło nieporozumień [ESMAP 2003]. Występujące konflikty międzynarodowe przekładają się często na brak porozumienia między uczestnikami projektu rurociągowego i prowadzą w efekcie do zaprzestania, na krótki lub dłuższy czas, przesyłu produktów

¹⁹ Linie rurociągowo pokryte są płaszczem antykorozyjnym środków chemicznych, a ponadto przeprowadzane są regularne i kompleksowe działania konserwacyjne, dzięki czemu ryzyko wycieku i uszkodzeń jest redukowane do minimum.

²⁰ Obliczanych np. jako proporcja wysokości osiągniętego zysku do wysokości poniesionych kosztów, np. czynszu, opłat tranzytowych itd.

paliwowych.

Poza aspektami geopolitycznymi (historyczne uwarunkowania gospodarcze pomiędzy sąsiadującymi państwami) i środowiskowymi, przyczyną konfliktów międzynarodowych w sektorze naftowo-paliwowym mogą być również czynniki ekonomiczne związane również z „zakresem” umowy tranzytowej. Ustalenia obowiązującej taryfy i warunków dostaw, zgodnie z zasadami wolnego tranzytu i otwartego rynku, charakteryzującego się m.in. znoszeniem ceł na transportowane produkty paliwowe, jest w przypadku rozbudowanych rurociągów transgranicznych zadaniem niezwykle trudnym do wykonania.

Przy określaniu ekonomicznych determinant mających wpływ na końcowy kształt ustaleń, tzw. warunków tranzytu, uwzględnia się kilka założeń. Przyjmuje się, że jedynym rozsądnym powodem uczestnictwa krajów tranzytowych w projektach rurociągowych jest pozwolenie na **pobranie tzw. opłaty tranzytowej**. Udział opłaty tranzytowej w warunkach umowy tranzytowej odzwierciedla faktyczny wpływ i pozycję negocjacyjną na rynku paliwowym poszczególnych uczestników kontraktu [Stevens 1989]. Obserwacja rynku paliwowego, w kontekście opisywanego zjawiska, prowadzi do stwierdzenia, że z biegiem czasu zachodzą zmiany w zapotrzebowaniu na surowce i możliwości ich dostaw z określonego źródła, co implikuje naciski na zmianę ustalonych warunków tranzytu [Sharkey 1982]. Trend ten najbardziej widoczny jest w pojawiających się zmianach struktury kosztów rurociągów i zmienności kształtowania cen ropy naftowej. Dla zrozumienia uwarunkowań powyższych procesów niezbędna jest wiedza makroekonomiczna w zakresie: (i) wielkości bezpośrednich inwestycji zagranicznych w strategii rozwoju kraju tranzytowego, (ii) wagi opłaty tranzytowej dla makroekonomicznego aspektu gospodarki krajowej, (iii) dostępności alternatywnych tras dostaw oraz roli kraju tranzytowego jako jednoczesnego eksportera ropy naftowej.

Bezpieczeństwo energetyczne i stałość dostaw surowców stanowią konieczne warunki stabilności energetycznej państwa. W wymiarze analizy konkretnych projektów transgranicznych warunki te egzekwowane są poprzez [ESMAP 2003]:

- rozwiązania militarne;

- zachęcanie kraju tranzytowego do promowania modelu długoterminowej współpracy przez pozyskiwanie zagranicznych podmiotów, a poprzez to bezpośrednich zagranicznych inwestycji;
- rozważanie alternatywnych tras tranzytowych nie tylko pod względem geograficznym, ale również pod względem środków transportu np. drogowego w przypadku skroplonego gazu ziemnego (LNG);
- zachęcanie do wielostronnych porozumień jurysdykcyjnych (Traktat Karty Energetycznej);
- rozwijanie wzajemnych stosunków gospodarczych między krajem tranzytowym i krajem producenta/konsumenta.

Historia konfliktów między stronami rurociągów wskazuje wiele przykładów, w których spory doprowadziły do zaprzestania przesyłu, zmniejszenia wydajności przepustowej, a w niektórych przypadkach nawet zamknięcia linii przesyłowej²¹. Warunki budowy i eksploatacji rurociągów międzynarodowych są więc z natury niestabilne. Z jednej strony jest to wynik politycznych sporów międzynarodowych, z drugiej strony sporów handlowych dotyczących umów „zakresu tranzytowego”²².

W wyniku nałożenia się różnych konfiguracji czynników: technicznych, ekonomicznych, politycznych i środowiskowych, istnieje ryzyko powstania konfliktów lub potencjalnych niebezpieczeństw zapowiedzi konfliktów. Najczęściej sytuacja taka ma miejsce, gdy [ESMAP 2003]:

- różne są strony o różnych interesach uczestniczą w przygotowaniu projektu rurociągowego;

²¹ Dobrym przykładem jest „zamknięcie kurka” w gazociągu przebiegającym z Rosji przez Ukrainę do Europy Zachodniej w 2012 r.

²² Spory handlowe dotyczą sposobu ustanawiania warunków tranzytu. Są one raczej wynikiem negocjacji. Często na mocy porozumienia między stronami umowy tranzytowej wynikają konkretne korzyści związane z projektowaniem rurociągu [Kumah i Matovu 2007]. Jednakże charakter przesyłu i wysokość czynszu za korzystanie z rurociągu naftowego i gazowego na terenie danego państwa może doprowadzić do nieuniknionego konfliktu międzynarodowego (lub poważnego zagrożenia konfliktem), jeśli warunki nie są dostosowane do zmieniających się realiów.

- brak jest nadrzędnego, jednolitego systemu prawnego, który mógłby być używany na rynkach krajowych czy globalnych i regulowałby działalność konsorcjów paliwowych oraz zawartych między nimi umów;
- brak jest zgody, co do akceptacji stanowiska, że projekty rurociągowy winny przynosić zyski (rentowne, uzasadnienie biznesowe), a koszty korzystania z tranzytu są podzielone między różnych uczestników projektu.

Zmniejszenie ryzyka poważnych konfliktów, a co za tym idzie zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego i pewności dostaw surowców na arenie międzynarodowej, jest uwarunkowane wprowadzeniem obowiązujących warunków umów tranzytowych do zarówno już istniejących, jak i nowych kontraktów. Zachowując warunek racjonalnego gospodarowania zasobami i rentowności ekonomicznej prowadzonych projektów rurociągowych ostateczne złagodzenie występujących zjawisk niestabilności na międzynarodowych rynkach ropy naftowej i paliw płynnych może nastąpić poprzez dywersyfikację zarówno polityki dostępu do światowych zasobów ropy, jak i tras oraz swobodnego wyboru dostawców [Stevens 2009; ESMA 2003; Christopher 1998].

Dla zachowania bezpieczeństwa energetycznego istotnymi czynnikami są stałe i nieprzerwane dostawy partii produktowych oraz gwarancja stabilności cen na zrównoważonym rynku naftowo-paliwowym. Niezakłócony przesył partii produktowych w rurociągach transgranicznych zapewniony jest dzięki dopasowanej do zadań operacyjnych infrastrukturze logistycznej sektora paliwowo-naftowego (optymalizacja kanału zaopatrzeniowego oraz dystrybucyjnego). Spełnienie powyższych kryteriów prowadzi do poprawy rachunku finansowego konsorcjów naftowo-paliwowych, czyli minimalizacji kosztów operacyjnych oraz skutecznego zarządzania ryzykiem [Rudiger 2005; Rudiger 2006; Rudiger 2007]. Zaawansowana i dobrze dostosowana technologia obsługi procesów operacyjnych jest elementem kluczowym zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego. Gwarancje niezawodności, nowoczesności, jak i bezpieczeństwa oparte są na wykorzystaniu najnowszych, dostępnych rozwiązań informatycznych, w tym również inteligentnych systemów zabezpieczających przed atakami w cyberprzestrzeni.

1.3 Proces przesyłu partii produktowych w rurociągach transgranicznych

Łańcuch logistyczny dystrybucji paliw w sektorze naftowo-paliwowym posiada immanentne cechy i rządzi się właściwymi dla tej branży prawidłowościami. Poza ramowo określonymi przesłankami tradycyjnie rozumianego logistycznego kanału dostarczenia produktu na linii nadawca-odbiorca proces zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach musi spełniać szereg innych, dodatkowych warunków. Podstawowe i w tym sensie kluczowe w tym obszarze są wymogi technologiczne (omówionych szerzej w rozdziale 2), które nie tylko umożliwiają proces niezawodnego zarządzania przesyłem partii paliwowych z wykorzystaniem rurociągów, ale mają swoje dalsze implikacje w przestrzeganiu „reżimu” dostaw w kolejnych etapach przesyłu. Ten aspekt, obok bezpieczeństwa i ochrony środowiska, ma kapitalne znaczenie dla konsorcjów produkujących i przesyłających ropę naftową oraz jej rafinowane produkty.

1.3.1 Sekwencjonowanie partii produktowych

Rurociągi transportują różne gatunki ropy oraz jej produktów, jeden za drugim, tą samą linią przesyłową w partiach produktowych (tzw. batchach). Dostarczają zamówiony surowiec do parków zbiornikowych każdorazowo, gdy nowa partia produktowa zostanie wtłoczona do rurociągu paliwowego.

Każda nowa wtłoczona do rurociągu paliwowego partia produktu przesuwa poprzednią partię do przodu, umożliwiając dostarczenie (usunięcie z rurociągu do terminalu zbiornikowego) części lub całości partii (w zależności od zamówionego wolumenu paliw i ropy naftowej) lecz tylko wtedy, gdy zabezpieczona jest przez klienta wystarczająca wolna pojemność magazynowa. W przeciwnym wypadku tłoczenie w rurociągu jest wstrzymane, rurociąg przechodzi do trybu postoju, aż do momentu, gdy sytuacja nie zostanie rozwiązana, a przestrzenie magazynowe zwolnione, aby umożliwić dostawę do nich produktu. Takie sytuacje prowadzą do rozbieżności pomiędzy oficjalnymi grafikami tłoczeń a rzeczywistym przesyłem. Plan tłoczeń jest na bieżąco uaktualniany i modyfikowany.

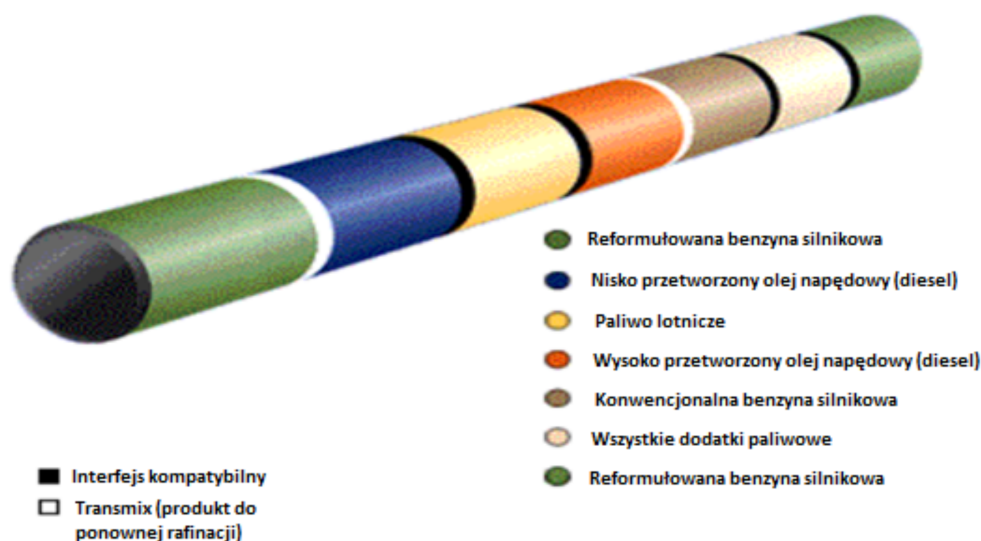
Operatorzy logistyczni paliw określają wolumen partii produktowej w oparciu o przepustowość rurociągu. Dla rurociągu działającego w zmiennym trybie tłoczeń, produkty spełniające wspólne dopuszczalne kryteria jakościowe mogą być mieszane i przesyłane za pośrednictwem rurociągu razem - jako jedna partia. Nadawcy, których paliwo spełnia odpowiednie parametry określaną kartą charakterystyki produktu operatora rurociągu (szerzej opisane w rozdziale 2.1), może korzystać z usługi przesyłu w mniejszych wolumenach produktu, ponieważ takie paliwo zostanie dodane do mniejszych partii paliwa o tej samej jakości od pozostałych nadawców²³.

Rurociągi transgraniczne transportują produkty na duże odległości, dlatego często podzielone są na sekcje rurociągowo ułatwiające kontrolę i sterowanie rurociągiem, wynikają one z uwarunkowań profilów geofizycznych powierzchni. Segmenty rurociągów, najczęściej ciągną się kilometrami pod ziemią, zbudowane są z rur o różnej średnicy. Najczęściej stosuje się rury o dużych średnicach ze względu na bardzo wysokie koszty budowy rurociągu (im większa średnica rury, tym większa przepustowość, czyli większy wolumen transportowanego produktu w czasie). **Wydażność rurociągu to jeden z kluczowych czynników zarządzania przepływem partii produktowych.** W zależności od profilu wysokościowego rurociągu (położenia poszczególnych odcinków w stosunku do poziomu morza) oraz rodzaju transportowanego produktu²⁴ powstaje optymalny model transportu paliw.

Sekwencjonowanie (kolejkowanie) partii produktowych w rurociągach stało się bardziej złożone wraz z powiększeniem wachlarza specyfikacji produktowej (opisane w rozdziale 1.3.1). Istotnym problemem jest temat produktów separujących paliwa, które zawsze budzą pewne kontrowersje wśród importerów i producentów transportujących paliwa rurociągiem. Podczas transportu następujących po so-

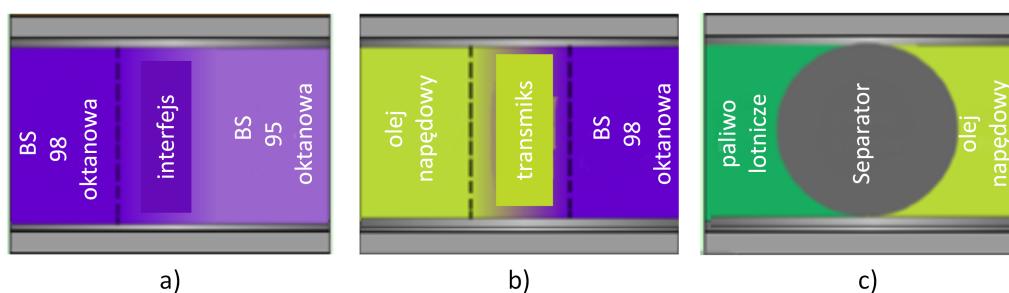
²³ Nadawcy, których produkt nie spełnia wytyczonych wymagań lub z innych powodów musi być odseparowany od innych produktów z tej linii, muszą spełnić wymóg większej objętości minimalnej partii, aby przesył ten był ekonomicznie uzasadniony.

²⁴ Do przesyłu ropy naftowej najczęściej stosowane są rury o średnicy 6, 10 i 12 cali. Na niezróżnicowanym topograficznie terenie (tj. bez znaczących amplitud wysokościowych) w praktyce używa się rur nawet o średnicy 42 i 56 cali w celu zwiększenia możliwości przepustowych transportowanych batchy [ESMAP 2003].



Rysunek 1.5: Typowa sekwencja partii produktowych w rurociągu.
Źródło: [ESMAP 2003].

bie partii produktowych zawsze dochodzi do dyfuzji (wymieszania) pewnej ilości jednego produktu z drugim na linii czoła partii, tzw. interfejsie, czyli punkcie, w którym partie się stykają. Jeśli produkty te są podobne, np. dwa gatunki benzyny, otrzymana mieszanina dodawana jest do produktu niższej wartości. Jeżeli wyroby nie są podobne, takie jak olej napędowy i benzyna, powstaje tzw. transmiks. Wówczas stworzony przez wymieszanie na styku tych partii produkt hybrydowy, musi być skierowany do oddzielnych slotów, tj. pojemników i ponownie przetworzony (o ile nie będzie musiał ulec degradacji, ze względu na nieodzyskiwalną utratę właściwości chemicznych - a to oznacza, że musi być usunięty z bilansu wolumenu dostaw produktu, powodując znaczące zwiększenie się kosztów operacyjnych rurociągu). Dla zachowania optymalności przesyłu podczas transportu paliw o znacznym zróżnicowaniu chemicznym (przede wszystkim gęstości) stosuje się specjalne czyszczaki, np. kule sferyczne (patrz rysunek 1.6) lub substan-



Rysunek 1.6: Mieszanie się partii produktowych. Rodzaje separatorów: a) interfejs - zmieszana partia produktów tej samej klasy, cechuje się zdegradowanymi właściwościami chemicznymi, b) transmiks - separator dwóch produktów różnego gatunku, c) separator (zieleń tłuszczowa) separująca dwa przemieszczające się produkty benzynowe.

Źródło: [CERDA 2008].

cje chromatografowane²⁵. Niedozwolone jest zatem wtlaczanie pewnej sekwencji produktów do rurociągu, gdyż prowadzi to do poważnych degradacji własności transportowanego produktu. Konieczny jest staranny grafik tłoczeń, tj. harmonogram opracowanej na podstawie zamówień sekwencji przesyłanego produktu. **Jest to jeden z istotniejszych czynników sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w zakresie realizacji dostaw produktów paliwowych w odpowiedzi na złożone nominacje.** Większa ilość i fragmentaryzacja partii produkcyjnych implikuje wyższe koszty eksploatacyjne rurociągu ze względu na zwiększone prawdopodobieństwo degradacji zmieszanych fragmentów partii produkcyjnych²⁶.

1.3.2 Planowanie przesyłu partii produktowych

Prawidłowe decyzje dotyczące planu tłoczenia muszą być nastawione na realizację podstawowego celu: połączenia standardowych produktów rafineryjnych z różnych rafinerii w jedną partię produkcyjną i transportowanie ich razem. Opty-

²⁵ Przykładem substancji chromatografowanej używanej w celu separacji produktów w rurociągach jest tzw. zieleń tłuszczowa.

²⁶ Z drugiej strony dla małych przestrzeni magazynowych na ropę naftową i paliwo najkorzystniejsze są małe dostawy produktów.

malne planowanie dostaw partii produktowych za jedno z podstawowych założeń (poza priorytetową terminową dostawą zamówionego wolumenu produktu w docelowym parku zbiornikowym) przyjmuje minimalizację liczby partii oraz optymalizację ich sekwencji w rurociągu²⁷.

Na etapie realizacji nominacji uwzględnia się datę dostawy produktu. Jeśli partia jest kombinacją tego samo produktu z różnych rafinerii, to cechuje się wieloma terminalami przeznaczenia (odbiorcami) i terminami dostawy. Tak więc czas realizacji zamówienia jest funkcją lokalizacji odbiorczego punktu parku zbiornikowego, przyjętego reżimu tłoczenia (patrz rozdział 3.2.1) i czasu postoju rurociągu.

Terminale odbiorcze z reguły cechują się kompleksowym parkiem zbiornikowym, co ułatwia procedurę odbioru i magazynowania produktu oraz operacje kontrolne na zbiornikach. Sektor *downstream* paliwowego łańcucha dostaw kończy się na dostarczeniu paliw i ropy do cystern/tankowców, które należą do prywatnych lub państwowych przedsiębiorstw (koncernów) naftowo-paliwowych. Odbiorca „nominuje” wolumen produktu, tj. składa nominację (zamówienie na przesłanie partii produktowej) - w cyklu miesięcznym²⁸. Planowanie transportu paliw w rurociągach na bazie zasobów produktowych i ramowych planów nominacji pozwala na szczegółowe opracowanie grafiku przesyłu poszczególnych partii surowców do wybranych rafinerii, a dalej partii produktowych do baz zbiornikowych/terminali dystrybucyjnych odbiorców. Zapewnienie ciągłości dostaw ropy naftowej do rafinerii (sektor *upstream* paliwowego łańcucha dostaw), a partii produktowych do terminali dystrybucyjnych i parków zbiornikowych (sektor *downstream* paliwowego łańcucha dostaw), możliwe jest tylko dzięki precyzyjnemu planowaniu, skrupulatnej kontroli i precyzyjnemu rozliczaniu transportów. Wspieranie procesów paliwowego łańcucha dostaw umożliwia efektywne prowadzenie dyspozycji oraz kontrolowanie wszelkich aktywności związanych z transportem przez całą dobę.

Zintegrowane systemy planowania przesyłu partii produktowych, np. PSI *carlos*, realizują różne funkcje [PSI 2013]:

²⁷ Poprzez minimalizację liczby substancji separujących/wolumenu zmieszanych produktów.

²⁸ Nie jest rzadkością że nominowany wolumen partii produktowej różni się od realnego. Bilansowanie jest rutynową częścią operacji rurociągów.

- rejestracji zleceń klientów, tzw. składanie nominacji (*ang. nomination*) ;
- tworzenia i testowania dowolnych scenariuszy transportu i magazynowania, tzw. planowanie (*ang. planning*);
- rejestracji ilościowych i jakościowych pomiarów oraz protokołowania wszelkich operacji transportowych (*ang. metering*);
- przyporządkowania rozliczania ilościowego (wolumenu i gatunku przesłanego produktu) do dowolnie definiowalnych kont bilansowych, tzw. rozliczanie (*ang. balancing*);
- udostępnienia nadawcom zestawień i prognoz dotyczących zmian zapotrzebowania i dostępnych zasobów, tzw. informowanie handlowe (*ang. trader information*) .

System pozwala na objęcie procesem planowania wszystkich elementów infrastruktury, tj. rurociągi, bazy paliwowe, rafinerie, naftoporty i kawerny (szczegółowo opisane w rozdziale 2)²⁹.

Pozyskiwanie informacji o odcinkach rurociągu znajdujących się pod ziemią odbywa się za pomocą odpowiednich mierników (przepływu, temperatury, ciśnienia) zainstalowanych już podczas budowy rurociągu, ale też tzw. inteligentnych świnek³⁰ (*ang. pig/ scrapper*), zwanych także czyszczakami, tłokami lub wypychaczami.

²⁹ Ponadto, systemy planowania przesyłu partii produktowych w rurociągach transgranicznych powinny umożliwiać: (i) odwzorowanie infrastruktury przesyłowej w modelu topologicznym rurociągu, (ii) wykorzystanie zoptymalizowanych scenariuszy przesyłowych do wyznaczenia właściwości gatunków surowca i parametrów fizyko-chemicznych produktu oraz ich objętości/tonażu, (iii) wizualizację gatunków transportowanego produktu i parków zbiornikowych, (iv) tworzenie planów przesyłowych i wariantów transportowych, a także instrukcji operacyjnych; (v) naniesienie korekt wygenerowanych propozycji harmonogramów; (vi) rejestrację danych pomiarowych; (vii) ilościowe rozliczanie transportowanych substancji płynnych; (viii) przeliczenia wolumenu przesłanego produktu na podstawie różnych standardów (GOST, ISO/DIN, ASTM).

³⁰ Czyszczaki - nazywane także wypychaczami, „inteligentnymi świnkami” to kształtki w postaci krótkiego odcinka rury z bocznym otworem nakrytym pokrywką mocowaną na śruby. Inteligentne tłoki umożliwiają (i) wgląd do wnętrza rurociągu w celu wykrycia ewentualnych uszkodzeń: wgnieceń i niedoskonałości oraz (ii) mechaniczne oczyszczanie i płukanie rurociągu poprzez usuwanie z wnętrza linii rurociągowej zgromadzonych zanieczyszczeń, wytrąconych w czasie transportu osadów i smarów. Tłoki transportowane są z prędkością przemieszczającego się produktu. Inteligentne czyszczaki mają dodatkową możliwość zmierzenia grubości ścianki rur od środka rurociągu (jest to niezwykle istotne z punktu widzenia otrzymania systemowych danych wejściowych modelowania i symulacji rozchodzenia się fali przepływu w rurociągu, a

Z centrów zarządzania rurowymi (stacjami zawierających pomieszczenia zdalnej kontroli rurowego paliwowego), operatorzy kierują przepływem partii produktowej. Stamtąd są uruchamiane i zatrzymywane pompy, otwierane i zamykane zawory, wypełniane i opróżniane parki zbiornikowe.

1.3.3 Systemy zarządzania przepływem paliw w rurowych transgranicznych

Przemysł paliwowo-energetyczny jest bardzo specyficzny. Łączy w sobie wiele dziedzin, a jego interdyscyplinarny charakter ma swoje odzwierciedlenie w wymogu spełnienia oczekiwań w zakresie dostarczenia sprawnego, niezawodnego i zautomatyzowanego systemu kontroli i monitoringu partii produktowych. **Symulacja, optymalizacja i wizualizacja** procesu transportu paliw na bazie opracowanych modeli matematycznych (patrz rozdział 3.1) uwzględnia zachodzące w rurowych przesyłowych zjawiska hydrauliczne i termodynamiczne oraz umożliwia kontrolę niezawodności przepływu produktów. Maksymalizacja przepustowości rurowego (oczywiście w bezpiecznych jej granicach - bez wybuchów, czy wycieków wzdłuż linii rurowej) jest elementem sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych. Całościowy model zarządzania przepływem partii produktowych powstaje poprzez uwzględnienie istotnych elementów infrastruktury systemu rurowego: wyboru reżimu tłoczeń, minimalizacji zużycia mediów i energii, zagospodarowania produktów ubocznych, rozmieszczenia i zużycia pomp, zapewnienia właściwych pojemności parków zbiornikowych i ich wykorzystania. System zarządzania rurowymi, aby spełniał wyżej przedstawione wymagania, z jednej strony podłączony jest do systemu SCADA³¹, a z drugiej do systemu rozliczeniowego klasy ERP³².

także pozyskania informacji o stopniu zalegających zanieczyszczeń i osadów po tranzycie partii produktowej).

³¹ SCADA to system kontroli i nadzoru procesu technologicznego. Jego główne funkcje obejmują zbieranie aktualnych danych (pomiarów), ich wizualizację, sterowanie procesem technologicznym przepływu partii produktowych w rurowym, alarmowanie oraz archiwizację danych.

³² ERP to oprogramowanie do planowania zasobów przedsiębiorstwa. Dla potrzeb systemów zarządzania rurowym wykorzystywane są głównie rozliczeniowe (odpowiedzialne m.in. za fakturowanie) lub dedykowane systemy bilingowe.

Systemy zarządzania rurociągami paliwowymi umożliwiają m.in. śledzenie przesyłu partii różnych produktów od momentu wejścia do chwili wyjścia z rurociągu. Dla unaocznienia wybranych aspektów zarządzania przepływem paliw w rurociągach, zrozumienia wagi pomiaru sprawności ich przepływu oraz uchwycenia złożoności tego zjawiska przedstawiony został diagram na rysunku 1.7. Znajdziemy w nim niezbędne elementy strukturalne oraz funkcjonalne systemu zarządzania rurociągami.

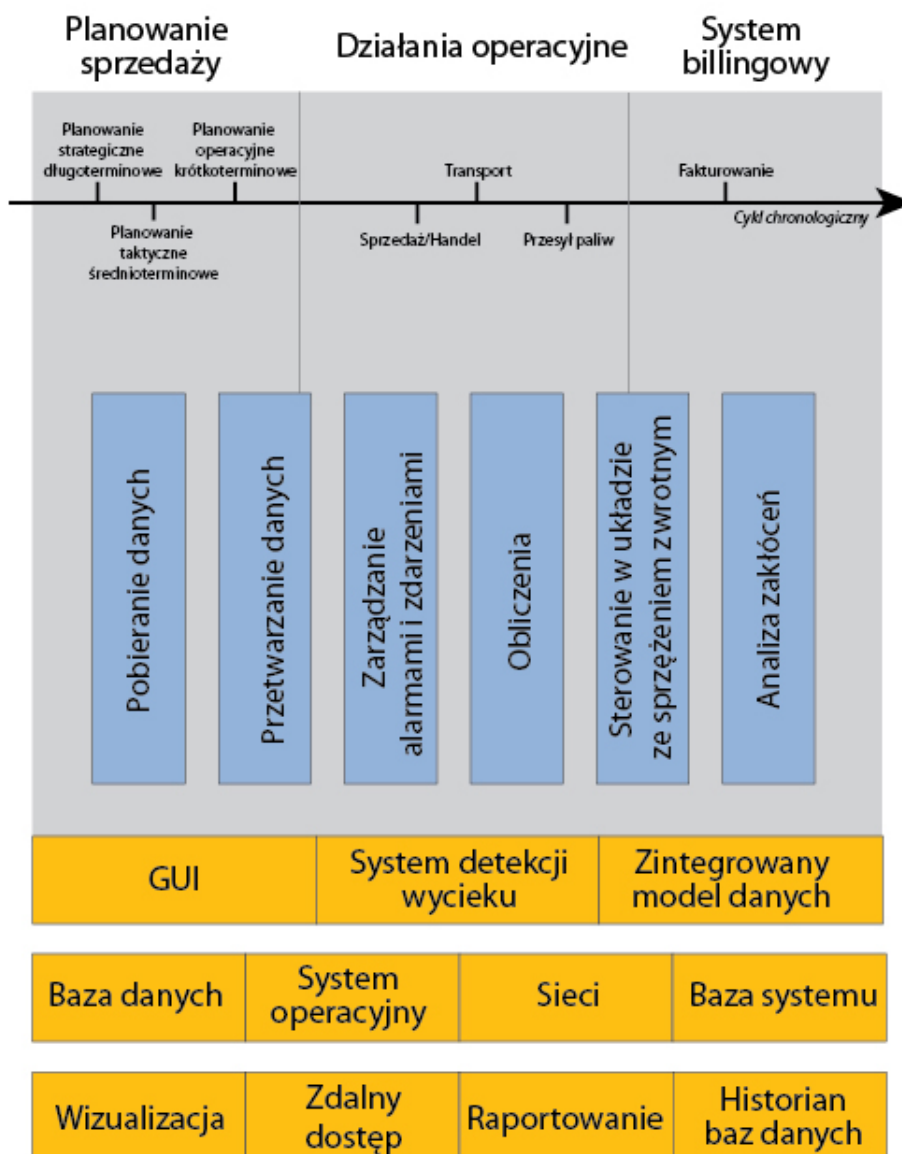
Wiedza dotycząca dokładnej lokalizacji produktów ma podstawowe znaczenie, redukuje bowiem prawdopodobieństwo zarówno mieszania następujących po sobie partii produktowych, jak i zanieczyszczenia produktów w zbiorniku. System zarządzania rurociągami pozwala również na wybór określonych parametrów tłoczeń (potwierdzenie gotowości systemu i operatorów na stacjach, wybór modelu sieci przesyłowej, rodzaju przesyłanego produktu itd.) z uwzględnieniem dynamiki zmian stanów magazynowych w terminalach/bazach paliwowych.

W sektorze naftowo-paliwowym opracowane rozwiązania w formie systemów zarządzania rurociągami dają przejrzystość, pewne uproszczenia i usprawnienia w całej dziedzinie logistyki paliw. Główne aspekty zaawansowanych systemów zarządzania rurociągami i potrzeba zastosowania technologicznie nowoczesnej bazy zarządzania znajdują swoje odzwierciedlenie w podejmowaniu decyzji strategicznych, taktycznych i operacyjnych konsorcjów naftowo-paliwowych. Współczesny system zarządzania rurociągami winien w swej istocie uwzględniać zarówno specyfikę i zmiany w obszarze logistyki paliw, jak i potrzeby samego systemu SCADA.

Systemy SCADA (więcej w rozdziale 2.4.1) posiadają liczne, rozwinięte moduły wspierania nadzoru i sterowanie rurociągiem. Można je podzielić na 4 główne kategorie:

- funkcje podstawowe (hydrauliczny model dynamiczny, kontrola partii produktowych);
- moduły zapewniające bezpieczeństwo operacji rurociągowych, tj. monitoring wycieku, symulator predykcyjny³³;

³³ Symulacja hydrauliczna umożliwiająca wyznaczenie wartości wyjściowych funkcji predyk-



Rysunek 1.7: Obszary zastosowań systemów zarządzania rurociągiem.
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Materiały szkoleniowe PSI 2010].

- moduły wspierające zarządzanie jakością produktu np. monitoring gęstości;

tywniej systemu, tzn. wartości kontrolno-pomiarowych wzdłuż linii przesyłowej, położenia partii i sprawności systemu, przy niezmiennych warunkach hydraulicznych systemu rurociągowego.

- moduły optymalizujące operacje rurowodowe, tj. optymalizacja tłoczenia.

Do podstawowych kryteriów modelowania sprawnego zarządzania przepływem partii paliwowych w rurowodach transgranicznych należą:

- uwzględnienie położenia i rodzaju przesyłanej partii produktowej (tzw. *batch*) oraz inteligentnych tłoków inspekcyjnych (czyszczaków);
- automatyczne uczenie się i dostosowywanie systemu nadzoru i kontroli rurowodu do zmiennych warunków środowiskowych (tj. ekspozycja słoneczna, gwałtowne ochładzanie punktowe
- analiza dynamiczna stanu hydraulicznego rurowodu;
- modelowanie pracy systemów rurowodowych - dynamicznego włączania i wyłączania fragmentów sieci (zaworów odcinających);
- optymalizacja reżimu tłoczeń pod względem różnych kryteriów: redukcji zużycia energii elektrycznej, minimalizacji stopnia eksploatacji rurowodu, optymalnej pracy pompowni itp.;
- uwzględnienie profili rurowodowych - profilu wysokościowego, temperaturowego, ciśnieniowego itp.;
- analiza zdarzeń historycznych;
- wykrywanie wycieków.

Powyższe funkcje podstawowe systemu zarządzania rurowodami paliwowymi zapewniają komplet informacji do wszystkich powiązanych aplikacji oraz zawierają wszystkie istotne dane przepływu partii produktowych.

1.4 Postęp technologiczny w sektorze naftowo-paliwowym w aspekcie makroekonomicznym

1.4.1 Nowoczesne technologie przemysłu naftowo-paliwowego

Niezwykle aktualna dla modelowania sprawności zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych jest tematyka nowoczesnych rozwiązań w zakresie technologii, metod pomiarowych, optymalizacji oraz bezpieczeństwa eksploatacji instalacji przemysłowych w branży paliwowej. Do największych wyzwań technologicznych, przed jakimi staje branża naftowo-paliwowa w zakresie magazynowania, transferu i dystrybucji partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw należą [ASE 2013]:

- zarządzanie bezpieczeństwem przesyłu i magazynowania partii paliwowych oraz analiza ryzyka w praktyce eksploatacyjnej rurociągów;
- zgodność z obowiązującymi przepisami;
- dostępność rozwiązań technicznych i technologicznych;
- optymalizacja spalania w procesie rafinacji;
- nowoczesne instalacje przesyłowe i magazynowe;
- eksploatacja urządzeń i instalacji w strefach zagrożonych wybuchem.

Nowoczesne rozwiązania technologiczne, realizowane zarówno w Polsce jak i za granicą, wspomagają decyzje inwestorów działających na rynku surowców i ich rafinowanych produktów. Praktycy z przemysłu naftowo-paliwowego, zajmujący się rozwiązywaniem zagadnień technicznych i ekonomicznych związanych z realizacją inwestycji paliwowych, wskazują ważne zagadnienia wymagające rozwiązań w najbliższej przyszłości. Związane są one z rozliczeniem akcyzowym paliw, czyli legalizacją zbiorników magazynowych oraz oceną zgodności instalacji pomiarowych z dyrektywami MID³⁴, a ponadto dotyczą problemu efektywności

³⁴ Z ang. *Measuring Instruments Directive*, potoczna nazwa dla dyrektywy o przyrządach pomiarowych [Główny Urząd Miar].

ekonomicznej wdrożeń bezpieczeństwa funkcjonalnego (szczegółowe opracowanie problemu bezpieczeństwa funkcjonalnego zawarte jest w rozdziale 3.3.1). Użytkowanie dużych ilości danych, modelowanie procesów technologicznych, precyzja obliczeń, prędkość eksploracji danych stanowią realne, technologiczne wyzwania w sektorze naftowo-paliwowym. Wzrost i rozwój gospodarczy sektora naftowo-paliwowego w coraz większym stopniu uzależniony jest od czynników jakościowych, wśród których dominujące znaczenie mają postęp technologiczny i kapitał ludzki.

Tabela 1.3: Lista czynników wpływających na postęp technologiczny transportu i dystrybucji partii produktowych.

Rodzaj czynnika	Czynnik	Komentarz
Społeczny	obawa przed przerwami w dostawach	
Społeczny	obawa przed zmniejszeniem wartości nieruchomości w sąsiedztwie rurociągów	działki zlokalizowane w pobliżu rurociągów oraz w strefie kontrolnej nie mogą być wykorzystywane na cele budowlane
Społeczny	obawa przed skutkami awarii rurociągów	znaczna ilość ropy naftowej uwalniana w przypadku awarii powoduje poważne skutki dla ludzi i środowiska (pożary i wycieki)
Społeczny	czynniki demograficzne; zmiana liczby ludności i rejonów zamieszkania	zmiana struktury demograficznej ludności oraz rejonów zamieszkania rzutuje na parametry sieci przesyłowych
Ekonomiczny	siła nabywcza ludności	czynnik decydujący w głównej mierze o wyborze ropy naftowej i jej produktów jako nośników energii
Ekonomiczny	cena ropy naftowej i paliw	wzrost liczby odbiorców ropy naftowej i paliw może odgrywać rolę stymulującą
Ekonomiczny	konkurencja podmiotów na rynku paliw	powinna powodować obniżenie kosztów przesyłania i dystrybucji paliw
Ekonomiczny	wielkość nakładów na utrzymanie i rozbudowę infrastruktury rurociągowej	decyduje o zdolności przepustowej sieci paliwowych oraz o ich trwałości i niezawodności funkcjonowania

Tabela 1.3: Lista czynników wpływających na postęp technologiczny transportu i dystrybucji partii produktowych.

Rodzaj czynnika	Czynnik	Komentarz
Polityczny/prawny	dywersyfikacja źródeł zaopatrzenia	zwiększa pewność zasilania odbiorców oraz wpływa na warunki zawierania kontraktów na dostawy ropy naftowej i paliw
Polityczny/prawny	zapewnienie środków na B&R w obszarze transport i dystrybucja paliw	warunkuje rozwój i utrzymanie odpowiedniego stanu infrastruktury
Polityczny/prawny	wdrożenie wspólnej polityki energetycznej w ramach UE	ogranicza możliwość stosowania szantażu energetycznego
Polityczny/prawny	zapewnienie korzystnych warunków inwestowania w infrastrukturę	stymuluje rozwój sieci przesyłowych i dystrybucyjnych
Polityczny/prawny	prywatyzacja podmiotów działających w obszarze przesyłu i dystrybucji paliw węglowodorowych	prowadzi do konkurencji podmiotów, przez co wzrasta efektywność ich funkcjonowania
Środowiskowy	wymagania dotyczące zmniejszenia emisji CO_2 i NO_x	
Środowiskowy	konieczność minimalizacji negatywnych skutków budowy rurociągów na środowisko naturalne	sprzyja rozwojowi metod bezwykopowych budowy i rehabilitacji technicznej
Technologiczny	wprowadzenie do budowy rurociągów przesyłowych rur ze stali o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych	umożliwia zwiększenie zdolności przesyłowych oraz obniżenie jednostkowych kosztów transportu
Technologiczny	wzrost udziału rur z tworzyw sztucznych i materiałów kompozytowych w budownictwie sieci rurociągowych	zwiększa trwałość i niezawodności sieci rurociągowych, eliminuje konieczność zabezpieczania rurociągów przed korozją
Technologiczny	zwiększenie ochrony rurociągów przed korozją	wydłuża okres bezpiecznej eksploatacji rurociągów

Tabela 1.3: Lista czynników wpływających na postęp technologiczny transportu i dystrybucji partii produktowych.

Rodzaj czynnika	Czynnik	Komentarz
Technologiczny	rozwój informatyki, robotyki i łączności satelitarnej	umożliwia efektywne zarządzanie eksploatacją rurociągów (wykrywanie nieszczelności, monitorowanie stanu technicznego itp.)
Technologiczny	rozwój bezwykopowych technologii budowy rurociągów	wpływa na ograniczenie negatywnych skutków procesu budowy rurociągów na środowisko

Źródło: [Czaplicka-Kolarz i in. 2007].

Lista czynników wpływających na rozwój technologiczny, w obszarze przepływu partii produktowych w rurociągach transgranicznych, jest długa. Najważniejsze z nich zostały przedstawione w tabeli 1.3, pogrupowane według przynależności do kategorii społecznych, ekonomicznych, politycznych/prawnych i środowiskowych [Czaplicka-Kolarz i in. 2007]. Spośród przedstawionych elementów wybrano te o najwyższej wadze: wielkość nakładów na utrzymanie i rozbudowę infrastruktury rurociągowej, zapewnienie środków na B&R w obszarze transportu i dystrybucji partii paliwowych, obawa przed przerwami w dostawach paliw, obawa przed skutkami awarii rurociągów, zaufanie do rurociągowego transportu paliw jako najbardziej bezpiecznej formy przesyłania produktów paliwowych, rozwój informatyki i robotyki oraz łączności satelitarnej, zwiększenie skuteczności ochrony rurociągów przed korozją, rozwój rynku urządzeń, potencjał rozwojowy w naukach technicznych i globalizacja rynku [Ross 1998].

Problematyka innowacyjności i zmian technologicznych jest przedmiotem licznych rozważań teoretycznych, analiz empirycznych oraz nakładów inwestycyjnych wiodących firm naftowych [Giunipero i Brand 1996; Gunasekaran i in. 2001; Handfield, Monczka, Giunipero i Petterson 2009]. Wprowadzane innowacyjne

zmiany technologiczne tworzą określoną wartość ekonomiczną³⁵ [Forrester 2007; Forrester 1958].

W wielu przypadkach inwestycje poniesione na badania i rozwój³⁶ nowych technologii odgrywają kluczową rolę dla postępu technologicznego, przyczyniają się do zwiększenia lub przynajmniej utrzymania zyskowności przemysłu naftowo-paliwowego [Saad i Patel 2006]. Opis historii rozwoju technologicznego, według raportu *Global and Russian Outlook* [2013], wyróżnia „rewolucje technologiczne³⁷” oraz „przełomy technologiczne³⁸”. Przemysł naftowo-paliwowy charakteryzuje się dojrzałością technologiczną i techniczną, w związku z czym mało prawdopodobne są zmiany o charakterze rewolucyjnym [Czaplicka-Kolarz i in. 2007]. Prace badawczo-rozwojowe (tabela 1.4) realizowane w skali komercyjnej mają na celu doskonalenie technologii obecnie stosowanych na rynku, dostosowanie technolo-

³⁵ Innowację definiuje się jako: (i) wprowadzenie na rynek nowego produktu lub usługi, (ii) wprowadzenie nowej metody produkcji, (iii) otwarcie nowego rynku, (iv) zdobycie nowego źródła surowców, półfabrykatów lub (v) jako zmianę dotychczasowej struktury rynku. Modelowanie procesów ekonomicznych natrafia na szereg problemów, które dotyczą m.in. wyboru wskaźnika charakteryzującego działalność innowacyjną i miary efektów; pracowników zaangażowanych w działalność badawczo-rozwojową oraz uzyskanych patentów i skali zakresu wprowadzenia nowych produktów, procesów i innych innowacji [Harrison i New 2001]. Najbardziej adekwatnym miernikiem efektów są wskaźniki wyrażające tempo i kierunek zmian technologicznych [Global and Russian Outlook 2013].

³⁶ Według raportu *Global and Russian Outlook* [2013], konkurencyjność przemysłu naftowo-paliwowego promuje globalny transfer technologii. Mimo to, w latach 80-tych znaczące spółki naftowe na świecie (Exxon Mobil Comp., British Petroleum, Chevron) zaczęły ograniczać swoje wydatki na badania i rozwój skupiając się na czerpaniu zysków z przyjętych wcześniej strategii i wyborów technologicznych. Wówczas firmy z sektora usługowego stanęły naprzeciw oczekiwaniom i zaczęły zwiększać swoje wydatki na B&R w gałęzi naftowo-przemysłowej; firmy consultingowe zaczęły zajmować się kompleksowym rozwojem i wdrażaniem nowych technologii. Stąd, kluczowym ogniwem do sukcesu wdrożeniowego jest rola operatorów, którzy niestety bardziej są skłonni do podjęcia ryzyka politycznego, czy geologicznego aniżeli technologicznego, choć to właśnie oni w wielu aspektach są kustoszami nowych technologii.

³⁷ Rewolucja technologiczna oznacza realizację wszystkich trzech poniższych elementów jednocześnie [Global and Russian Outlook 2013]: (i) wprowadzenie nowej technologii, która umożliwia rozwój nowych form energii pierwotnej (zazwyczaj bardziej skoncentrowanych) oraz zwiększa bazę dostępnych źródeł energii; (ii) zwiększenie wydajności energetycznej, która stanowczo usprawnia procesy produkcyjne i warunki życia oraz towarzyszący im gwałtowny wzrost wydajności pracy; (iii) tworzenie nowych rynków energetycznych.

³⁸ Przełomy technologiczne przyczyniają się do pozyskiwania nowych lub zwiększenia efektywności stosowanych aktualnie technologii, powodując znaczne zmiany na rynkach paliwowych. Przełom technologiczny może przybrać jedną z czterech form: (i) nowych materiałów wytwórczych; (ii) nowego sprzętu/ wyposażenia infrastruktury przesyłowej; (iii) nowej wiedzy; (iv) nowych techniki zarządzania. Postęp technologiczny często ma charakter inkrementalny. Ciągłe, drobne ulepszenia budują z upływem czasu widoczny, znaczący postęp technologiczny, ponadto przełom technologiczny jest często nienamacalny, np. w postaci nowej wiedzy czy nowych technik zarządzania. Przełom technologiczny często ma swoją kolebkę poza przemysłem naftowo-paliwowym, np. wiąże się pośrednio z postępowaniem sprzętu lub oprogramowania komputerowego.

gii nierozpowszechnionych w danym regionie do jego warunków oraz tworzenie wartości dodanej w efekcie połączenia technologii uzupełniających się. Większość koncepcji i rozwój technologiczny w przemyśle naftowo-paliwowym jest wynikiem: (i) pilnego zapotrzebowania na badania podstawowe, (ii) długoterminowej podaży ropy naftowej oraz (iii) popytu sektora transportu oraz rynków przemysłowych [Czaplicka-Kolarz, Siemek, Chmielniak, Dubiński, Maranda, Miksch, Pinińska, Proberz, Rosik-Dulewska, Roszkowski i Tajduś 2009]. Wyróżnia się cztery główne obszary zainteresowań badawczych w sektorze naftowo-paliwowym: (i) zwiększenie efektywności energetycznej i operacyjnej, (ii) poprawę regulacji ochrony środowiska, (iii) poprawę jakości materiałów konstrukcyjnych i kontrolę liniowych inspekcji rurociągowych oraz (iv) poprawę procesu dystrybucji i systemu dostaw partii produktowych. Zwiększenie zasobów ropy naftowej i produktów paliwowych stało się możliwe w wyniku rezultatów postępu technicznego w zakresie poszukiwań i wydobycia ropy naftowej - badaniom geologicznym i sejsmologicznym w 3D i 4D³⁹; zwiększaniu produktywności złóż ropy naftowej z wykorzystaniem odwiertów poziomych; doskonaleniu technik eksploatacji złóż ropy naftowej o podwójnym systemie porowatości (szczelinowato-porowatych) oraz robotyzacji systemów zdalnego sterowania [Czaplicka-Kolarz i in. 2007]. Postęp technologiczny dotyczy również innych działań związanych z zarządzaniem przepływem partii

³⁹ Wśród nowoczesnych technologii w zakresie wydobycia i produkcji w szczególności na uwagę zasługuje nowoczesna technologia wydobycia głębinowego i nowoczesne metody szacowania zasobów złóż łupkowych takie jak sejsmika 4D. Tradycyjne rezerwy na morzu (tzw. *offshore*) odgrywają coraz większą rolę w zaspokojeniu rosnącego popytu na ropę naftową. Dzisiejsza technologia umożliwia dokonywanie uwiertów na głębokości przekraczającej 3000 m. Polski koncern LOTOS w pierwszym kwartale 2014 r. zaopatrzył się w pływającą platformę wiertniczą nazwaną "NeoBaltic", która umożliwi wydobycie zidentyfikowanych złóż gazu łupkowego z morza Bałtyckiego, co ma zasilić około 10% przerób ropy naftowej w rafineriach polskich. Niemniej jednak rozwój tego typu złóż wymaga uruchomienie milionowych inwestycji. LUKOIL szacuje zysk z wydobycia głębinowego na poziomie 50-90\$/bbl w zależności od regionu wydobycia i głębokości wód. Ponadto, nowe technologie pozwalają na wydobycie ropy naftowej z dotychczas niedostępnych złóż, np. skał łupkowych (*ang. tight oil*) czy ze złóż podmorskich na bardzo dużych głębokościach. Zdaniem ekspertów Międzynarodowej Agencji Energetycznej MAE nie oznacza to jednak, że świat czeka nowa era obfitości w ropę naftową. Prognozują, że żaden kraj nie powtórzy skali sukcesu ropy niekonwencjonalnej w Stanach Zjednoczonych, co spowoduje, że USA będą największym światowym producentem ropy naftowej. Wzrost produkcji ropy ze źródeł niekonwencjonalnych i ciekłych frakcji gazu ziemnego (*ang. natural gas liquids*) sprostą rosnącej luce pomiędzy popytem na ropę, który będzie rosł i osiągnie 101 mln baryłek dziennie w 2035 roku, a spadkiem wydobycia ropy ze źródeł konwencjonalnych - do poziomu 65 mln baryłek dziennie.

Tabela 1.4: Sektor B&R w sektorze naftowo-paliwowym.

SILNE STRONY	SŁABE STRONY
<p>wysoki udział zaawansowanych technologii stosowanych w przemyśle naftowym, a zwłaszcza:</p> <ul style="list-style-type: none"> - wysoki poziom wiedzy i praktyki w zakresie wykorzystania metod geofizycznych (w tym sejsmicznych), geochemicznych i petrofizycznych w poszukiwaniu złóż surowców węglowodorowych, - opanowanie technologii wierceń głębokich i wierceń kierunkowych, - umiejętność wykorzystania modeli matematycznych do modelowania złóż i podziemnych magazynów gazu, - stosowanie wtórnych i trzecich metod oddziaływania na złoża (chemicznych, termicznych i mikrobiologicznych) pozwalających na zwiększenie stopnia ich szczypania, - stosowanie nowoczesnych metod kontroli stanu technicznego sieci przesyłowych. 	<p>niedostatki technologiczne i techniczne, takie jak brak wdrożenia oprogramowania z zakresu modelowania efektów strefy przyodwiertowej, symulatorów geomechanicznych, biologicznych i fazy stałej, brak efektywnych metod oddziaływania na złoża o podwójnym systemie porowatości.</p> <p>wysokie koszty badań nad nowymi technologiami w przemyśle naftowym szczególnie w zakresie: wytwarzania paliw z rop ciężkich i pozostałości naftowych;</p> <p>małe środki przyznawane z budżetu państwa na badania i rozwój oraz brak mechanizmów stymulujących finansowanie badań przez podmioty gospodarcze (w tym przypadku podmioty działające w sektorze energetyki)</p>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Czaplicka-Kolarz i in. 2007].

produktowych w rurociągach transgranicznych. Najważniejsze, nowe technologie dotyczą: budowy rurociągów stalowych o maksymalnym ciśnieniu roboczym 10 MPa, budowy rurociągów z materiałów kompozytowych, zastosowania do budowy rurociągów przesyłowych rur z wewnętrzną powłoką ochronną, technologii kontroli stanu technicznego rurociągów nieprzystosowanych do inspekcji od wewnątrz za pomocą inteligentnych tłoków (sond) oraz technologii monitorowania aktywności „stron trzecich” w strefie kontrolowanej rurociągu [Czaplicka-Kolarz i in. 2009].

W związku z powyższym, w sektorze naftowo-paliwowym, wyróżnia się dwa rodzaje projektów, na które przeznaczane są podstawowe zasoby inwestycyjne konsorcjów naftowo-paliwowych i firm consultingowo-usługowych. Pierwsza grupa projektów ma na celu obniżenie kosztów operacyjnych ponoszonych przez konsorcja naftowo-paliwowe, a druga grupa projektów służy zdecydowanej poprawie efektywności i innowacyjności zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych. Wybór technologii, obok aspektów geopolitycz-

nych, środowiskowych i ekonomicznym ma kluczowe znaczenie w realizacji celów projektowych. Decydującymi parametrami wyboru technologii są: wpływ technologii na stabilność i bezpieczeństwo energetyczne państwa oraz możliwość i koszty wdrożenia wybranej technologii. Wybór nowoczesnych technologii wymaga zawsze uwzględnienia dodatkowych kryteriów, takich jak: zapotrzebowanie na wdrożenie, wpływ technologii na efektywność ekonomiczną gospodarki i na stopień zaopatrzenia w surowce energetyczne, oraz wpływ wybranej technologii na bezpieczeństwo publiczne i stan środowiska.

1.4.2 Technologiczne czynniki kształtowania popytu i podaży

Rozwój technologii wydobywania i produkcji ropy naftowej jest wynikiem wpływu licznych aspektów ekonomicznych, środowiskowych i technologicznych: rosnących cen ropy naftowej, rosnącego popytu na ropę naftową, starzenia się pól naftowych, konieczności redukcji emisji CO_2 (opis w rozdziale 1.4.3), różnorodności dostępnych metod eksploatacji złóż, konieczności zapewnienia i zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego. Zagadnienia związane z implementacją niektórych technik wydobywania, np. *offshore* (na morzu) oraz niespójna opinia geologów co do miejsca występowania złóż⁴⁰ dodatkowo komplikują złożoność procesu kształtowania się popytu i podaży w sektorze naftowo-paliwowym. Dostępne technologie wydobywania uzupełniane są rozwojem technologii sekwestracji⁴¹ gazów kwaśnych przez ich zatłaczanie do złoża. Oznacza to, że możliwe jest efektywne i bezpieczne dla środowiska eksploatawanie złóż zasiarczonych oraz wykorzystanie także „ciężkich” gatunków ropy naftowej. Dostępne technologie wydobywania⁴² i produk-

⁴⁰ Geolodzy nie mają pewności (szacowane 10% skuteczności), że znajdą złoża ropy naftowej, nawet, jeśli wszystkie badania magnetyczne, grawimetryczne i sejsmologiczne na to wskazują.

⁴¹ Sekwestracja CO_2 (ang. *Carbon Capture and Storage CCS*) to proces polegający na oddzieleniu i wychwyceniu dwutlenku węgla ze spalin w celu ograniczenia jego emisji do atmosfery.

⁴² Rozwój technologii lepszego wykorzystania złóż eksploatowanych w wyniku zwiększenia stopnia ich szczypania nie jest zadaniem trywialnym. Doskonalenie technologii poszukiwań i wydobywania ropy naftowej wymaga prowadzenia badań przez sejsmologów i geologów za pomocą badań magnetycznych (badanie zmiany gęstości skał osadowych i porowatych), grawimetrycznych (badanie zmiany sił grawitacji) oraz sejsmicznych (badanie siły drgań i fal odbitych). Szyb naftowy może prowadzić do złóż zawierających ropę co nie stanowi o rentowności jej wydobywania. Odwierty rozpoznawcze pomagają dokładniej przeanalizować strukturę rezerwuaru i zaplanować rozmieszczenie odwiertów produkcyjnych. Ponadto z czasem złoża się starzeją, a to oznacza że ciśnienie złożowe w studniach wydobywczych również maleje, znacznie utrudniając wydobywanie

cji ropy naftowej i paliw płynnych kształtują rynek, na którym ogromny wpływ makroekonomiczny ma wzrost wydobycia olejów łupkowych, piasków bitumicznych i olejów ciężkich, co przyczyniło się nie tylko do zmiany pozycji uczestników rynku naftowo-paliwowego (Stany Zjednoczone obejmują czołowe miejsce), ale i kierunków eksportowych (Stany Zjednoczone zasilają kraje azjatyckie).

Prognoza dynamiki produkcji⁴³ zależy od gotowości spółek naftowo-paliwowych do uruchamiania nowych pól naftowych i stopnia wykorzystania nowoczesnych, zaawansowanych technologii niezbędnych do utrzymania poziomu wydobycia z istniejących złóż, co niebagatelnie wpływa na dynamikę paliwowego łańcucha dostaw. Rozważa się rozwój wydobycia ropy naftowej w następujących obszarach:

- zwiększenie odzyskania ropy naftowej z istniejących złóż;
- zwiększenie wykorzystania niekonwencjonalnych złóż ropy naftowej;
- eksploracja złóż z terenów arktycznych.

ropy naftowej. Ma to znaczący wpływ na trudny i poważny problem przenikania z rezerwuaru wody i rozpuszczonych w niej soli nieorganicznych (tj. chlorki, siarczany i węglany) do wydobywanych na powierzchnię płynów złożowych.

⁴³ W sektorze *upstream* paliwowego łańcucha dostaw po skutecznym wykonaniu odwiertu wiertniczego, wydobyte zostaną z szybu: gaz ziemny, woda, ropa naftowa i kontaminat (resztki pestycydów, herbicydów, fungicydów). Pierwszą czynnością jest proces separacji poszczególnych płynów wydobywczych. Współcześnie stosowane metody umożliwiają otrzymanie ropy naftowej już po wstępnym pierwszym procesie oddzielania. Zawarte w ropie łańcuchy węglowodorowe są wyodrębniane i przekształcane w różne gazy. Każdy z nich skrapla się z powrotem w ciecz w innej temperaturze. W ten sposób można rozdzielić ropę naftową na różne części, czyli frakcje. Proces ten - nazywany destylacją frakcyjną - umożliwia wyprodukowanie bezpośrednio z ropy naftowej szeregu gazów i olejów, np. asfaltu, nafty, benzyny, oleju napędowego, oleju opałowego oraz paliwa lotniczego.

Ceny ropy na światowych rynkach energetycznych kształtują się w odniesieniu do trzech głównych gatunków wskaźnikowych [Global Commodity Markets 2001; Lorenz i Grudziński 2001]:

- ropy brytyjskiej **Brent** z Morza Północnego (o gęstości 38°API, FOB w portach brytyjskich). Ropa Brent jest notowana na londyńskiej giełdzie naftowej IPE (*International Petroleum Exchange*);
- ropy **Dubai Fatch** ze Zjednoczonych Emiratów Arabskich (32°API, FOB w porcie Dubai). Ropa Dubai bywa stosowana jako cena wzorcowa dla rynków azjatyckich;
- ropy amerykańskiej **WTI** (*ang. West Texas Intermediate*) (40°API, FOB Midland Texas). Ropa WTI jest notowana na giełdzie nowojorskiej NYMEX.

Ceny ropy wahają się w zależności od różnicy jakości surowca w stosunku do wzorca. Na utrzymanie się cen ropy naftowej na aktualnym poziomie wpływają liczne czynniki: wzrastające koszty zastępowania rezerw, bilansowanie roli OPEC i deprecjacja wartości dolara amerykańskiego.

Czynnikami kształtującymi globalną podaż ropy naftowej i jej rafinowanych produktów są⁴⁴:

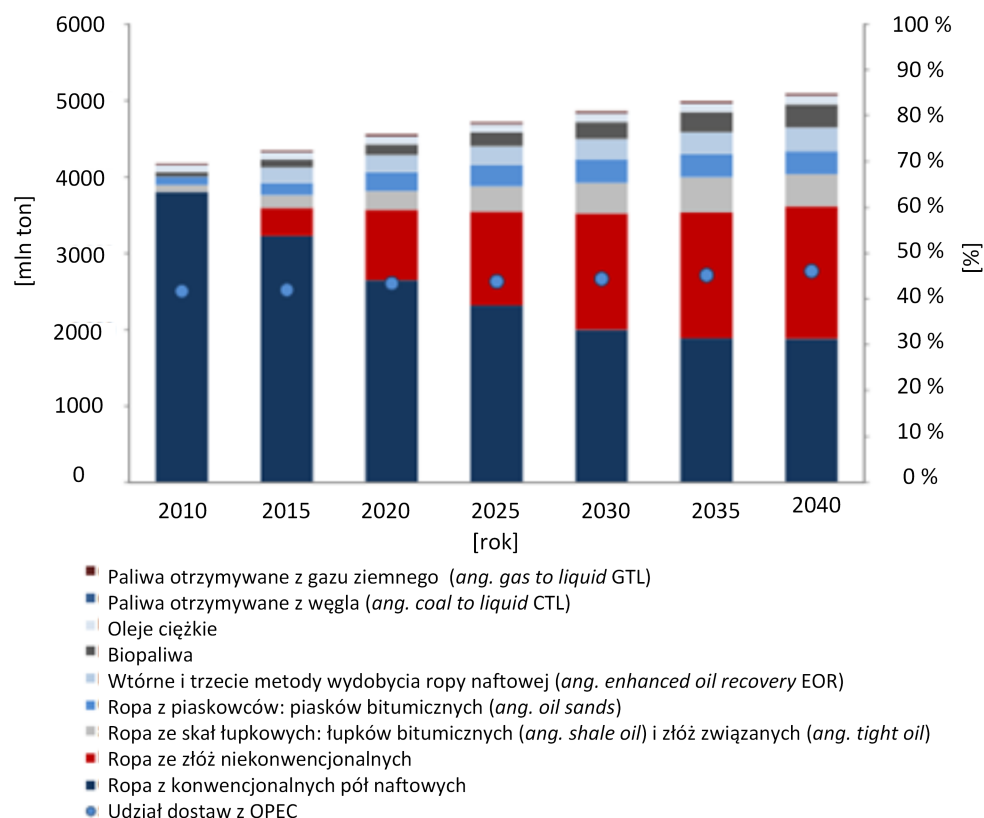
- nowe technologie produkcyjne;
- rozwój źródeł energetycznych;
- polityczne ograniczenia produkcji;
- polityka ochrony środowiska;
- zyskowność techniczna i ekonomiczna nowych źródeł.

Powyższe uwarunkowania sprzyjają rozwojowi przemysłu naftowo-paliwowego. Wykorzystują w szczególności brak obaw społecznych (na skutek rozważnej kampanii informacyjnej) oraz szybki postęp w dziedzinach, w których osiągnięcia technologiczne mogą być wykorzystane (np. w technologiach materiałowych oraz informatyce i robotyce). W opinii MAE wydobycie ropy ze złóż niekonwencjonalnych, które zwykle gromadzą się w skałach łupkowych i piaskowcach będzie miało decydujące znaczenie dla kierunków rozwoju rynku naftowo-paliwowego. Rola państw zrzeszonych w Organizacji Krajów Eksportujących Ropę Naftową OPEC, zdaniem MAE, będzie okresowo ograniczana na rzecz zaspokojenia światowego zapotrzebowania na ropę naftową przez, po pierwsze rosnące wydobycie ropy naftowej z piasków roponośnych w USA i Kanadzie, po drugie w Brazylii z głębinowych złóż podmorskich oraz po trzecie przez wydobycie ciekłych frakcji gazu ziemnego LNG na całym świecie⁴⁵.

Im bardziej instalacje przetwórcze są powiązane technologicznie i kompleksowe, tym w wyższym stopniu można wykorzystać surowiec i uzyskać wyso-

⁴⁴ Według raportu *Global and Russian Outlook* [2013] produkcja paliw płynnych osiągnie w 2040 r. poziom 5.1 bln ton/rok, z których tradycyjne złoża ropy naftowej i skondensowanego gazu wynosić będą 77 %. Znaczący wzrost udziału niekonwencjonalnych źródeł, tj. oleju łupkowego, piasków bitumicznych itp osiągnie poziom 16.4 % całkowitej produkcji, tzn. 837 mln ton w 2040 roku. Pozostałe wielkości dostaw w 2040r. będą podzielone między biopaliwa (5,9 %) i paliwa płynne produkowane z naturalnego gazu i węgla, który wyniesie zaledwie 23 mln ton [Global and Russian Outlook 2013].

⁴⁵ Jednakże około 2025r. wydobycie w krajach niezrzeszonych w OPEC znacznie spadnie i kraje Bliskiego Wschodu będą w większości źródłem wzrostu podaży ropy na świecie [Global and Russian Outlook 2013].

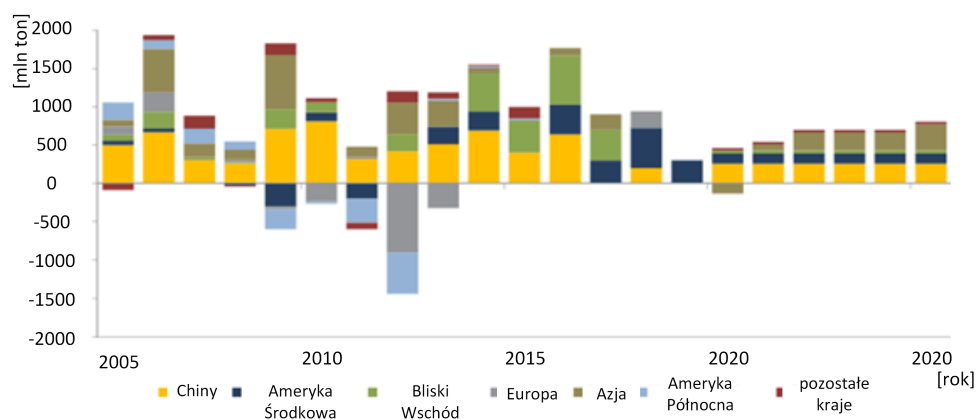


Rysunek 1.8: Prognoza dynamiki podaży paliw płynnych na świecie.
Źródło: [Global and Russian Outlook 2013].

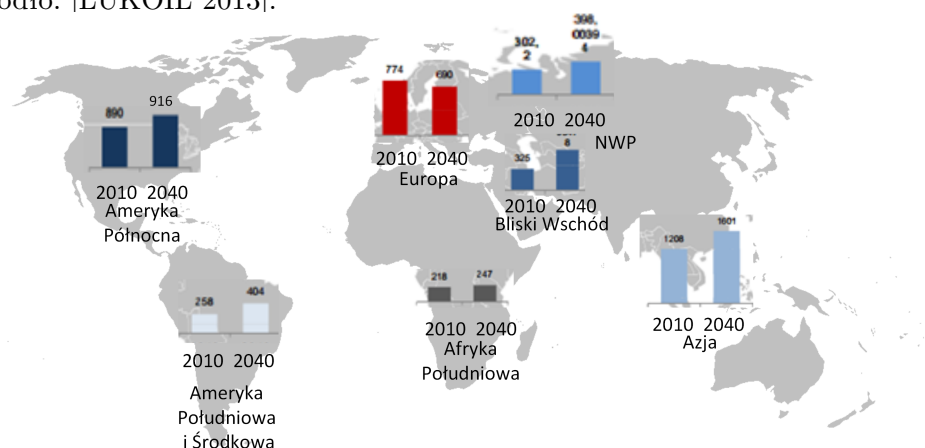
ką wydajność produktów wysoko przetworzonych⁴⁶. Podstawowym kryterium, mającym olbrzymie znaczenie dla kształtowania podaży jest wielkość jednostek produkcyjnych i ich moc przerobowa. Uważa się obecnie, że z punktu widzenia ekonomicznego minimalna zdolność produkcyjna jednostki przerobu ropy to 3 mln ton/rok. Aby rafineria wytwarzała zysk, to najmniejszy kompleks rafinerijny powinien obejmować zintegrowane instalacje do głębokiego przerobu ropy o wydajności 7 mln t/rok⁴⁷.

⁴⁶ Tylko w rafineriach posiadających tzw. blok wodorowy i stosujących procesy hydrowy rafinacji i hydrokrakingu można uzyskać paliwa o jakości wymaganej normami międzynarodowymi. Wskaźnik krakingu mówi o głębokości przerobu ropy, szczególnie ciężkich frakcji destylacji próżniowej na lekkie produkty typu benzyny, oleje napędowe, gaz ciekły [Mihułka 2012].

⁴⁷ *Global and Russian Outlook* [2013] podaje, że świat stoi w obliczu nadmiaru zdolności rafinacyjnych, ze względu na budowę rafinerii w różnych regionach, i w najbliższych 3 dekadach nie oczekuje się deficytu wydajnościowego. Nowe projekty wdrażane są na Bliskim Wschodzie, w Afryce oraz w regionie Azji i Pacyfiku. Potencjalnie mogą one nawet podwoić wielkości przetwa-



Rysunek 1.9: Zestawienie wielkości produkcji produktów rafineryjnych na świecie.
Źródło: [LUKOIL 2013].



Rysunek 1.10: Przetwarzanie ropy naftowej wg. regionów.
Źródło: [Global and Russian Outlook 2013].

rzania na Bliskim Wschodzie, wytwarzając znaczącą ilość produktów naftowych, które zastąpią produkty innych dostawców z rynków europejskich i Ameryki Północnej, i nawet te od własnych producentów. Jednak liczba regionów (Południowa Ameryka i Azja-Pacyfik), nie będą w stanie sprostać popytowi na produkty paliwowe ze swoich własnych zdolności przetwórczych, które wobec tego będą wymagać rozbudowy po 2030 r. W Ameryce Północnej oczekiwany jest wysoki poziom wykorzystania zdolności przetwórczych ze względu na wzrastającą produkcję ze skał łupkowych i kanadyjskich piasków bitumicznych. Z drugiej strony, Wspólnota Niepodległych Państw WNP (*ang. Commonwealth of Independent States CIS*) stawi czoła niewykorzystaniu 20% swoich możliwości produkcyjnych z powodu braku zasobów dla rafinerii na Ukrainie, niedoboru wydajności rafineryjnej w Kazachstanie i zmniejszającego się rynku eksportu produktów.

Aktualny trend rosnącej eksploatacji oleju ciężkiego i piasków bitumicznych, ujawnia potrzebę opracowania nowych technik usprawniających ich transport rurociągiem. Każda z tych metod (rysunek 1.11) ma na celu zwiększenie przepustowości rurociągu, jak i minimalizację zużycia energii potrzebnej do rurociągowego przesyłu olejów ciężkich za pomocą:

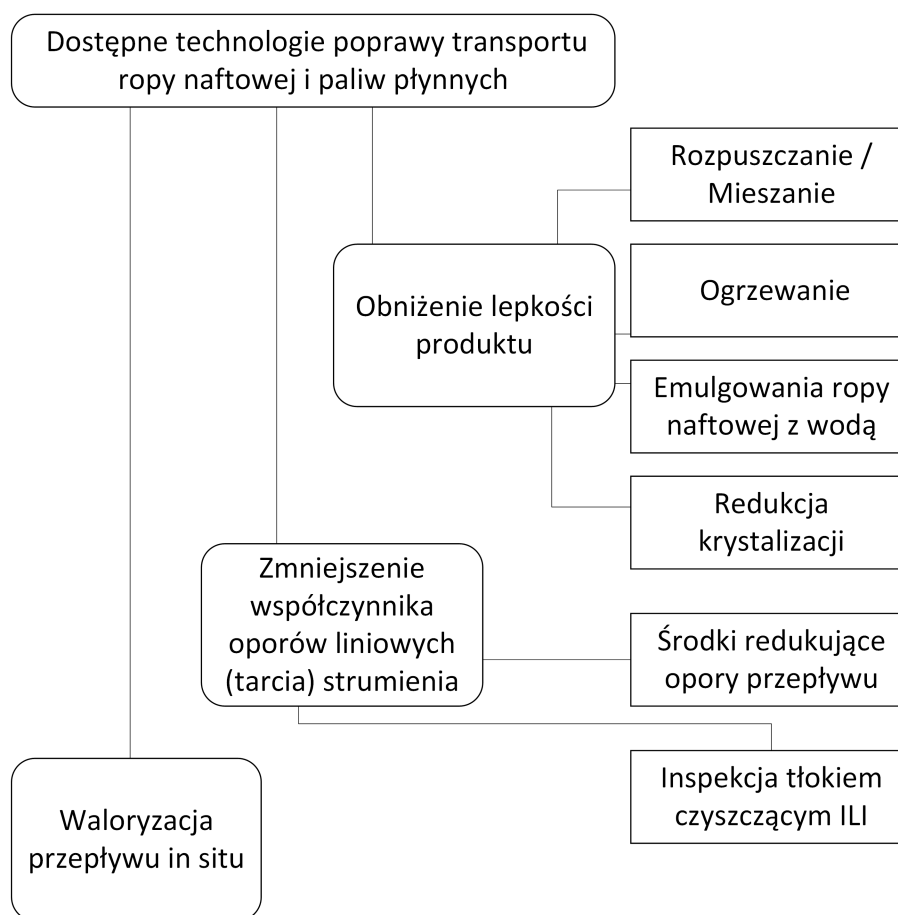
- obniżenia lepkości, np. wykorzystując wstępne ogrzewanie produktu, a następnie ogrzewanie rurociągu, rozpuszczanie lub emulgowanie produktu w wodzie;
- zmniejszanie oporu/ współczynnika tarcia rurociągu, np. stosując inteligentne tłoki czyszczące;
- *in situ*, np. modyfikując częściowo frakcję produktu do wyższego stopnia API (*ang. American Petroleum Institute*)⁴⁸.

1.4.3 Ochrona środowiska i emisja dwutlenku węgla

Zarządzanie przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych uwzględnia również kwestię bezpieczeństwa i ochrony środowiska naturalnego. Zmniejszenie negatywnego oddziaływania na środowisko i powstrzymanie niekorzystnych zmian klimatu poprzez rozwój i udoskonalanie technologii ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (np. technologii sekwestracji CO_2) jest jednym z klu-

Według M. Miłułka [2012]o poziomie technologicznym współczesnej rafinerii ropy naftowej decydują rodzaje, ilości oraz parametry jakościowe produktów, które można uzyskać z przerobu różnych gatunków ropy. Do podstawowych kryteriów oceny rafinerii, tak w aspekcie ekonomiki produkcji (opłacalność produkcji), jak i spełniania surowych norm ochrony środowiska należą: (i) wskaźnik kompleksowości instalacji przerobu ropy; (ii) wskaźnik oktanowości; (iii) wskaźnik krakingu; (iv) wskaźnik odsiarczania.

⁴⁸ Zazwyczaj wyższy indeks API (z *ang. API gravity*, wskaźnik miary gęstości ropy w stosunku do wody (ciężkości)). Wyższy stopień API oznacza ropę lżejszą, o lepszej jakości, a tym samym o wyższej wartości ekonomicznej (słodka ropa z mniejszą zawartością siarki). Im wyższy stopień API, tym rzeczywista gęstość oleju jest niższa. Normy przemysłowe mieszczą się w skali od 10° do 70° API. W przedziale 15°-39° API klasyfikowane są oleje ciężkie (są bardzo toksyczne, a ich destylacja jest trudna i kosztowna). W przedziale 40°- 60°API są średnio ciężkie ropy i ciecze ropopochodne. Charakteryzują się one miodowym kolorem. Powyżej 60° klasyfikowane są ropy lekkie, tzw. słodkie, wyglądają i smakują jak oliwka dla dzieci, a koszty jej przetwarzania są niskie.



Rysunek 1.11: Technologie poprawy transportu ropy naftowej i paliw.
Źródło: [Hart 2013].

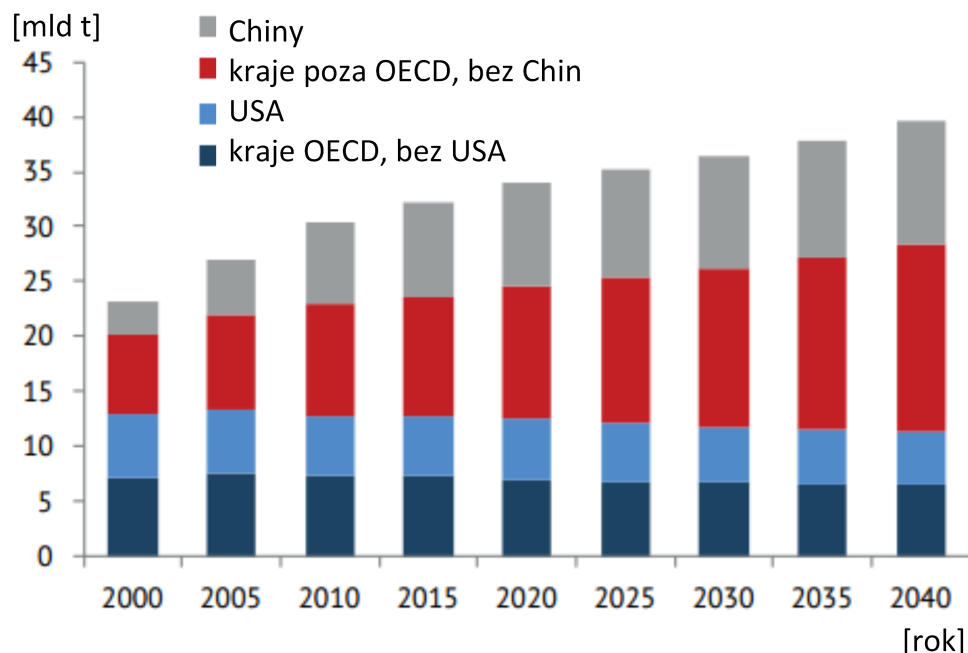
czowych czynników mających wpływ na rozwój energetyczny w skali globalnej⁴⁹.

W wyniku zastosowania zaawansowanych programów SCADA oraz automatyzacji rozwiązań w zakresie bezpieczeństwa przesyłu obserwujemy znaczny postęp⁵⁰, choć - jak podaje *Global and Russian Outlook* [2013]- wysokość emisji CO_2

⁴⁹ Dobrym przykładem może być realizacja globalnego projektu - Scenariusza Zrównoważonej Energetyki do 2050 r. [Czaplicka-Kolarz i in. 2007].

⁵⁰ W Niemczech wymogiem jest zastosowanie co najmniej dwóch niezależnych metod wykrywania i lokalizacji wycieków. Regulacja ta stanie się w najbliższej przyszłości wymogiem Unii Europejskiej. Wszystkie rurociągi w Niemczech, wyposażone w moduł wykrywania wycieków, otrzymują przez jednostkę certyfikacyjną TÜV certyfikat dopuszczający do eksploatacji i są zgodne z normą TRbF 301 (TRFL).

na świecie będzie wzrastała⁵¹. Konieczność rozwoju technologii detekcji wycieku



Rysunek 1.12: Emisja CO₂ na świecie wg. krajów.

Źródło: [Global ad Russian Outlook 2013].

(szczegółowo opisane w rozdziale 3.3.3) wynika z potrzeby zapobiegania pojawiającym się katastrofom wycieków ropy naftowej i jej rafinowanych produktów na dużą skalę, np. wycieku ropy brytyjskiego koncernu naftowego BP w Macondo. Istnienie w przyszłości potencjalnych, dużych katastrof naftowo-paliwowych trudno wykluczyć. W konsekwencji następuje zwiększenie świadomości społecznej i ciągła zmiana międzynarodowych regulacji i standardów bezpieczeństwa służących zapobieganiu temu problemowi w przyszłości⁵².

⁵¹ Niemal każdy wzrost będzie emitowany przez kraje nie będące w OECD (w szczególności Azji), które stają się coraz bardziej nieskore do przestrzegania międzynarodowych uzgodnień środowiskowych. Kraje rozwinięte będą w stanie ustabilizować, a nawet zmniejszyć emisję CO₂, ale nie zmienią sytuacji w skali globalnej.

⁵² Wypadki, do których doszło na wodach głębinowych zatoki Meksykańskiej (platforma wiertnicza *Deep Water Horizon*) wymusiły na wielu firmach wydobywczych przegląd stosowanych środków bezpieczeństwa podczas dokonywania wwiertów. Ma to niebagatelny wpływ na wzrost kosztów operacyjnych projektów *offshore*. Niektóre kraje, takie jak Angola czy Nigeria,

1.4.4 Komputerowe systemy wspomaganie nadzoru i utrzymania integralności rurociągu

Komputerowe systemy wspomaganie zarządzania przepływem partii produktowych starają się wyjść naprzeciw palącym problemom sektora naftowo-paliwego. Stanowią one cenne narzędzia wspierające sprawność zarządzania przepływem partii produktowych. Wdrażanie wielu komputerowych programów, zarówno dla działań operacyjnych, jak i uzupełniających przesyłu partii produktowych w rurociągach transgranicznych, wspomaga nadzór i utrzymanie integralności rurociągu w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw.

Wśród najczęściej stosowanych programów można wymienić komputerowe systemy służące do [Borysiewicz i Potemski 2005]:

- zbierania i grupowania wszystkich dostępnych danych dotyczących zarządzania rurociągiem pochodzących z różnorodnych źródeł, w postaci centralnej bazy danych dla zarządzania integralnością rurociągu, np. *PII Pipeline Integrity Evaluation (PIE)* - dane obejmują wyniki dwóch grup inspekcji liniowych: wykrywanie ubytków metalu metodami: *MagneScan*, *UltraScanWM* i *TranScan* oraz pęknięć metodami: *UltraScan CD*, *TranScan*, *ElasticWave* i *EmatScan*;
- wspomaganie analiz spełnienia obowiązujących szczegółowych wymagań regulacji prawnych i norm, np. *Pipeline Compliance System (PCS)*;
- wspomaganie decyzji przyporządkowania środków finansowych na nowe inwestycje lub naprawę obecnej infrastruktury, poprzez szczegółową ocenę integralności systemu rurociągowego i uszeregowanie segmentów rurociągu z użyciem metodyki analiz ryzyka względnego, np. *Integrity Assessment Program (IAP)*.

Ponadto, w zarządzaniu przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych wykorzystywane są programy do rozliczeń finansowych klasy ERP i MES oraz nadzoru i wizualizacji danych procesowych SCADA. Interesujące w nałożyły wysokie podatki, co również przyczynia się do wzrostu kosztów produkcji.

kształceniu nowej kadry są również programy symulacyjne (symulatory) zachowań hydraulicznych podczas przepływu partii produktowych w rurociągach⁵³.

Sterowanie, nadzór i pobieranie danych systemowych są wykorzystywane do stałego monitoringu: ciśnienia pomp, temperatur, stopnia przepływu i gęstości produktu, poziomu wypełnienia zbiorników, położenie wszystkich elementów aktywnych i pasywnych na rurociągu, lokalizacji partii produktowych, ewentualnej detekcji i lokalizacji wycieku. Ponadto, na stacjach bazowych możliwe jest uzyskanie informacji na temat charakterystyki przesyłanych produktów oraz pozostałych czynników, jak np. średnich temperatur gruntu.

⁵³ Liderami rynku są *EON Geo*, *EON ICube*, *EyeSim*, *GeoVisionary*, *Holospace*, *MindSafe*, *Real Asset Virtualisation Environment*, *ROVsim2 O&G*, *SAVE Simulator*, *The DeepTouch Pilot Training Simulator*, *VROV*, *VRSafety*, *Walkinside* [Borysiewicz i Potemski 2005].

Rozdział 2

Zarządzanie przepływem partii produktowych. Przegląd infrastruktury przesyłowej

Infrastruktura rurociągową jest podstawowym narzędziem przesyłu partii produktowych od producenta do szerokiego kręgu odbiorców. Czasami wydaje się być wręcz jedynym, praktycznym środkiem transportu dużych wolumenów partii produktowych, których nie sposób byłoby przewieźć transportem drogowym lub kolejowym. Przesył rurociągowy uważany jest za jeden z najbardziej bezpiecznych i najtańszych metod transportowania ropy naftowej i produktów rafinacji. Pełna **integracja systemów rurociągowych eksportera z siecią rurociągową importera** często wymaga takiej konstrukcji projektów rurociągowych, która ma zasięg strategiczny. **Zasięg, waga i znaczenie gospodarcze** sektora naftowo-paliwowego wpływa na kształtowanie handlu międzynarodowego, a ostatecznie na elastyczność i bezpieczeństwo transgranicznych dostaw partii produktowych.

Sektor *downstream* paliwowego łańcucha dostaw obejmuje transport, marketing, magazynowanie i dystrybucję gotowych produktów rafinacji. Zatem podstawowe czynności procesu przesyłu partii produktowych w rurociągach transgranicznych obejmują: komunikację uczestników paliwowego łańcucha dostaw, pla-

nowanie dostaw, przesył i monitoring partii produktowych, rozliczenie ilościowe oraz rozliczenie finansowe. W kontekście zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych, obszar działalności sektora *downstream* paliwowego łańcucha dostaw najczęściej rozpoczyna się w momencie rozładunku produktów paliwowych w portach¹. Zakres podejmowanych działań obejmuje na tym etapie: (i) przekazanie produktów paliwowych z rafinerii lub tankowców; (ii) przekazanie surowca, tj. ropy naftowej do procesu rafinacji; (iii) transport rurociągowy, autocysternowy lub kolejowy produktów paliwowych otrzymanych z rafinerii i/lub produktów rafinacji magazynowanych w parkach zbiornikowych terminali; (iv) dystrybucję paliw do klienta końcowego.

Komunikacja w wymiarze międzynarodowym, między nadawcami (*ang. shipper*) a klientami polega na wzajemnym informowaniu się o zakupie surowca oraz sposobie jego przybycia (rurociągiem, tankowcem, koleją). Informacje te przekazywane są do działu firmy zajmującego się transportem zakupionej dostawy surowca (właściwego operatora). Kluczową operacją w procesie komunikacji jest czynność zwana **składaniem nominacji** (*ang. nomination*). Warto podkreślić, że operacja składania nominacji odbywa się w określonych okolicznościach. Uwzględnia ona fakt, że rafinerie posiadają swoje własne tankowce, koncerny naftowo-paliwowe mają swoich własnych operatorów, a rafinerie często są „współdzielone”, co oznacza, że właścicielem może być odpowiednio kilka koncernów naftowo-paliwowych.

Kolejnym etapem zarządzania przesyłem partii produktowych w rurociągach transgranicznych jest **planowanie** (*ang. planning*). Operatorzy rurociągów transgranicznych, po rozładunku tankowców lub pobraniu partii produktowych z rafinerii, tworzą harmonogram dostaw partii produktowych. Harmonogram dostaw uwzględnia m.in. rodzaj i wolumen partii produktowych, wymagalny termin dostaw oraz lokalizację punktu przeznaczenia (np. centra dystrybucyjne, np. w ru-

¹ Dobrym przykładem jest rurociąg TAL (Włochy - Szwajcaria - Austria - Czechy - Niemcy), w którym działalność sektora *downstream* paliwowego łańcucha dostaw rozpoczyna się w porcie Triest. Innym przykładem punktu początkowego sektora *downstream* paliwowego łańcucha dostaw jest miejsce wydania produktów rafinacji z parków zbiornikowych przy rafineriach jak to ma miejsce np. w rurociągu MVL w Schwedt (Niemcy).

rociągu TAL do rafinerii w Kalsruhe w Niemczech). Operatorzy rurociągów ściśle współpracują z konsorcjami naftowo-paliwowymi odnośnie do wolumenu produktów nominowanych harmonogramem rafinerii. Wymaga to zaplanowania dostaw tak, by były one dostarczone do terminali zbiornikowych przy portach/rafineriach lub przekazane dalej do transportu przesyłowego. Dobrym przykładem może tu być PERN - polski operator ropociągu „Przyjaźń” (Družba). PERN przy transporcie ropy naftowej z Rosji uwzględnia zarówno nominacje surowca dla rafinerii w Płocku, jak i nominacje dla rafinerii w Schwedt (Niemcy), gdzie transportuje rurociągiem pozostałą część surowca (patrz rysunek 2.1). Etap planowania dostaw obejmuje najczęściej krótki okres około 2-3 dni. Możliwe jest rozszerzenie tego horyzontu czasowego do 21 dni lub więcej. Krótki okres planowania jest częściej stosowany, gdyż umożliwia ściśle trzymanie się rzeczywistego grafika tłoczeń. Długoterminowe planowanie jest zjawiskiem bardziej złożonym, gdyż często dzieje się tak, że pierwszy plan dostaw ulega niemal całkowitej modyfikacji wraz ze zbliżaniem się terminu jego realizacji. Proces planowania polega więc na określeniu, przez operatora transportu rurociągowego, w jaki sposób zostanie dostarczona do rafinerii dostawa surowca lub w przypadku paliw - dostawa z rafinerii - do odległych parków zbiornikowych. Niezwykle istotne w procesie planowania jest uwzględnienie warunków brzegowych przepływu partii produktowych w rurociągach transgranicznych: wejściowych i wyjściowych przepływów wolumetrycznych i masowych rurociągu, czyli nominalnego wolumenu produktu wtłaczanego do rurociągu, wolumenu produktu odebranego z rurociągu oraz lokalizacji punktu odbioru na całej długości rurociągu. Szczególnie trudny i skomplikowany w procesie planowania dostaw jest zabieg uwzględnienia pełnej charakterystyki infrastruktury rurociągowej. Złożoność i dywersyfikacja infrastruktury rurociągowej wymaga nie tylko zaaplikowania rozwiązań technologicznych, ale również wyboru określonych strategii tłoczenia.

Planowanie przepływu partii produktowych jest procesem ciągłym i cyklicznym, który nieustannie jest modyfikowany (więcej w rozdziale 1.3.2). Wartością wyjściową etapu planowania jest wyznaczenie przez operatorów rurociągowych terminu realizacji złożonego zamówienia. Decyzja operatorów rurociągowych uza-



Rysunek 2.1: Dostawy podstawowe i uzupełniające na przykładzie ropociągu PERN.

Źródło: [PERN 2012].

leżniona jest od kilku czynników o niejednakowej wadze:

- kolejności realizacji zamówienia;
- wolumenu nominacji;
- rodzaju transportu: produkt jednogatunkowy, wielogatunkowy;
- czasu transportu.

Wielokryterialne zadanie planowania przesyłu partii produktowych w rurociągach transgranicznych w praktyce często wymusza zastosowania tzw. zasady sztafety, czyli przenoszenia prawa wagi i pierwszeństwa składanych zamówień. Po każdym zrealizowanym zamówieniu klient przekazuje kolejnemu klientowi pierwszeństwo złożenia i realizacji swojego zamówienia. W ten sposób wśród praktyków wypracowano metodę niezależnej realizacji składanych nominacji.

Nominacje na produkt o tej samej klasie jakości wszystkich klientów danego operatora rurociągowego są konsolidowane, tj. tworzą jedną **partię produktową** (batch). Partia produktowa (batch) transportowana jest w zaplanowanym porządku przez operatora rurociągowego poszczególnych państw. Operatorzy rurociągu muszą „współdzielić” dostępne pojemności przesyłowe rurociągu². Podział wolumenu przesyłanej partii produktowej opiera się na proporcjonalnym udziale każdego nadawcy w zajmowanej przestrzeni magazynowej operatora rurociągu. Etap realizacji dostaw i monitoringu wymaga od operatora rurociągu wykonania planu opracowanego we wcześniejszym etapie przez dyspozytora. Działania operatora polegają na odebraniu produktu oraz jego przetłaczaniu międzyzbiornikowym - monitorowaniu faktycznego przebiegu transportu paliw.

Każdy kraj przewiduje opłaty za magazynowanie produktów naftowych. Rząd określa nie tylko wysokość podatku i termin, kiedy należy opłacić obowiązkowe należności, ale także dopuszczalny wolumen importowanych i eksportowanych partii produktowych. Poszczególni klienci muszą rozliczyć cały podatek zanim partia surowca/produktu zostanie wydana z parku zbiornikowego. Każdy klient powinien współpracować z koordynatorem rurociągu, który określa listę nadawców, odbiorców i wolumen produktów do wysłania. Koordynator, po usunięciu z rurociągu odpowiednich ilości partii produktowych dla rozliczonego klienta, przystępuje do realizacji kolejnych zamówień, zapewniając dostęp klientom do ich produktów paliwowych. Koordynator, w oparciu o zaplanowany harmonogram rafineryjny, powstały na bazie sekwencjonowania partii produktowych³ rozpo-

² Jak również pojemności magazynowe na tankowcach lub parkach zbiornikowych przy rafineriach.

³ Szczegółowy opis w rozdziale 1.3.1.

czyna przesył rurociągowy, tj. transfer partii produktowych najpierw do lokalnych parków zbiornikowych, aby począwszy od nich rozpocząć dalej drogowy lub kolejowy transport produktów paliwowych⁴. Niesprawne planowania dostaw po stronie operatora rurociągu doprowadza do sytuacji zakłóceń w transporcie paliw, w której klienci nie otrzymują produktu w żądanym przez siebie miejscu i czasie.

W przedostatnim etapie następuje **rozliczenie ilościowe** (*ang. balancing*). Zmiany poziomu wolumenu produktu w zbiorniku są ciągle monitorowane, a następnie przeliczane na standardowe ilości transportowe, tzn. wolumen produktu. Rozliczenie ilościowe ma na celu określenie wolumenu przetransportowanych partii produktowych oraz czasu ich dostawy.

Ostatnim etapem zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych jest **rozliczenie finansowe**. Proces ten najczęściej wykonywany jest za pomocą zintegrowanych zewnętrznych narzędzi np. SAP. Ostatecznie, po zrealizowaniu dostawy złożonej nominacji, klient otrzymuje rachunek, który następnie musi rozliczyć z odpowiednimi organami podatkowymi państwa.

Zarządzanie procesem transportu ropy naftowej i jej rafinowanych produktów jest wielokryterialnym procesem decyzyjnym, w wyniku którego może dochodzić do konfliktów nawet na skalę międzynarodową. Konflikt ten w szczególności wystąpić może w sytuacji, gdy dwóch odbiorców składa nominację na odbiór produktu w tym samym czasie. W praktyce, w takiej sytuacji jedynym rozwiązaniem jest zaakceptowanie, że jeden z odbiorców otrzyma produkt w innym aniżeli określonym przez siebie terminie.

Tankowce transportują 80 - 150 tysięcy ton⁵ ropy naftowej w czasie jednego rejsu. Dyspozytorzy starają się dyscyplinować swoich dostawców i odbiorców poprzez nakładanie opłat na miejsca oczekiwania statku na rozładunek (rzędu ok. 150 tysięcy dolarów za jeden dzień). Zabieg ten ma na celu usprawnienie procesu rozładunku tankowca i zwolnienie miejsca rozładunkowego kolejnym przybija-

⁴ Za pomocą autocystern lub wagonów cystern.

⁵ Supertankowiec TI Class (TI Africa, TI Asia, TI Europe, and TI Oceania) to największy wciąż operujący supertankowiec świata o długości 380 m, nośności (DWT) 441 893 ton.

jącym tankowcom, a także zmobilizowanie odbiorców do niekorzystania z przestrzeni magazynowych operatora rurociągu, co w ostatecznym rozrachunku ma wykluczyć przestoje, minimalizować dodatkowe ryzyko modyfikacji planów nominacyjnych i usprawnić proces rotacji miejsc rozładunkowych w porcie⁶.

Nowoczesne, rozbudowane rozwiązania systemowe zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych umożliwiają uwzględnienie charakterystycznych dla transportu branży naftowo-paliwowej aspektów, takich jak:

- transport jednogatunkowy lub wielogatunkowy - systemy monitorują i sterują przepływem różnych typów partii produktowych;
- istnienie indywidualnych operatorów (indywidualny system transportu) w każdym kraju - przekierowanie informacji między systemami różnych operatorów rurociągów transgranicznych;
- posiadanie zintegrowanej platformy zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych w celu uwzględnienia wszystkich etapów realizacji nominacji, ich harmonogramowania i sekwencjonowania.

Zarządzanie rurociągami paliwowymi oraz zapoznanie się z urządzeniami i technologią wykorzystywaną w tym zakresie unaocznia rolę i znaczenie kryterium sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych. Sprawne zarządzanie przepływem to gwarancja realizacji zadań transportu przesyłowego. Pojęcie sprawności dotyczy obszarów: sterowania, monitorowania oraz identyfikacji przepływu partii produktowych. Śledzenie przepływu partii produktowych, bezpieczeństwo i niezawodność dostaw (ochrona rurociągów, detekcja i lokalizacja przecieków, precyzja obliczeń) oraz analiza zdarzeń są kluczowymi wskaźnikami sprawności systemu zarządzania.

⁶ W dawnych czasach ropę naftową lub produkty paliwowe transportowano według planów wykonywanych w tzw. *Handtuch*, czyli na ręcznikach, zaznaczono kolorowymi kredkami kolejne partie transportowe (ich wolumen i kolejność) oraz obliczano ręcznie w zeszytach czas dostarczenia złożonych nominacji. Takie rozwiązanie powodowało, że najmniejsza modyfikacja wymagała tzw. strzepnięcia z ręcznika dotychczasowego ustalonego planu i ponownego opracowania całościowego harmonogramu (często wymagającego tylko drobnych zmian). Do dziś jeszcze wiele firm transportowych funkcjonuje bez systemu komputerowego.

Wydażność i niezawodność przesyłu ruociągowego partii produktowych ma zastosowanie do szybkiej identyfikacji sytuacji krytycznych, kontroli zdarzeń w całym ruociągu, spełnienia warunków technologicznych podczas wykonywania operacji, utrzymywania bezpieczeństwa procesowego ruociągów oraz umożliwienia dyspozytorom reakcji na wszystkie istotne zdarzenia.

Jak wykazano w rozdziale 1.2.2, wydażność (przepustowość) ruociągu jest podstawowym kryterium sprawnego zarządzania przesyłem partii produktowych. Zysk dla konsorcjów naftowo-paliwowych przede wszystkim wypracowuje przesłany wolumen produktu (zakwalifikowany do danej klasy produktowej przekazanej do punktów odbioru). Czynniki wpływającymi na sprawne zarządzanie przepływem partii produktowych w ruociągach transgranicznych są:

- maksymalizacja przepływu (wydażności ruociągu);
- minimalizacja liczby punktów odbiorczych;
- terminowość dostaw, w szczególności, gdy wzdłuż linii przesyłowej jest wiele punktów wydatkowania;
- dostarczenie produktu kwalifikowanego do sprzedaży (minimalizacja partii zmieszanych, zdegradowanych fizyko-chemicznie);
- minimalizacja ubytków partii produktowych z ruociągu (wyciek, kradzieże, zjawiska fizyko-chemiczne zachodzące podczas przepływu produktów, np. ściśliwość produktu);
- wykorzystanie nowoczesnej technologii do konstruowania i kontrolowania infrastruktury transportowej;
- automatyzacja działań operacyjnych (zautomatyzowane procedury przełączania pomp, obsługiwanie sytuacji krytycznych).

Według projektu badawczego przeprowadzonego przez Shivo [2012] na temat mierników sprawności przesyłu w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw (rezultaty przybliżono w tabeli 2.1) wynika, że jakość transportowanego

produktu została oceniona najwyżej (z notą 4.81). Kolejnymi istotnymi cechami sprawnie działającego systemu dostaw w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw są: niski koszt całkowity transportu oraz satysfakcja i sprawna obsługa klienta [Cai, Liu, Xiao i Liu 2008].

Tabela 2.1: Miary sprawności w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw. Przyjęta skala miary: 1 do 5, gdzie 1 oznacza „nie ważne”, a 5 „bardzo ważne”.

Miara sprawności w sektorze <i>downstream</i> paliwowego łańcucha dostaw	Średnia ocena	Odchylenie standardowe
Jakość produktu	4.81	0.74
Całkowite koszty dystrybucji	4.75	0.55
Obsługa i satysfakcja klienta	4.75	0.62
Czas dostawy	4.66	0.79
Dostępności ulażu (niewypełniona część zbiornika ładunkowego przeznaczona na rozszerzenie się ładunku wskutek zmian temperatury) i wykorzystanie magazynowanego produktu	4.63	1.01
Jakość usług	4.56	0.80
Śledzenie czasu dostarczenia zamówienia	4.44	1.01
Optymalne modele transportowe	4.41	0.95
Dokładność zamówień	4.35	0.95
Elastyczność zamówień	4.27	0.78
Stopień realizacji złożonych nominacji	4.26	0.82
Koszt przetwarzania danych	4.13	0.75
Korzyści skali z importu większego cargo	3.88	1.34
Zastosowanie IT i współpraca z dostawcami i innymi usługodawcami	3.77	1.20
Współpraca z pozostałymi rynkami paliwowymi	3.39	1.23

Źródło: [Shivo 2012].

P. Stevens w *Oil, Gas and Mining Policy Division of the World Bank* [2008], do głównej **macierzy mierników skuteczności** zarządzania przesyłem partii produktowych w rurociągach w sektorze *midstream* i *downstream* paliwowego łańcucha dostaw zalicza działania operacyjne i finansowe. Wśród mierników operacyjnych sektora *midstream* wyróżnia się: **wydajność (przepustowość) rurociągu, liczba i wolumen wycieków, czas wyłączenia rurociągu z pracy**

czyli brak możliwości tłoczenia (w wyniku np. prac naprawczych), wśród finansowych mierników: **koszty przesyłu i koszty utrzymania stacji**. Elementami macierzy czynników operacyjnych są: wydajność rafinerii, możliwości rafinacji paliw oraz straty z tym związane, dni utracone w wyniku awarii i wypadków, czas zatrzymania tłoczenia i produkcji paliw, wynagrodzenie pracowników. Elementami macierzy czynników finansowych są: koszty przetwarzania i rafinacji, koszty marketingu i dystrybucji, margines rafinacyjny oraz koszty utrzymania i nakłady inwestycyjne na rafinerie. W szczególności widać zatem głębokie zainteresowanie inwestycjami zwiększającymi wydajność przesyłu i mocy produkcyjnej rafinacji.

Systemy teleinformatyczne dedykowane zindywidualizowanym potrzebom systemów rurociągowych wspierają monitorowanie i nadzór nad procesem technologicznym przepływu partii produktowych w rurociągach transgranicznych i krajowych, a także często skonsolidowane są z zewnętrznymi systemami rozliczeniowymi klasy ERP, np. SAP.

Zarządzanie rurociągowym przesyłem partii produktowych odbywa się najczęściej za pomocą systemów SCADA, które umożliwiają pełne sterowanie i kontrolę systemów rurociągowych oraz nadzór nad transportem partii produktowych. Sprawność systemu zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych można rozpatrywać w czterech aspektach [Borysiewicz i Potemski 2005]:

1. funkcji podstawowych (wiedzy o stanie rurociągu oraz o medium);
2. zarządzania bezpieczeństwem i ryzykiem;
3. zarządzania jakością;
4. optymalizacji działań operacyjnych.

Wszystkie powyższe aspekty mają swoje odzwierciedlenie w kompleksowym procesie sprawnego przepływu partii produktowych w rurociągach transgranicznych.

Przez **funkcje podstawowe** należy rozumieć zaaplikowanie wyników zaawansowanych technik hydraulicznych zaimplementowanych do dynamicznego

modelu rurowodowego przepływu i kontroli partii produktowych. Dzięki temu istnieje możliwość rozpoznania ścieżki przepływu w sieciach i obwodach przepływowych, co sygnalizowane może być w systemie w postaci wygenerowanego profilu, m.in. prędkości przemieszczającego się medium.

Zarządzanie bezpieczeństwem działań operacyjnych i funkcjonowanie systemu rurowodowego polega na monitoringu przecieków, ocenie stopnia eksploatacji rur oraz symulacji predyktywnej⁷. Podczas procesu przesyłu partii produktowych w systemach rurowodowych musi być przestrzegany szereg restrykcyjnych regulacji dotyczących ochrony środowiska. Wiedza na temat detekcji i lokalizacji wycieków jest ważna nie tylko dla akcji zapobiegawczych i naprawczych, ale przede wszystkim - jeszcze na etapie prewencyjnym - służy podejmowaniu właściwych decyzji strategicznych w sytuacjach awaryjnych. Umożliwia pośrednio zrozumienie globalnych konsekwencji środowiskowych i ekonomicznych wynikających z niepoprawnie zabezpieczonych rurowodów transgranicznych.

Wspieranie **zarządzania jakością** partii produktowych polega na oszacowaniu wolumenu partii paliw kwalifikowanych do sprzedaży (i opodatkowania) jako partii danej klasy produktu, oraz oszacowaniu wolumenu frakcji utraconej - zmieszanej podczas transportu (stała kontrola i weryfikacja gęstości przesyłanej partii produktowej w rurowodowym systemie transportowym).

Automatyzacja rurowodowych działań operacyjnych przesyłu partii produktowych w istniejących systemach rurowodowych polega np. na optymalizacji pracy pomp. Sprawne zarządzanie przepływem partii produktowych, jako zadanie bezawaryjnego procesu transportu i maksymalizacji wykorzystania dostępnej infrastruktury przesyłowej, zawiera wykonanie wielu zadań inżynierskich. Minimalizacja kosztów transportu na etapie projektowym wiąże się z określeniem wskaźnika maksymalnej przepustowości rurowodu⁸ bądź też określenia minimalnej średnicy wewnętrznej rurowodu, umożliwiającej uzyskanie zadanej planami

⁷ Symulacja hydrauliczna umożliwiająca wyznaczenie wartości wyjściowych funkcji predyktywnej systemu, tzn. wartości kontrolno-pomiarowych wzdłuż linii przesyłowej, położenia partii i sprawności systemu, przy niezmiennych warunkach hydraulicznych systemu rurowodowego.

⁸ O zadanej średnicy wewnętrznej, jednostkowym spadku dna rurowodu, współczynniku chropowatości wewnętrznej rur i rodzaju przepływu.

tłoczeń przepustowości. Sytuacja ta występuje w przypadku narzucenia planu tłoczeń spełniającego minimalne ekonomiczne wymagania.

2.1 Paliwa płynne

2.1.1 Partie produktów paliwowych

Substancje ciekłe, tj. ropa naftowa i produkty ropopochodne⁹ oraz inne substancje chemiczne jak chlor, amoniak itp., należą do kategorii niebezpiecznych cieczy transportowanych rurociągami [Borysiewicz i Potemski 2005]. Ze względu na popyt na rynku energetycznym, to właśnie ropa i produkty ropopochodne są podstawowymi partiami produktowymi przesyłanymi w rozległych sieciach rurociągowych. Ropa naftowa, w swojej czystej surowcowej postaci, jest przesyłana przynajmniej jeden raz przez rurociąg, tj. z terminali importowych do rafinerii i w końcu do dystrybucji¹⁰ [Borysiewicz i Potemski 2005] (więcej w rozdziale 2.2.1).

Nieumiejtnie „zamodelowany” proces przesyłu partii produktowych stwarza, poza stratami finansowymi, duże zagrożenie pożarowo-wybuchowe, co wynika z łatwopalności oraz toksyczności substancji. Przepływ partii produktowych bowiem, to nie tylko ich fizyczne przemieszczanie (rysunek 1.5), ale w głównej mierze zarządzanie ich fizyko-chemicznymi własnościami w celu osiągnięcia określonych założeń przesyłowych i finansowych. Ropa naftowa i produkty rafinacji pod względem chemicznym są złożonymi mieszaninami wielu składników organicznych. Naturalnie skład produktów rafinacji różni się od ropy naftowej ponieważ w różnych procesach rafinacji¹¹ węglowodorów nasyconych tworzone są nowe związki organiczne. Sprawność przepływu partii produktowej w wymiarze ryzyka zaburzeń i wystąpienia ryzyka awarii wiąże się z własnościami fizyko-chemicznymi benzyny

⁹ Często są to produkty naftowe pochodzenia mineralnego oraz produkty petrochemiczne: benzyny, oleje ciężkie, gazy płynne, asfalty, paliwo lotnicze, związki aromatyczne (benzen, toluen, ksyleny).

¹⁰ Główna część przesyłu ropy naftowej ma miejsce we Francji, Niemczech i Włoszech, a innych produktów także w Hiszpanii i Wielkiej Brytanii.

¹¹ Schemat procesu rafinacji na przykładzie rafinerii w Schwedt został przedstawiony w załączniku 4.3.

i oleju napędowego¹² [Borysiewicz i Potemski 2005]. Własności fizyko-chemiczne zarówno benzyn, jak i olejów, podają **karty charakterystyki produktu** opracowane przez konsorcja naftowo-paliwowe np. PKN ORLEN S.A. Badanie próbki transportowanej partii produktowej jest standardowym działaniem operacyjnym, w wyniku czego w laboratorium próbek powstaje świadectwo jakości transportowanego medium. Paliwowe partie produktowe dystrybuowane przez poszczególnych operatorów rurociągów transgranicznych różnią się od siebie w zależności od przyjętego modelu biznesowego. W większości przypadków produktowymi rurociągami transgranicznymi transportowane są: olej napędowy (diesel) ON, benzyny silnikowe BS i paliwo lotnicze.

Krzywe trendów rynkowych w ostatnim czasie wskazują, że popyt na olej napędowy szybko wzrasta i przekracza krzywą popytu na benzyny. Ten trend może być również dostrzegany w innych regionach świata, włączając Afrykę, Azję i Ameryki. Wiele przedsiębiorstw dystrybuujących paliwa importuje coraz więcej oleju napędowego, póki rynek tych paliw utrzymuje tendencję wzrostową. Olej napędowy stosowany jest głównie w sektorze transportowym jako paliwo do środków transportu (takich jak samochody, statki i lokomotywy). Olej napędowy powszechnie stosowany jest jako paliwo do silników o dużym obciążeniu. Wiele obszarów zurbanizowanych wykorzystuje kerozynę na potrzeby oświetlenia i gotowania (np. Kenia). Popyt na benzyny charakteryzuje się tendencją malejącą. Bitumen i olej opałowy obarczone są dodatkowymi kosztami obsługi przesyłu, ponieważ są to oleje ciężkie i muszą być podgrzewane podczas transportu i magazynowania. Popyt na oleje opałowe jest wysoki, ponieważ obserwuje się wzrost liczby ogrzewanych zarówno małych, jak i dużych fabryk i obiektów przemysłowych. Paliwa lotnicze przesyłane są głównie do parków zbiornikowych na lotni-

¹² Do których należą [Borysiewicz i Potemski 2005]: (i) niska temperatura wrzenia i zapłonu, wysoka prężność par oraz duża lotność (duże parowanie), jak również tworzenie mieszanin wybuchowych w dość szerokim zakresie temperatur; (ii) znacznie większa gęstość par względem powietrza co powoduje, że pary węglowodorów gromadzą się przy powierzchni, w zagłębieniach i nie są rozpraszane przez wiatr lub prądy powietrza; (iii) mała gęstość i praktyczna nierozpuszczalność w wodzie, co powoduje, że substancje te gromadzą się na powierzchni wody i może nastąpić zapłon; (iv) zdolność do nagrzewania w głąb warstwy rozlanej, czemu towarzyszą wykipienia i wyrzuty płynącej cieczy powodujące rozszerzenie się pożaru; (v) strefa zagrożenia pożarem lub wybuchem zwykle obejmująca powierzchnię rozlewiska oraz dodatkowo w promieniu 20-30 m od jego granic, w zależności od wielkości rozlewiska.

skach (np. paliwowy park lotniczy w Gdańsku). Większość mniejszych operatorów rurowiągowych nie obsługuje dostaw paliw lotniczych.

Do produktów paliwowych dystrybuowanych przez operatorów rurowiągowych należą:

- silnikowy olej napędowy (ON AGO) (*ang. automotive gas oil*)¹³;
- benzyny silnikowe premium (BS-P);
- benzyny silnikowe regularne (BS-R);
- kerozyna (paliwo lotnicze JET);
- lekki olej opałowy (LOO);
- ciężki olej opałowy (COO);
- gaz płynny (LPG) (*ang. Liquefied Petroleum Gas*);
- przemysłowy olej napędowy;
- bitumen.

2.1.2 Pochodzenie produktów paliwowych

Kraje europejskie są niemal w całości (poza Wielką Brytanią, Norwegią i Szwecją)¹⁴ importerami netto produktów paliwowych. Produkty paliwowe mogą być importowane w postaci ropy naftowej lub końcowych produktów petrochemicznych. Kraje UE importują najwięcej ropy z krajów wchodzących w skład Wspólnoty Niepodległych Państw (WNP). WNP może zdominować rynek europejski nie tylko ze względu na bliskość geograficzną, ale także z tego powodu, że kraje tego ugrupowania nie są członkami OPEC, a zatem żadne dyrektywy nie wymuszają na nich ograniczeń wydobycia [Milewska 2006]. Według G. Milewskiej,

¹³ AGO znany także jako olej napędowy jest złożoną mieszaniną węglowodorów otrzymywaną przez zmieszanie frakcji uzyskanych w wyniku destylacji ropy naftowej, z dodatkami dla tej marki, aby zwiększyć wydajność.

¹⁴ Po odkryciu złóż ropy naftowej pod dnem Morza Północnego Norwegia (nie będąca członkiem UE) i Wielka Brytania są w stanie całkowicie pokryć swój popyt wewnętrzny i eksportować znaczną część produkcji partii paliwowych na rynek europejski.

import ropy naftowej do Europy z krajów b. ZSRR będzie rósł i stanowić będzie znaczne uzupełnienie kurczącego się wydobycia europejskiego¹⁵.

Kierunkami oficjalnego importu partii paliwowych w 2013 r. do Polski są [Przemysł i handel naftowy w roku 2013 2014]:

- Szwecja (import ON na poziomie 2%);
- Niemcy (import BSym:BS na poziomie 22% oraz ON na poziomie 36%);
- Słowacja (import BS na poziomie 47% i ON na poziomie 10%);
- Litwa (import BS na poziomie 18% i ON na poziomie 15%);
- Łotwa (import ON na poziomie 2%);
- Rosja (import ON na poziomie 4%);
- Białoruś (import ON na poziomie 14%).

Wiele konsorcjów paliwowych importuje paliwa z państw sąsiadujących. Niektóre konsorcja także kupują produkty paliwowe od innych konsorcjów paliwowych i sprzedają je na rynkach krajowych lub przesyłają rurociągami transgranicznymi do państw sąsiadujących. Źródła pochodzenia paliw płynnych dystrybuowanych na rynku można sklasyfikować według poniższych kategorii:

- import przemysłowy produktów paliwowych;
- import prywatny produktów paliwowych;
- przetwarzanie ropy naftowej w rafineriach krajowych;
- zakup od innych przedsiębiorstw paliwowych.

¹⁵ Obserwatorzy uważają, że istotny wzrost produkcji ropy w Rosji wywołał ograniczenie kwot produkcyjnych w krajach członkowskich OPEC, aby utrzymać podaż ropy na rynkach światowych. Mimo łatwego dostępu do zasobów Morza Północnego, ceny produktów ropy naftowej w Europie należą do najwyższych na świecie. Wynika to z wysokiej ceny ropy surowej, znacznych kosztów rafinacji, a także wysokiego opodatkowania produkcji i dystrybucji.

2.2 Infrastruktura przesyłowa paliw płynnych

2.2.1 System i sieci rurowodowe

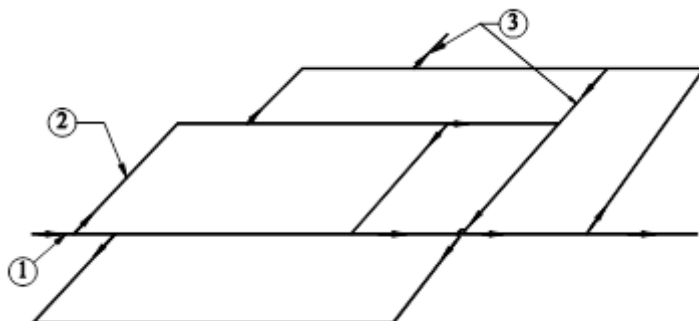
Wyróżniamy cztery rodzaje rurowodów, które ze względu na rolę, jaką pełnią w sieci, dzielimy na [Biedugnis i Smolarkiewicz 2004]:

1. rurowody zbierające (kolektywizujące, gromadzące);
2. rurowody zasilające;
3. rurowody przesyłowe (tranzytowe);
4. rurowody dystrybucyjne (magistralne).

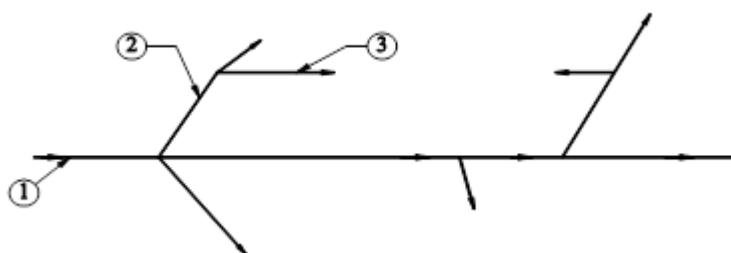
Rurowody zbierające transferują ropę naftową z głowic na platformie wiertniczej do naftowych urządzeń przetwarzania tego surowca i do stacji eksportujących. **Rurowody zasilające** transportują ropę naftową i inne produkty płynne z urządzeń przetwórczych i zbiorników do linii przesyłowych. Podobnie jak rurowody zbierające, nie posiadają one odgałęzień, ani punktów odbiorczych. **Rurowody przesyłowe** (tranzytowe) są jak autostrady w sieciach rurowodowych. Transportują ropę naftową i partie produktowe przez obszary kraju i ponad granicami państw. Są one przeznaczone do transportu partii produktowych na znacznie odległości. **Magistrale rurowodowe** (dystrybucyjne) są narzędziem lokalnych firm dystrybucyjnych lub współpracujących operatorów regionalnych. Magistrale te dostarczają paliwa do parków zbiornikowych, z których paliwo jest dystrybuowane za pomocą autocystern na stacje benzynowe (końcowych klientów detalicznych i indywidualnych). W zależności od układu przewodów w sieci, ich geometrii oraz wzajemnych połączeń, sieci rurowodowe dzielimy na [Kennedy 1993]:

- pierścieniowe (obwodowe)¹⁶ (rysunek 2.2);

¹⁶ W sieci obwodowej (pierścieniowej) poszczególne przewody tworzą zamknięte obwody, czyli pierścienie. Przepływ w pierścieniu może odbywać się w dowolnym kierunku, zależnie od rozkładu czynnych punktów czerpalnych. Jest to sieć hydraulicznie korzystna, gdyż połączenie przewodów magistralnych i rozdzielczych stwarza bardzo dobre warunki dla przepływu partii produktowych oraz wyrównania ciśnień. W odróżnieniu od sieci otwartej, sieć zamknięta zapewnia ciągłość dostawy partii produktowych, która w razie awarii przewodu może dopłynąć do miejsca poboru inną drogą.



Rysunek 2.2: Schemat pierścieniowej sieci rurociągowej.
Źródło: [PSI 2013].

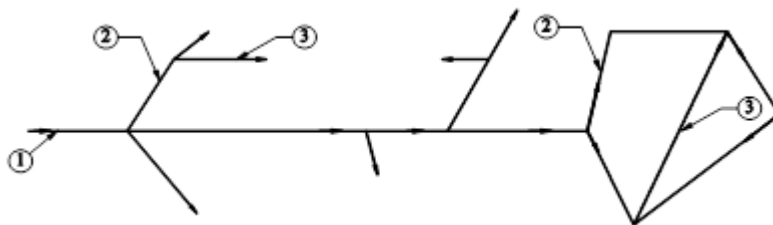


Rysunek 2.3: Schemat promienistej sieci rurociągowej.
Źródło: [PSI 2013].

- rozgałęzieniowe (promieniste)¹⁷ (rysunek 2.3);
- mieszane (rysunek 2.4).

Na rysunkach 2.3, 2.2 i 2.4 numerem 1 oznaczono sieci gromadzące, numerem 2 sieci tranzytowe, a numerem 3 sieci magistralne.

¹⁷ W sieci rozgałęzieniowej (promienistej) poszczególne przewody tworzą odgałęzienia od przewodów tranzytowych i nie są ze sobą połączone. Przepływ odbywa się jednokierunkowo. Jest to sieć hydraulicznie niekorzystna, gdyż wzdłuż poszczególnych rurociągów tranzytowych nie połączonych ze sobą wzajemnie powstają znaczne spadki ciśnień, powodujące wystąpienie dużych różnic ciśnień w poszczególnych punktach sieci. Wymusza to stosowanie rurociągów tranzytowych o większych średnicach niż średnice rurociągów tworzących odgałęzienia.



Rysunek 2.4: Schemat mieszanej sieci rurociągowej.
Źródło: [PSI 2013].

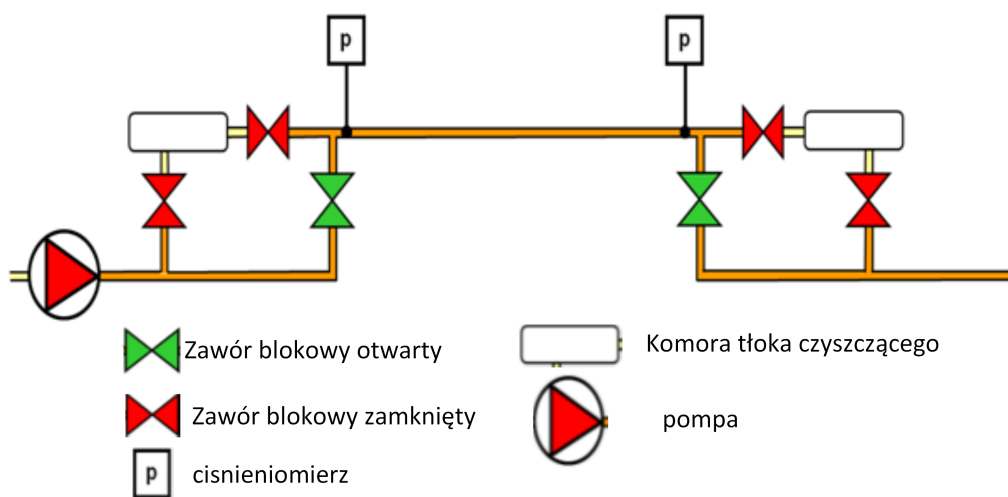
W praktyce spotyka się najczęściej układy rozgałęziowe lub mieszane (zwane sieciami pierścieniowo - promienistymi). Do najważniejszych zagadnień przy budowie modelu sieci należą [Duzinkiewicz 2009]:

- przepływ paliw w rurociągach i straty z tym związane;
- wpływ zaworów, pomp i zbiorników na przepływy i rozkład ciśnień w sieci.

Dla celów niniejszej pracy **system rurociągowy** zdefiniowany jest jako rura lub system rur służących do przesyłania partii produktowych do/z instalacji przesyłowej. System rurociągowy składa się z zespołu urządzeń technicznych i budowlanych, tj. pośrednich stacji pomp¹⁸, stacji rafineryjnych oraz innych punktów wyposażenia będącego ich integralną częścią, tj. stacji zaworów, urządzeń kontro-

¹⁸ Pompownie rurociągowie są to obiekty budowlane wyposażone w zespół pomp służących do podnoszenia partii produktowej w celu uzyskania wymaganych warunków jej przepływu w systemie rurociągowym. Jednym z elementów pompowni jest zbiornik czerpalny produktów paliwowych, przystosowany do poboru produktów paliwowych przez pompy. Pompownie w systemie rurociągowym można podzielić na: (i) I stopnia, zlokalizowane na ujęciach surowców; (ii) II stopnia, zlokalizowane na stacjach rafinacji; (iii) III stopnia, zlokalizowane na sieci rurociągowej. **Wydajność pompowni** i wysokość podnoszenia pomp ustala się stosownie do zadań przewidzianych dla pompowni w systemie rurociągowym, określających wielkość dostawy partii produktowych i wysokość wymaganego ciśnienia, z uwzględnieniem przyjętego cyklu pracy urządzeń rurociągowych. **Nominalna wydajność pompowni** odpowiada umownie maksymalnej przepustowości urządzeń pompowni, to jest sumarycznej wydajności równolegle pracujących pomp roboczych, bez uwzględnienia pomp rezerwowych. Stacje pomp na początku linii mogą, ale nie muszą być włączone, w zależności od ich związku z punktem początkowym.

li szczelności i zbiorników¹⁹. Dzięki nim możliwe jest wykonywanie codziennych czynności przesyłu do punktów odbioru zaplanowanego wolumenu partii produktowych w rurociągach. Rysunek 2.5 przedstawia schemat zawierający wyżej wymienione elementy systemu rurociągowego. Lokalizacja poszczególnych elementów w terenie oraz ich wzajemne usytuowanie zależą od naturalnych warunków terenowych, warunków ekonomicznych i przyjętych rozwiązań technicznych. Nie zawsze w systemie rurociągowym muszą występować wszystkie wyżej wymienione elementy. Prawidłowe funkcjonowanie systemu rurociągowego wymaga współpracy poszczególnych obiektów. Szczegółowy podział systemów rurociągowych i sieci jakie tworzą, a także tras, którymi mogą przebiegać, zostały zaprezentowane w



Rysunek 2.5: Schemat systemu rurociągowego.
Źródło: [PSI 2013].

ry jest sterowany i kontrolowany w systemie rurociągowym oraz ograniczony jest z obu końców co najmniej jednym (brzegowym) pomiarem kontrolnym - pomiarem ciśnienia, które wyznacza odpowiednio początek i koniec segmentu²⁰.

¹⁹ Zbliżona definicja została zaproponowana, podczas warsztatów EC w Berlinie w 1997 (poświęconych głównym zagrożeniom płynącym z istnienia rurociągów), jako możliwy instrument regulujący w UE.

²⁰ Sekcja rurociągu w szczególnych przypadkach może być określona przez pomiar przepływu - minimum jednego na początku sekcji.

2.2.2 Armatura kontrolno-pomiarowa

Sieci rurociągowo obejmują liczne, charakterystyczne urządzenia monitorujące, zarządzające i regulujące przepływ produktów płynnych. *Stacja wejściowa*, zwana także stacją tłoczącą lub dostarczającą, jest tym punktem systemu, w którym jest on wypełniony produktem, który będzie transportowany. Do tej kategorii zwykle zaliczone są zarówno obiekty magazynujące, jak i stacje pompowe. **Stacje liniowe**, zwane trasowymi punktami odbioru to te punkty, w których dyspozytor operujący na segmencie rurociągu wydaje część transportowanego produktu. **Stacja wyjściowa** (terminal końcowy) jest punktem przejęcia całkowitego przesłanego produktu. Te punkty systemu są zwyczajowo połączone z parkami zbiornikowymi, centrami dystrybucyjnymi, rafineriami lub klientami zajmującymi się dystrybucją na rynku lokalnym. Stacje magistrali wyposażone są w zawory blokowe, które umożliwiają włączenie lub wyłączenie danego odcinka rurociągu z sieci w celach bezpieczeństwa, działań operacyjnych lub naprawczych. Stacje te, najczęściej zwane stacjami liniowymi bez punktu odbioru, usytuowane są w sieci w określonej od siebie odległości, w zależności od warunków operacyjnych magistrali i charakterystyki posadowienia rurociągu. Często dzieje się tak, że infrastruktura przesyłowego transportu zbudowana jest ze stacji liniowych umieszczonych w odległościach 30-50 km, oraz stacji dystrybucyjnych umieszczanych co 5-30 km [Kennedy 1993]. **Sterownie** to terminale, na których ciśnienie na wyjściu rurociągu jest kontrolowane przez dyspozytora rurociągu. Ograniczenia górne i dolne, w szczególności ciśnienia (ale także temperatury i przepływy), na wyjściu i wejściu linii przesyłowej są kluczowymi parametrami projektowymi bezpiecznego procesu zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych. **Komory czyszczaka**, zwanego także tłokiem czyszczącym, są elementem wyposażenia infrastruktury transportu przesyłowego. Uruchomienie procedury czyszczenia tłoka polega na przepuszczeniu przez rurociąg urządzenia technologicznego, które oczyści ścianki rurociągu z resztek olejów i smarów oraz innych zanieczyszczeń. Dodatkowo, wewnętrzna inspekcja rurociągu przez tzw. inteligentne czyszczaki umożliwia nie tylko monitorowanie i detekcję uszko-

dzeń ścianek rur, ubytki, wycieki, anomalie techniczno-technologiczne, ale także pomiar położenia i wysokości posadowienia rury. **Punkty przeładunkowe** są tymi punktami systemu, gdzie magistrale przesyłowe łączą się z magistralami dystrybucyjnymi. W tych miejscach ciśnienie na wyjściu rurociągu jest zmniejszane, aby spełnić wymagania dotyczące ciśnienia panującego w segmencie dystrybucyjnym. Dodatkowo, do produktu dodawane są biokomponenty oraz inne substancje umożliwiające dystrybucję właściwych paliw do klienta końcowego. Zdalne sterowanie i nadzór nad rurociągowymi działaniami operacyjnymi znajduje się w **centralnych sterowaniach**. W tej jednostce odbywa się komunikacja, monitoring i kontrola różnorodnych urządzeń automatyki i kontrolno-pomiarowych, tj. ciśnieniomierzami, przepływomierzami, transponderami temperatury, zaworami, oświetleniem itd., które są usytuowane wzdłuż całej linii przesyłowej. Wszystkie dane pomiarowe są zbierane i archiwizowane w **lolanym sterowniaku** (terminalach paliwowym) (*ang. Remote Terminal Unit RTU*) i w czasie rzeczywistym przesyłane są do centralnej sterowni (przy wykorzystaniu GPS lub GIS). Stacje operatorskie wyposażone w komputerowy system SCADA wizualizują i sterują wszystkimi procesami zachodzącymi w rurociągu. Systemy SCADA to interfejs umożliwiający dyspozytorowi stały nadzór nad parametrami pracy urządzeń technologicznych, monitorowanie stanu hydraulicznego rurociągu, i na ich podstawie zarządzanie odcinkiem magistrali, tj. wykonanie określonych czynności dyspozytorskich (m.in. otwarcie/zamknięcie zaworu, załączenie/wyłączenie pompy). **Stacje pompowe**, zwane pompowniami są tymi elementami wyposażenia infrastruktury transportu przesyłowego i dystrybucyjnego paliw płynnych, które są instalowane w strategicznych punktach sieci. Mają swoje zastosowanie nie tylko przy transporcie produktu rurociągiem, za pomocą pomp głównych i liniowych, ale także w operacjach przetłaczania międzyzbiornikowego - za pomocą **pomp podporowych**. Głównym zadaniem stacji pomp jest wygenerowanie i utrzymanie odpowiedniego ciśnienia ssania/tłoczenia, aby umożliwić przemieszczanie się produktu wzdłuż przewidzianej infrastruktury transportu przesyłowego. Ciśnienie ssania wytwarzane przez pompy umożliwia pobranie produktu ze zbiornika, a ciśnienie tłoczenia umożliwia wtłoczenie produktu do systemu i przetranspor-

townie go do kolejnego terminalu paliwowego.

Zawory blokowe i regulujące są typowymi elementami wyposażenia systemu rurociągowego. Instalowane są w celach operacyjnych i bezpieczeństwa. Zamykanie/otwieranie zaworu umożliwia dyspozytorowi ograniczenie lub przekierowanie przepływu produktu z jednego punktu systemu do drugiego w celu dostarczenia złożonej nominacji do klienta lub w celu zabezpieczenia produktu przed wyciekami (w sytuacji, gdy doszło do rozszczelnienia rurociągu w którymś z jego odcinków). Wyłączenie odcinka z sieci transportowej jest również wymagane w sytuacji prowadzenia planowo odbywających się prac naprawczych lub modernizacyjnych na wybranych odcinkach rurociągu. W szczególności, zmniejszenie ciśnienia tłoczonych partii produktowych odbywa się za pomocą zaworów regulacyjnych (sterowanie stopniem otwarcia).

W branży naftowej obowiązują regulacje prawne i standardy określające usytuowanie i rodzaj zaworów regulujących w infrastrukturze przesyłowej. Powszechnie obowiązujące standardy to te, które wytyczone zostały przez: amerykański instytut petrochemiczny (*American Petroleum Institute API*) lub amerykańską organizacją standaryzującą (*American National Standards Institute ANSI*).

2.2.3 Parki zbiornikowe

Zbiorniki naziemne i podziemne budowane są w bazach paliw płynnych przeznaczonych do magazynowania, przetłaczania i dystrybucji ropy naftowej i produktów rafinacji. **Zbiorniki naziemne** to zbiorniki: (i) znajdujące się na otwartej przestrzeni, (ii) przysypane warstwą ziemi o grubości do 0,5 m lub (iii) umieszczone w pomieszczeniu. **Zbiorniki podziemne** to zbiorniki przykryte lub obsypane warstwą ziemi o grubości co najmniej 0,5 m oraz zbiorniki o osi pionowej, gdy ich dach znajduje się co najmniej 0,5 m poniżej powierzchni otaczającego terenu. Za zbiornik podziemny uważa się również zbiornik usytuowany w obudowie betonowej, przy czym najwyższy poziom magazynowanej ropy naftowej lub produktów naftowych powinien być co najmniej 0,2 m poniżej powierzchni otaczającego terenu, którego poziom wyznacza się po jego ostatecznym ukształtowaniu,

w odległości 6,5 m od płaszcza zbiornika. Ściana osłonowa zbiornika to ściana usytuowana wokół zbiornika w odległości 2-2,5 m od jego płaszcza, wykonana w celu zabezpieczenia przed rozlaniem ropy naftowej lub produktów naftowych w przypadku awarii zbiornika. Wymagania techniczne co do projektowania budowy, wytwarzania, osprzętu, badań i użytkowania zbiorników przeznaczonych do magazynowania ropy naftowej i produktów naftowych określają przepisy odrębne dotyczące zbiorników bezcisnieniowych i niskociśnieniowych²¹.

2.2.4 Prawo drogi i koncesje wydobywcze

Prawo do użytkowania korytarzy naziemnych i podziemnych, wzdłuż których posadowione są przewody rurowe przesyłowych rurociągów paliwowych, jest nazywane **prawem drogi** (*ang. right of way ROW*). Terminologia ta wywodzi się z prawa właściciela ziemi do udzielenia pozwolenia właścicielowi rurociągu do zbudowania, operowania i utrzymania rurociągu na terenie jego posadowienia²².

Warto zwrócić uwagę, że w przypadku rurociągów transgranicznych, tj. *Trans-Canada Keystone Pipeline* (z Hardisty w Kanadzie do Houston w Stanach Zjednoczonych), wymagane jest wydanie zgody przez odpowiednie organy i agencje rządowe do przekroczenia granic kraju, w tym przypadku *Presidential Permit* wydany przez Departament Stanu USA do przekroczenia granicy Stanów Zjednoczonych z Kanadą. Ponadto, wymagane jest wydanie zgody w postaci tzw. prawa drogi na zagospodarowanie terenu, przez który ma przebiegać linia rurociągu.

Ponieważ rurociągi są długoterminową inwestycją, zdarza się, że właściciel terenu, który wydał zgodę na wybudowanie rurociągu na swoim terenie, nie jest już jego aktualnym właścicielem. Tak więc, utrzymywanie bieżących informacji

²¹ Do magazynowania materiałów ciekłych zapalnych oraz zasadniczych wymagań dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów urządzeń ciśnieniowych. Zbiorniki naziemne o osi pionowej z dachem pływającym budowane mogą być wyłącznie stosowane w bazach paliwowych płynnych przeznaczonych do magazynowania i przeładunku ropy naftowej. Co ciekawe, w bazach paliw płynnych dopuszcza się magazynowanie ropy naftowej oraz produktów naftowych odpowiednio przystosowanych podziemnych wyrobiskach górniczych.

²² Konkretnie regulacje prawne i umowy określają zakres pozwolenia, co czasem wiąże się z poszerzeniem danej umowy z właścicielem terenu o elementy umożliwiające przeprowadzenie bieżących prac naprawczych uwarunkowanych utrzymaniem pracy rurociągu.

na temat tego, do kogo należy teren, przez który przebiega trasa rurociągu, należy do głównych zadań operatora rurociągu.

Spółka prowadząca prace poszukiwawcze dotyczące ropy naftowej i gazu, co do zasady nie jest właścicielem odkrytych złóż ropy naftowej, natomiast otrzymuje pozwolenia na prowadzenie prac poszukiwawczych i na wydobycie ropy naftowej od władz danego państwa²³. Powyższe pozwolenia wydawane są w postaci koncesji, zgody, umowy o podziale wpływów z wydobycia lub licencji. Koncesja składa się z dwóch części, z których pierwsza obejmuje prace poszukiwawcze, a druga wydobycie. Przyznanie koncesji następuje w drodze aukcji, zwanych także rundami licencyjnymi, na których spółki przedstawiają oferty zawierające opis zobowiązań, które gotowe są podjąć na danym obszarze i w określonym terminie. W niektórych przypadkach, otrzymanie koncesji wymaga wniesienia opłaty, jednakże najczęściej spotykaną praktyką jest ponoszenie opłat w sposób pośredni za prawo prowadzenia działalności poszukiwawczej i wydobycia, tj. poprzez samo inwestowanie w prace poszukiwawcze i zagospodarowanie złóż. Alternatywną procedurą obowiązującą w niektórych krajach jest procedura wolnych wniosków (*ang. open application system*), w ramach której spółki występują bezpośrednio z wnioskami dotyczącymi niekoncesjonowanych obszarów [ESMAP 2003]. W przypadku wykrycia na tych obszarach złóż ropy naftowej i gazu ziemnego, mających wartość komercyjną, koncesja na prace poszukiwawcze automatycznie zamienia się na koncesję wydobywczą, z obowiązkiem uiszczenia opłaty licencyjnej i/lub podatku, lub na umowę o podziale wpływów z wydobycia, przewidującą przekazywanie określonej ilości wydobytej ropy naftowej lub gazu ziemnego bezpośrednio na rzecz danego kraju. Koncesje na wydobycie wydawane są co do zasady na okres od 20 do 30 lat.

²³ Stany Zjednoczone są jedynym miejscem na świecie, gdzie wraz z własnością ziemi wchodzi się w posiadanie praw do złóż, które się kryją pod jej powierzchnią. Już dawniej w Wielkiej Brytanii ziemie dawane były wasalom, jednak zasoby w głębi ziemi pozostawały własnością właściciela (państwa) tj. wszystko, co znajdowało się na głębokości 6 stóp pod powierzchnią ziemi należało do właściciela, a powyżej 6 stóp ponownie do wasala. Tak jak niegdyś, tak i dziś zasoby ropy naftowej i gazu ziemnego stanowią własność państwa, w którym się znajdują.

2.3 Uwarunkowania eksploatacyjne rurociągów transgranicznych

Proces projektowania, budowy, wdrażania i utrzymania technologicznych rozwiązań zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych oprócz spójności rozwiązań transportowych i dystrybucyjnych partii paliwowych wymaga uwzględnienia i rozpoznania warunków lokalnych (często bardzo różnorodnych i charakterystycznych). Niestety, nie istnieje jedno podejście spełniające potrzeby każdej magistrali przesyłowej, lecz każde rozwiązanie jest precyzyjnie dopasowywane do istniejących warunków techniczno-ekonomicznych. Konsultanci i wdrożeniowcy zaczynają od szczegółowej analizy środowiska biznesowego oraz operacyjnego i na tej podstawie tworzą rozwiązania, które są dokładnie dopasowane do potrzeb instalacji technologicznych.

2.3.1 Czynniki różnicujące magistrale przesyłowe

Do czynników różnicujących magistrale przesyłowe zalicza się:

- wolumen partii paliwowych, który ma być tłoczony;
- wytrzymałość gruntu (np. stabilność dna morskiego);
- warunki środowiskowe (np. głębokość wody, ekosystemy morskie, temperatura otoczenia);
- topografia terenu (profil wysokościowy położenia nad poziomem morza);
- liczba punktów zbiornikowych;
- polityczno-ekonomiczne czynniki umożliwiające działania strategiczne (np. konflikty międzynarodowe, zabezpieczenie rezerw państwowych).

2.3.2 Założenia projektowe i wdrożenie systemów zarządzania rurociągami

Przy projektowaniu i budowie rurociągów przesyłowych partii paliwowych wykorzystuje się zestawy zasad odnoszących się do obowiązujących przepisów krajowych oraz norm. Zasady ogólne stanowią swoistą filozofię przygotowania projektu i budowy rurociągu. Precyzują m.in. następujące wymagania [Borysiewicz i Potemski 2005]:

1. warunki techniczne obejmujące zakresem całokształt zagadnień budowy rurociągu dalekosiężnego²⁴;
2. rurociągi technologiczne zarówno podziemne, jak i nadziemne należy konstruować dla najbardziej krytycznych warunków pracy;
3. wielkość wewnętrznego ciśnienia obliczeniowego (projektowego) użytego do obliczeń, w żadnym przypadku nie może być mniejsza od maksymalnego ciśnienia roboczego występującego w danym punkcie przesyłanego medium;
4. maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze (*ang. maximum acceptable operating pressure* MAOP) nie może przekraczać w czasie działań operacyjnych założonego ciśnienia projektowego;
5. w przypadku wystąpienia połączenia dwóch systemów rurociągowych o różnych ciśnieniach pracy, armaturę należy projektować dla bardziej krytycznych warunków;
6. wszystkie części składowe instalacji orurowania²⁵ powinny być zgodne z warunkami operacyjnymi określonymi w projekcie technicznym;

²⁴ Poszczególne tematy ujmują szczegółowe warunki odnośnie do prac przygotowawczych, systemu zapewnienia jakości robót, dostaw materiałów i urządzeń, robót ziemnych, transportu rur, zabezpieczenia rurociągu przed korozją: spawania i montażu, układania rurociągu i prób wytrzymałościowych.

²⁵ Rury, kolana, odgałęzienia, reduktory, połączenia kołnierzone itp.

7. przy budowie rurociągów przesyłowych należy stosować zasady ustalone w przepisach o organizacji wykonawstwa budowlanego²⁶;
8. budowę rurociągów przesyłowych należy realizować metodą potokową, która zabezpiecza ciągłość wykonawstwa wszystkich robót w ścisłej kolejności technologicznej.

2.3.3 Projektowanie bezpiecznych rurociągów

Przedsiębiorstwa naftowo-paliwowe są odpowiedzialne za bezpieczeństwo i niezawodność operacyjną systemów rurociągowych. Są one rygorystycznie poddawane kontroli i badaniom w tym zakresie przez szereg agencji (państwowe i międzynarodowe urzędy dozoru technicznego, np. TÜV).

W ostatnich latach dokonuje się znaczny postęp technologiczny w zakresie dostępnych środków bezpieczeństwa przesyłu partii produktowych. Należą do nich zaawansowane technologie bezpiecznego odpowietrzania zbiorników, systemy kontroli procesów rafinacji i dystrybucji paliw oraz nawigacji satelitarnej (GPS, GIS)²⁷.

Systemy GIS mają fundamentalne znaczenie dla sprawności zarządzania przepływem partii produktowych w zakresie identyfikacji obszarów szczególnie narażonych na zakłócenia dostaw paliw. Informacje o położeniu miejsc newralgicznych zwykle dostępne są w różnych systemach lub instytucjach [Borysiewicz i Potemski 2005]. Istnieje więc ciągła potrzeba posiadania scentralizowanej bazy danych powiązanej z mapami cyfrowymi, a GIS umożliwia wykorzystanie baz rozproszonych, tzn. dane są przechowywane lokalnie z odniesieniami do pozostałych danych.

²⁶ W tym zasady BHP w budownictwie, instrukcje regulujące wykonawstwo i odbiór poszczególnych rodzajów robót w kompleksie budowy rurociągów magistralnych i zatwierdzonych zgodnie z ustalonym planem.

²⁷ Istotne ulepszenia zostały wprowadzone również dla tankowców transportujących ropę naftową i paliwa płynne. Ze względu na liczne katastrofy ekologiczne związane z uwalnianiem surowca i jego rafinowanych produktów (np. katastrofa Exxon u wybrzeży Kanady skutkująca wyginieciem wielu gatunków zwierząt) wprowadzono obowiązek na początku 1990 r. zastosowania podwójnych kadłubów oraz wycofania na całym świecie wszystkich tankowców jednokadłubowych do końca 2015 r.

Wszystkie rurociągi winne być monitorowane przez systemy detekcji wycieków. Dziś najczęściej są to komputerowe systemy detekcji wycieków, które wykorzystują dwie niezależne metody monitorowania pracy rurociągu²⁸ (szczegółowo tematyka ta została poruszona w rozdziale 2.3.3). Rurociągowy przesył partii produktowych narażony jest na poważne ryzyko. Uwolnienie palnych i toksycznych materiałów może zainicjować zdarzenia awaryjne o katastrofalnych skutkach. Częstość i typ awarii oraz rozmiar skutków zależy w dużym stopniu od rodzaju paliwa oraz typu sieci²⁹.

W przypadku przesyłowych systemów rurociągów, pierwszy etap analizy ryzyka odnosi się do szczegółowego zapoznania się z obiektem, jego systemami, ich budową, zasadami ich funkcjonowania i wzajemnymi zależnościami. Wymaga analizy następujących grup problemów i zagadnień dotyczących [Borysiewicz i Potemski 2005]:

- zasad, norm i regulacji, które zostały uwzględnione przy projektowaniu i budowie rurociągów (aspekt bezpieczeństwa procesowego, zagrożeń dla środowiska oraz okolicznej ludności);
- przyjętego wzorca określającego minimum wymagań projektowych i wykonawczych o określonej strukturze³⁰. Analiza w tej części dotyczy norm i regulacji odpowiadających poszczególnym działom, w szczególności bada się, w jaki sposób zachowano spójność pomiędzy normami krajowymi i zagranicznymi³¹;
- ostatecznie przyjętych rozwiązań technicznych, w szczególności wskazań,

²⁸ Z czego zgodnie z API 1130 i niemieckim TRFL co najmniej jedna z technik musi obsługiwać zdarzenia zachodzące w stanie nieustalonym pracy rurociągu.

²⁹ Analiza awarii mających miejsce w przeszłości wskazują często pilną potrzebę systematycznych kontroli oraz ich znaczenie prewencyjne dla ochrony przed kolejnymi awariami. Zdobyte doświadczenia w tej sferze stanowią również podstawę do uaktualnienia i modyfikacji obowiązujących regulacji prawnych.

³⁰ Dotyczy to „zasad ogólnych”, zastosowanych materiałów, założeń projektowych dotyczących rur, wymagań dotyczących konstrukcji elementów rurociągu (rur, stacji pomp, zaworów, urządzeń kontrolno-pomiarowych). Standardy te również dotyczą realizacji projektu m.in. spawania i łączenia elementów.

³¹ Dotyczy to również wymagań nakładanych na opracowania bazujące na normach zagranicznych, które wymagają uzupełnienia luk w regulacjach krajowych.

które środki techniczne i proceduralne są zrealizowane dla zapobiegania awariom i minimalizacji ich skutków³²;

- przyjętych lub będących w opracowywaniu procedur eksploatacji. Wiąże się to z analizą obsługi operatorskiej w stanach normalnych i awaryjnych oraz analizą rozwiązań zapewniających integralność systemu rurociągu (systematyczna identyfikacja kluczowych elementów ryzyka³³. Analiza ryzyka każdego segmentu rurociągu prowadzić powinna ostatecznie do zapobiegania nieprawidłowościom w działaniach operacyjnych - zezwalać również na wprowadzenie do systemu dodatkowych (lub modyfikacji istniejących) środków zapobiegających powstaniu możliwych awarii;
- planów postępowania awaryjnego.

Model spełniający wymienione wyżej kryteria zapewniałby **integralność i sprawność działań w zakresie zarządzania przepływem partii produktowych w systemach rurociągowych** oraz stanowiłby najważniejszą część systemu zarządzania bezpieczeństwem³⁴.

Wdrożenie systemów zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych następuje w momencie, gdy fizyczna infrastruktura rurociągową zostanie już zainstalowana i wyposażona we wszystkie elementy wyposażenia operacyjnego oraz bezpieczeństwa³⁵. Gdy ostatni etap - test hydrostatyczny

³² Zarówno w wypadku samego rurociągu, jak i innych elementów systemu rurociągu (stacji pomp, zaworów, zbiorników i upustów bezpieczeństwa, systemów kontrolno-pomiarowych, systemów alarmowania, centralnych/lokalnych sterowni, ich funkcje i wyposażenie w aspekcie informacji, jakie można tam uzyskać o parametrach ważnych dla bezpieczeństwa i możliwości zdalnego reagowania).

³³ Należą do nich: programy inspekcji rurociągu, zasady prowadzenia testów i konserwacji, programy ochrony przed uszkodzeniami ze strony trzeciej, programy zarządzania korozją, programy kontroli grubości warstwy przykrywającej rurociąg lub efektywności innych rozwiązań chroniących rurociąg przed uszkodzeniem, tj. prognozowanie zmęczenia materiałowego w wyniku wahań ciśnienia, związanych z błędami w eksploatacji.

³⁴ Wprowadzenie modelu zarządzania przepływem partii produktowych w systemach rurociągowych może się odbywać w ramach obowiązujących już regulacji prawnych dotyczących stałych instalacji przemysłowych objętych Dyrektywą UE *Seveso II*, jak również tych przewidzianych nowymi regulacjami UE dotyczącymi bezpośrednio bezpieczeństwa rurociągów przesyłowych [Borysiewicz i Potemski 2005].

³⁵ Etap wdrożenia prac konstrukcyjno-budowlanych i montażu obejmuje [Borysiewicz i Potemski 2005]:

- przed dostarczeniem na miejsce montażu: wytworzenie elementów rurowych, pokrycie

wykaże, że system jest w pełni sprawny, usuwa się wodę z rurociągu i ustawia rurociąg do pracy³⁶.

2.3.4 Uwarunkowania występowania zakłóceń i awarii przesyłu

Dla konsorcjów naftowo-paliwowych szczególnie istotnym celem strategicznym jest maksymalizacja efektywności przepływu paliw i ropy naftowej w bezpiecznych warunkach operacyjnych. Efektywność transportu przesyłowego zależy od infrastruktury rurociągowej. Im większe jest natężenie przepływu surowca i produktów naftowych tym większy jest wolumen dostawy oraz krótszy jest czas jej realizacji. Stąd średnica rury w infrastrukturze rurociągowej stanowi jedno z podstawowych kryteriów inwestycyjnych. Nakłady inwestycyjne na etapie konstrukcyjnym są największe, bowiem transport przesyłowy cechuje się dużymi kosztami stałym (konstrukcji) i małymi kosztami zmiennymi (operacyjnymi). Dane statystyczne podają tylko 3 przypadki zgłoszone w latach 1971-2012 r. dotyczących rozmiaru negatywnych skutków płynących z użytkowania rurociągów. Ostatni wypadek (utrata zdrowia lub uszkodzenia mienia) związany z rurociągami został odnotowany w 2006 r. W przeciągu 42 lat odnotowano 14 zgonów spowodowanych zagrożeniami płynącymi z użytkowania rurociągów, spośród których ostatni pochłaniający 1 ofiarę miał miejsce w 1999 r. W ostatnich 38 latach miało miejsce 9 pożarów, z których ostatni miał miejsce w 1999 r. Do pożaru najczęściej dochodzi

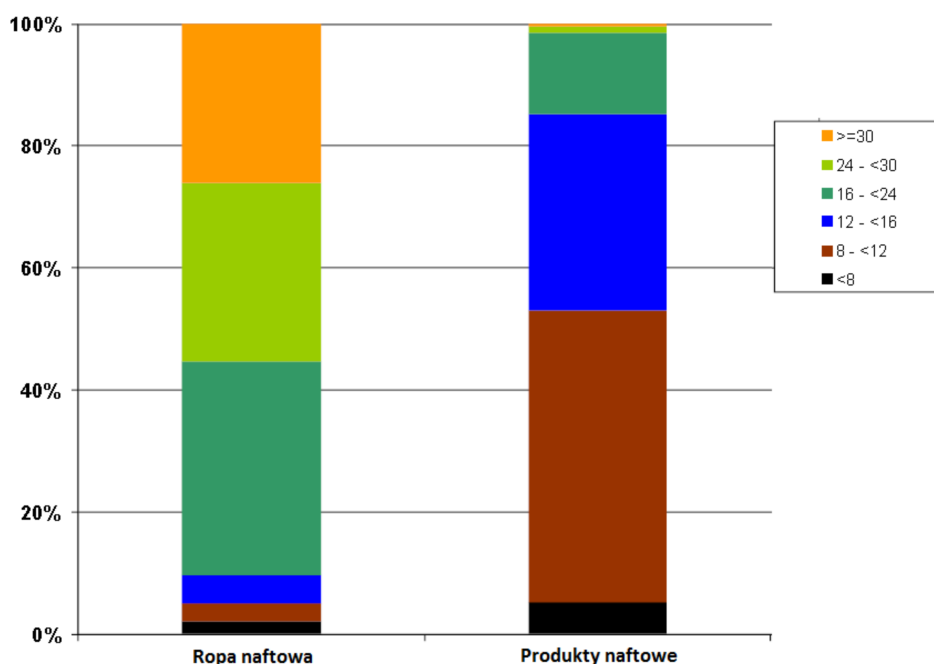
rury płaszczem antykorozyjnym, zastosowanie izolacji;

- montaż: spawanie rur i budowa rurociągu (np.za pomocą barek na morzach. W celu zapewnienia właściwej jakości spawu i integralności systemu rurociągowego każdy spaw musi być skontrolowany za pomocą urządzeń wykorzystujących promieniowanie rentgenowskiego (*ang. X-ray*) i/lub techniki ultradźwiękowe);
- instalację na terenie przeznaczenia;
- przeprowadzenie testu hydrostatycznego - kontrola integralności systemu rurociągowego pod ciśnieniem.

³⁶ Ogromna większość rurociągów przebiega pod ziemią lub pod wodą i w konsekwencji narażona jest na przypadkowe zniszczenie lub korozję. Większość ludzi nie jest świadoma zarówno istnienia i rozmiarów istniejącej sieci rurociągów, jak i objętości substancji przepływających przez te sieci. W wielu przypadkach, sieci rurociągów są używane do transportowania substancji na długich dystansach i pomiędzy granicami różnych krajów. Trasy biegną tam, gdzie jest to możliwe, przez tereny wiejskie, jednak u swych źródeł i w punktach docelowych zbliżają się do terenów zurbanizowanych. Dodatkowo w wyniku postępującej urbanizacji trudno jest utrzymać rurociągi z dala od osiedli.

podczas podejmowania czynności naprawczych i konserwacyjnych [CONCAWE 2013].

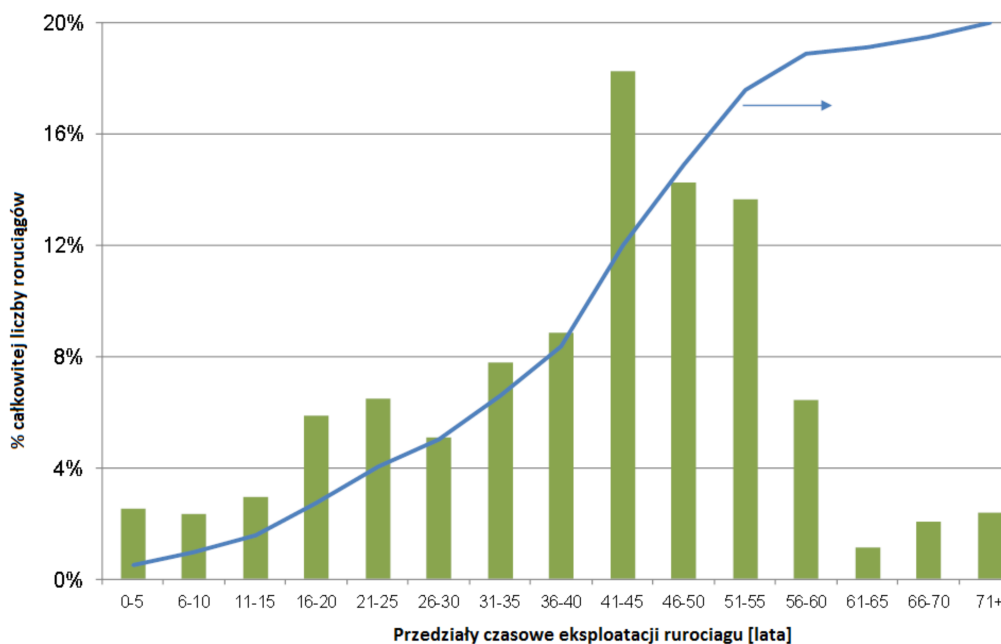
Rysunek 2.6 przedstawia rozkład średnicy rur wykorzystywanych do przesyłu ropy naftowej i produktów naftowych (benzyna silnikowa, olej napędowy, olej opałowy, paliwo lotnicze) w Europie Zachodniej w 2012 r. W ropociągach transportujących surowiec wyraźnie widoczna jest tendencja do wykorzystywania rur o większych średnicach (powyżej 16") aniżeli w ruropociągach transportujących rafinowane produkty gotowe (poniżej 24"). Infrastruktura przesyłowa co trzeciego ropociągu w Europie Zachodniej zbudowana jest z rur o średnicy 16"-24". Ponad połowa infrastruktury przesyłowej wykorzystywanej przez operatorów ruropociągowych zarządzających przepływem ropy naftowej to rury o znacznie wyższych średnicach: 24"-30" (27%) oraz powyżej 30" (25% łącznej liczby ruropociągów). Natomiast transport przesyłowy benzyn silnikowych, olejów napędowych,



Rysunek 2.6: Rozkład średnicy rur w ropociągach i ruropociągach produktowych w Europie Zachodniej w 2012 r. według typu przesyłanego medium (ropa naftowa, produkty naftowe).

olejów opałowych i innych produktów naftowych tylko w około 15% przypadków odbywa się w rurociągach o średnicy 16”-24”. Najczęściej transport produktów naftowych odbywa się za pomocą rurociągów produktowych o mniejszych średnicach, tj. 8”-12” (51% łącznej liczby rurociągów).

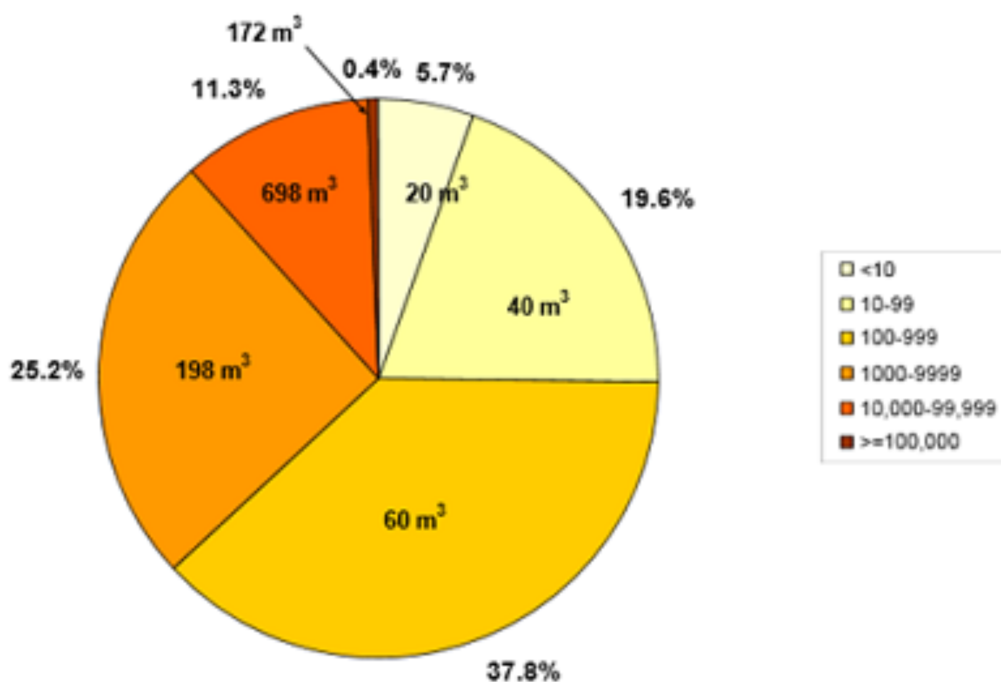
Kolejnym czynnikiem, jednocześnie istotnym kryterium bezpieczeństwa dostaw, jest czas eksploatacji rurociągów. Rysunek 2.7 przedstawia czas eksploatacji rurociągów przesyłających partie produktowe i surowcowe w Europie Zachodniej. Około 60% funkcjonującej infrastruktury rurociągowej jest eksploatowana już od ponad 40 lat. Od 2007 r. całkowitą liczbę eksploatowanych rurociągów zwiększono zaledwie o 3%.



Rysunek 2.7: Czas eksploatacji rurociągów w Europie Zachodniej w latach 1971-2012.

Źródło: [CONCAWE 2013].

Liczba awarii w roku na 1000 km rurociągów ropy naftowej i gotowego produktu w Europie powoli spada, pomimo że monitorowany wolumen wycieku wzrasta. Częstotliwość występowania wycieków stopniowo maleje. Rysunek 2.8 przed-



Rysunek 2.8: Powierzchnia obszaru zagrożenia i rozmiar wycieków w rurociągach Europy Zachodniej w latach 1971-2008.

Źródło: [CONCAWE 2013].

stawia powierzchnię obszaru dotkniętego zdarzeniami wyciekowymi. Relatywnie powolne wycieki o dużej objętości, tj. powyżej $170 m^3$, stanowią mniej niż 1% wszystkich zdarzeń alarmowych (są to tzw. przesieki gruntowe), doprowadzają do największych strat zanieczyszczenia terenów - powyżej $100\ 000 m^2$. Najczęściej występują wycieki (37.8 % łącznych zgłoszonych zdarzeń awaryjnych) o wolumenie $60 m^3$. Wycieki tej klasy zanieczyszczają obszar o powierzchni od $100 m^2$ do nawet $999 m^2$.

Przyczyn awarii rurociągów można upatrywać w różnych zagrożeniach sklasyfikowanych w 6 grupach:

- I klasa: wady wynikłe z błędów montażowych i wady materiałowe³⁷;

³⁷ Należą do nich wady wynikłe z błędów projektowych, wadliwy materiał fabryczny rur, niepoprawna specyfikacja materiałowa, czas eksploatacji lub poziom zużycia, wada konstrukcyjna, niepoprawna instalacja, wady wynikłe z błędnych działań montażowych, błędy w sztuce budowy rurociągu, awarie armatury (nieszczelności zaworów, usterki działania zasuw itp.) wady spoiny,

- II klasa: awarie spowodowane korozją³⁸;
- III klasa: oddziaływania stron trzecich. Wyróżnia się (i) celową działalność osób trzecich: terroryzm, wandalizm, kradzieże oraz (ii) przypadkową działalność osób trzecich³⁹;
- IV klasa: przyczyny naturalne (ruchy mas gruntu)⁴⁰;
- V klasa: przyczyny mechaniczne (omyłkowe nawiercanie)⁴¹;
- VI klasa: inne.

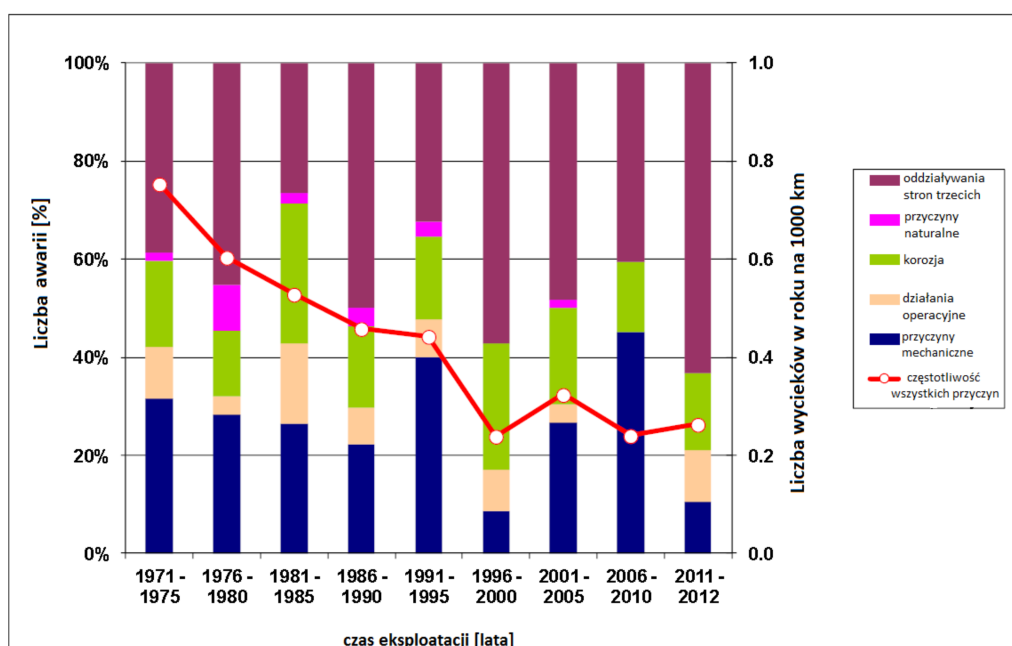
Rysunek 2.9 przedstawia liczbę awarii danej klasy w Europie Zachodniej w latach 1971-2012 r. Oddziaływania stron trzecich stanowią podstawową przyczynę awarii i zakłóceń przepływu w rurociągach w Europie Zachodniej. W latach 2011-2012 ponad 60% całkowitej liczby awarii rurociągów spowodowanych było oddziaływaniem stron trzecich, około 15% liczby awarii spowodowanych było korozją, tylko 10% awarii powstało na skutek niewłaściwej eksploatacji i błędów operacyjnych, a pozostała liczba awarii to wady wynikłe z błędów montażowych i wad materiałowych. W porównaniu do lat ubiegłych (2006-2010 r.) obserwuje się znaczny spadek liczby awarii w kategorii błędów mechanicznych (montażowych i materiałowych armatury i rur), co odzwierciedla rezultaty prowadzenia aktywnej polityki informacyjnej w tym zakresie dla operatorów rurociągowych i konsorcjów naftowo-paliwowych podczas eksploatacji i diagnostyki rurociągów dalekiego zasięgu. Trend z ostatnich lat pozostaje ten sam: proporcja przypadkowej działalności od stron trzecich i celowej działalności rośnie w ostatnich latach i ich stosunek do siebie są zbliżone. W latach 2008-2012 odnotowano 5 przypadków niewłaściwa eksploatacja.

³⁸ Awaria rury ochronnej (korozja zewnętrzna) lub rury produktowej (korozja wewnętrzna), zakłócenia ochrony katodowej.

³⁹ Uszkodzenia od sił zewnętrznych mogą prowadzić do przebicia i lokalnego wycieku ropy lub do tzw. wybuchowego uszkodzenia rurociągu, tj. wycieku całości transportowanej ropy naftowej lub paliwa, gdy materiał rury nie wytrzyma ciśnienia panującego w rurociągu i ciśnienie rozrywa uszkodzoną rurę.

⁴⁰ Przesunięcia mas gruntu, trzęsienia ziemi, powodzie, zapadanie się rurociągu.

⁴¹ Wady mechaniczne, uszkodzenia rurociągu wywołane są najczęściej ciężkim sprzętem rolniczym lub leśnym, intensywnym ruchem drogowym lub kolejowym nad zakopanym rurociągiem.

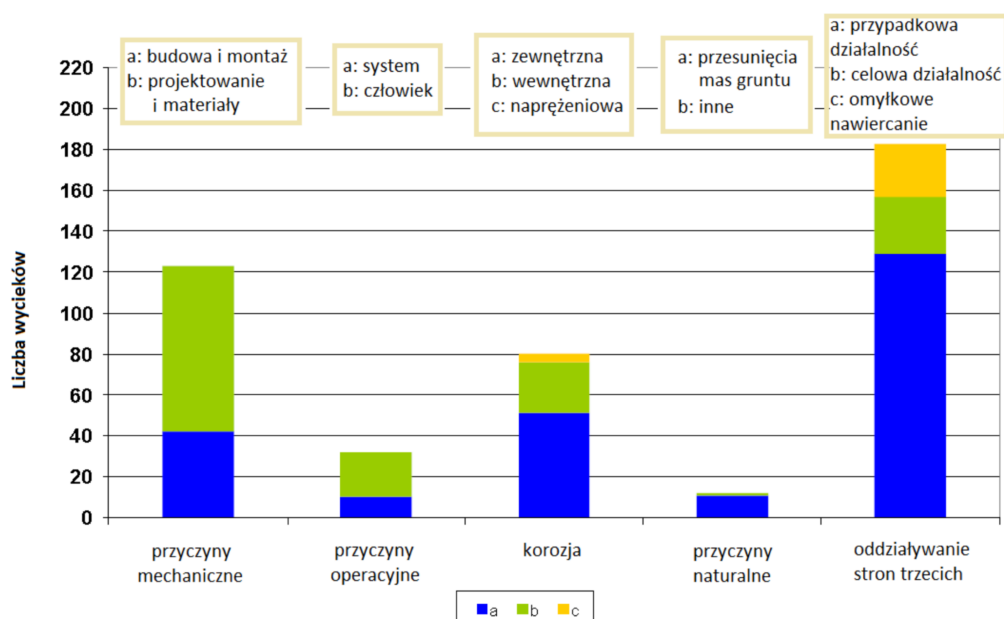


Rysunek 2.9: Liczba awarii wg. kategorii w Europie Zachodniej w latach 1971-2012 r.

Źródło: [CONCAWE 2013].

celowej działalności ze stron trzecich i aż 13 przypadków przypadkowej działalności i omyłkowego nawiercania. Częstotliwość awarii spowodowanych korozją powoli lecz stabilnie się zmniejsza (rysunek 2.10). Istotnym czynnikiem mającym wpływ na poprawę tej sytuacji jest kwestia przeprowadzania inspekcji wewnątrz rurociągowych III. Pomimo wzrostu całkowitej liczby awarii w ostatnich latach (z 7 zdarzeń w roku 2011 do 12 zdarzeń w 2012 r.), liczba awarii spowodowanych zagrożeniami w kategorii przyczyn mechanicznych spada.

Średni wolumen wycieków spowodowanych awarią na skutek działań operacyjnych i korozji jest stosunkowo mały do wolumenu wycieków w innych kategoriach - $77 m^3$ z przyczyn operacyjnych i około $110 m^3$ w wyniku korozji (rysunek 2.11). Celowa i przypadkowa działalność stron trzecich powoduje ubytek bilansu produktu prawie dwukrotnie większy, w wysokości $173 m^3$. Największe wycieki, rzędu $230 m^3$ produktu, są spowodowane błędami mechanicznymi (montażo-

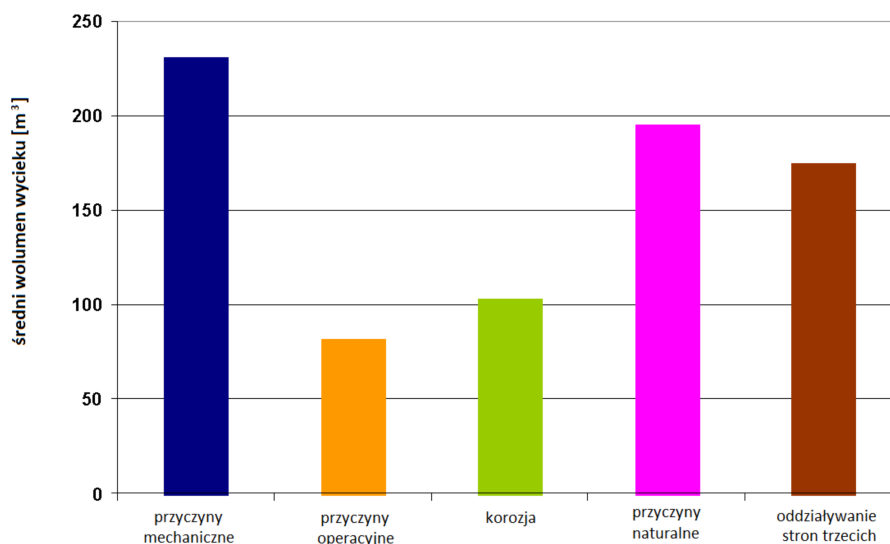


Rysunek 2.10: Liczba awarii wg. przyczyn kategorii zagrożeń.

Źródło: [CONCAWE 2013].

wymi, materiałowymi i projektowymi). Zbliżony wolumen wycieku, ok. 200 m³ spowodowany jest przyczynami naturalnymi (powodziami, wstrząsami ziemi). Oddziaływanie stron trzecich stanowi istotną przyczynę (ponad 40% wszystkich zdarzeń awaryjnych) powstawania wycieków w rurociągach - 180 zdarzeń alarmowych spowodowanych zostało celową lub przypadkową działalnością stron trzecich. Spośród nich 126 wypadków to wynik omyłkowych wykopów, 28 zdarzeń dotyczyło przypadkowej działalności stron trzecich związanych z opóźnionymi w czasie konsekwencjami uszkodzeń, wad i błędów działalności stron trzecich (rysunek 2.12). Co ciekawe, od 2008 r. obserwowany jest silny wzrost liczby celowej działalności stron trzecich, np. kradzieży ropy naftowej i gotowych produktów z rurociągów w Europie Zachodniej.

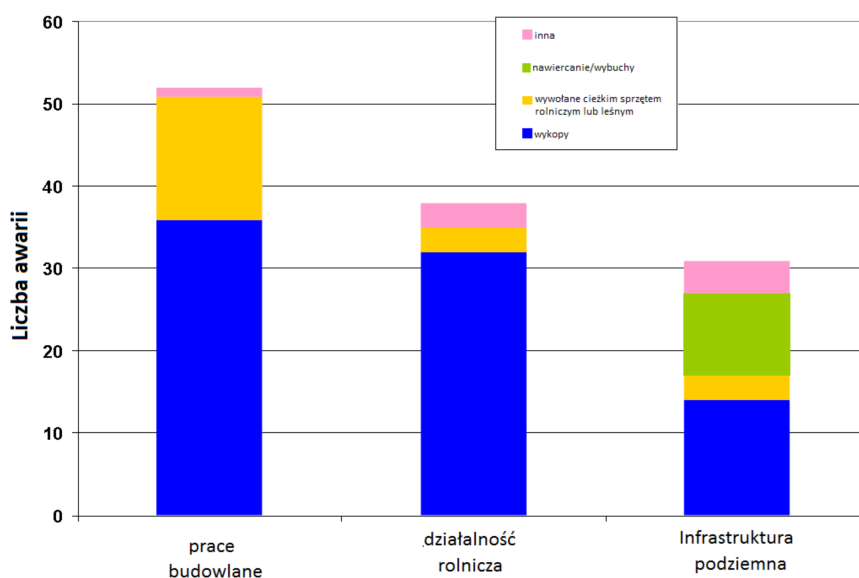
Rysunek 2.13 przedstawia lokalizację zdarzeń awaryjnych ze względu na położenie armatury i konstrukcję infrastruktury przesyłowej rurociągów w Europie Zachodniej w latach 1995-2012 r. W zależności od przyczyny awarii, najczęściej do



Rysunek 2.11: Liczba awarii wg. przyczyn kategorii zagrożeń.

Źródło: [CONCAWE 2013].

wycieku dochodzi w wyniku wykonania odwiertu, dziury na odcinkach rurowych instalacji: w wyniku oddziaływania stron trzecich jest to około 90% przypadków, w wyniku korozji około 80% łącznej liczby zarejestrowanych zdarzeń, błędy operacyjne prowadzą do wycieków na tych odcinkach w niemal 40%, a błędy w wyniku działań mechanicznych powodują co piąty wyciek na odcinkach rurowych. Co ciekawe, w wyniku ruchu mas gruntu, powodzi i innych oddziaływań naturalnych dochodzi do wycieku ropy naftowej lub gotowych produktów w miejscach występowania nadpęknięć w strukturze materiałowej rurociągu. Ponadto, w wyniku działań mechanicznych, ma miejsce uwolnienie produktu z rurociągu tam, gdzie zlokalizowane są zawory (około 20% zdarzeń alarmowych) i spoiny oraz rozgałęzienia tras przepływowych (około 20%). Wycieki w okolicach pomp również narażone są na zagrożenia płynące z działań mechanicznych (konstrukcyjno-montażowych), stanowią około 8% zdarzeń w tej kategorii. Komory czyszczaka to lokalizacja, gdzie ma miejsce około 12% awarii w kategorii działań operacyjnych

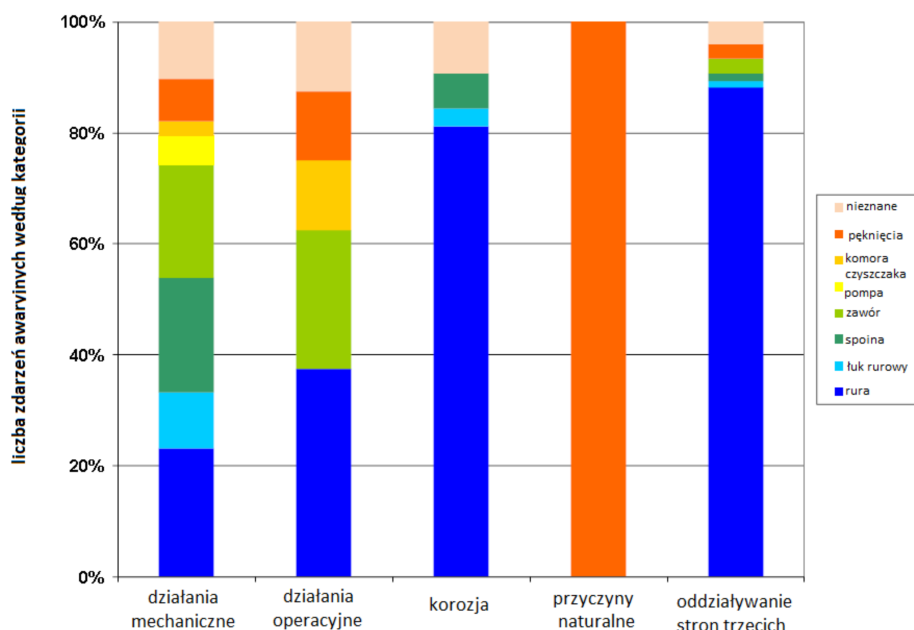


Rysunek 2.12: Liczba awarii w wyniku oddziaływania stron trzecich.

Źródło: [CONCAWE 2013].

(poprawności eksploatacji i procedur tłoczenia).

Państwa biorące udział w przesyłowym transporcie lub tranzycie ropy naftowej i gotowych produktów zabezpieczają się przed sytuacjami zagrożenia bezpieczeństwa paliwowego państwa i zakłóceń na rynku naftowo-paliwowym. Operatorów rurociągowych obowiązują różnego rodzaju normy i regulacje prawne dotyczące zasad postępowania w tych sytuacjach oraz ustawy o tworzeniu zapasów (rezerw) ropy naftowej i produktów naftowych. Najważniejsze jest jednak zrozumienie i zapoznanie się z rodzajem zakłóceń, przyczynami i ich charakterem oraz przeciwdziałanie ich skutkom. Konkludując należy wskazać, że awarie związane z niepoprawną eksploatacją, działaniami operacyjnymi, wadą materiałów oraz korozją powodują wycieki o mniejszym wolumenie. Operatorzy rurociągów i właściciele infrastruktury przesyłowej są informowani o awariach spowodowanych działalnością stron trzecich, niemniej nie zmienia to faktu, że sytuacje zakłócenia dostaw (w postaci np. wycieków) wciąż mają miejsce.



Rysunek 2.13: Liczba zdarzeń awaryjnych według lokalizacji elementów konstrukcyjnych i armatury rurociągów w Europie Zachodniej w latach 1995-2012.

Źródło: [CONCAWE 2013].

2.4 Systemy zarządzania przepływem partii produktowych

Systemy zarządzania rurociągami zapewniają sterowanie i wizualizację procesów transportu ropy naftowej i produktów ropopochodnych rurociągami, odpowiadają za napełnianie i opróżnianie zbiorników, wizualizację parametrów techniczno-eksploatacyjnych (temperatura, poziom w zbiorniku, ciśnienie, przepływ, gęstość, wibracje, pomiary prądu, napięcia, mocy itp.)⁴².

Systemy SCADA mają na celu zapewnienie zintegrowanej obsługi w zakresie sterowania, kontroli parametrów, archiwizacji, raportowania oraz diagnostyki dla realizowanych procesów technologicznych. System SCADA ma zastosowanie do

⁴² Instalacje nalewczyste cystern kolejowych i samochodowych są wyposażone w legalizowane instalacje pomiarowo-rozliczeniowe do określenia objętości wydanych z terminala partii produktowych w jednostkach objętościowych (litry, metry sześciennie - wartość znormalizowana). Obliczanie tych ilości prowadzi się metodą objętościową określoną w standardzie API-MPMS lub współczynników przeliczeniowych pochodzących z tabel API wprowadzonych normą PN-ISO 91-1.

celów utrzymania i bezpieczeństwa funkcjonowania linii przesyłowych, jak również do kontroli jakości i optymalizacji zasobów. Podstawowe funkcje tego systemu obejmują mierniki sprawności opisane w rozdziale 3.3 do celów:

- przyjmowania/wydawania produktów;
- kontroli partii paliwowej;
- tłoczenia produktu;
- przetłaczania produktu pomiędzy zbiornikami w parku zbiornikowym;
- wykrywania ewentualnych zakłóceń procesu przesyłu partii produktowej w systemie rurociągowym.

Nowoczesne oprogramowanie SCADA umożliwia zaawansowane modelowanie przepływów hydraulicznych w stanie nieustalonym. Dyspozytor za pomocą oprogramowania interaktywnie może zasymulować dynamiczny przepływ produktów jednorodnych lub partii produktowych lub zmieszanych produktów w sieci rurociągów przesyłowych. Możliwe jest zamodelowanie i wprowadzenie do systemu charakterystyk operacyjnych niemal każdego elementu konfiguracji rurociągu i jego sprzętu komputerowego oraz ekstrapolacja wyników różnych strategii sterowania przepływem, aby sprostać scenariuszom operacyjnym takim jak zmiana strumienia przepływu, uszkodzenie rury, błąd sprzętu lub innym tego typu kryzysowym sytuacjom.

2.4.1 Komputerowe systemy monitoringu rurociągu CPM

Wdrożenie systemów IT w branży naftowo-paliwowej wiąże się z zapewnieniem dostępu do danych pomiarowych. Dodatkowo, zapewnienie bezpieczeństwa transmisji danych i standaryzacja wymiany informacji na wszystkich poziomach systemu pomiarowego stanowi wyzwanie dla dostawców IT.

Komputerowy system monitoringu rurociągu (*ang. Computational Pipeline Monitoring CPM*), zgodnie z API 1130 i niemieckim TRFL, to taki system⁴³, który wykrywa straty i nieszczelności podczas operacji w stanie ustalonym rurociągu. Ma on na celu monitoring bilansu masy i alarmowanie dyspozytora jeśli przekroczone zostaną wartości graniczne, a w konsekwencji wskazać lokalizację zdarzenia alarmowego. Każdy rurociąg musi być wyposażony w system spełniający te standardy.

Komputerowo wspomagane elementy wyposażania rurociągowego oraz systemy zarządzania, sterowania i monitoringu pracy rurociągu umożliwiają zdefiniowanie sygnałów pomiarowych, sposób ich pomiaru i ich rolę w specyfikacji funkcjonalnej. Powodzenie całego procesu technologicznego zależy jest od wykorzystania najnowszych rozwiązań w dziedzinie technologii, informatyzacji i komunikacji, w tym: pomiaru i sterowania zmiennymi procesowymi, wykorzystania w infrastrukturze urządzeń automatyki, tj. sterowników programowalnych PLC, systemów sterowania i nadzoru procesów technologicznych SCADA, rozproszonych systemów informatycznych DCS, zabezpieczeń procesów udostępnionych w cyberprzestrzeni.

Systemy monitorowania i nadzoru transportu paliw reprezentują wyniki algorytmów sterowania i regulacji modelujących i symulujących procesy hydrauliczne zachodzące w rurociągu z uwzględnieniem zachodzących zjawisk termodynamicznych, a możliwe są do obserwacji i weryfikacji przez dyspozytorów na profilach hydraulicznych⁴⁴. Dynamiczny model hydrauliczny zapewnia dostęp do wielkości pomiarowych nie tylko w punktach pomiarowych (tzn. tam, gdzie zainstalowane jest urządzenie pomiarowo-kontrolne, z którego zbierany jest pomiar do systemu), ale przede wszystkim wzdłuż całej długości linii przesyłowej. Powstałe profile hydrauliczne umożliwiają identyfikację i weryfikację zmian poziomu ciśnienia, wystąpienia tzw. poduszek gazowych (kondensowania się frakcji lotnych partii pa-

⁴³ Pracujący w sposób ciągły i niezależny od innych systemów rurociągowych. Ponadto, jeden z dwóch wdrożonych rurociągowych systemów detekcji wycieków musi umożliwiać wykrycie strat partii produktowych podczas pracy w stanie nieustalonym rurociągu.

⁴⁴ Profil hydrauliczny to wykres reprezentujący m.in. funkcję ciśnienia, przepływu, temperatury, gęstości produktu w każdym punkcie rurociągu objętym obliczeniami symulowanego modelu matematycznego.

liwowych), zakłóceń pracy infrastruktury urządzeń oraz wycieków. Na ekranach



Rysunek 2.14: Kontrola parametrów pracy systemu rurociągowego w systemie SCADA.

Źródło: [PSI 2013].

synoptycznych i wykresach hydraulicznych można obserwować zarówno dane bieżące dotyczące przepływu partii produktowych w rurociągu, jak również dane pochodzące z symulacji hydraulicznej. Porównanie tych dwóch wartości wykorzystywane jest do oceny ewentualnych dysfunkcji transponderów pomiarowych. Używane są też ekrany i wykresy pozwalające na porównywanie danych pomiarowych oraz danych dotyczących przepływu partii w systemie rurociągowym, między innymi profilu⁴⁵ wysokościowego, zmian ciśnienia, przepływu, temperatury, gęstości, prędkości. W efekcie, uzyskiwana jest **baza do wykonywania zaawansowanych analiz porównawczych**. Analizy te są istotnym elemen-

⁴⁵ Dodatkowo na podstawie konwersji profili gęstości możliwe jest wyznaczenie profilu maksymalnego ciśnienia operacyjnego. Profil przepływu obliczany jest na podstawie ciśnień granicznych z wykorzystaniem tuningowanych wartości tarcia rury, czyli wartości modelowych zaadaptowanych do wartości rzeczywistości.

tem interpretacji i weryfikacji zdarzeń zachodzących podczas procesu transportu partii produktowych w systemach rurociągowych. Przykład wizualizacji i monitoringu parametrów pracy systemu został zaprezentowany na rysunku 2.14.

Decydujące znaczenie dla zarządzania bezpieczeństwem i sprawnością przesyłu partii produktowych ma poprawność działania urządzeń sterujących i kontrolujących, tj. zaworów, pomp i transponderów, oraz wyznaczenia wartości w punktach kontrolnych, tzn. w punktach, gdzie wyznaczana jest różnica pomiędzy wartością mierzoną a wartością symulowaną⁴⁶. Systemy zarządzania rurociągami zapewniają funkcjonalność w zakresie przetwarzania i przechowywania danych dotyczących:

- rejestracji zsynchronizowanych czasowo zdarzeń, alarmów;
- rejestracji danych konfiguracyjnych i diagnostycznych;
- rejestracji wprowadzanych zmian z czasem i nazwiskiem operatora;
- tworzenia raportów.

2.4.2 Przyjmowanie i wydawanie partii produktowych

Funkcja przyjmowania i wydawania partii produktowych w systemach zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych umożliwia obrót i rozliczanie zmagazynowanych w zbiornikach produktów dostarczonych rurociągami oraz nadzór nad rurociągiem i procesem napełniania zbiornika. Dane pomiarowe zbiorników, tj. poziom [mm], objętość [m^3], temperatura [$^{\circ}C$], gęstość [kg/m^3], mogą być przekazywane do zewnętrznego systemu automatyki w trybie on-line w przemysłowych standardach komunikacyjnych, np. MODBUS, IEC, OPC.

⁴⁶ Wartość bliską zeru należy traktować, jako dobre sprzężenie rzeczywistych pomiarów z wartościami wyznaczonymi z symulacji modelu hydraulicznego. Znacząca rozbieżność informacji (sygnalizowana wysoką wartością delty) stanowi sygnał dla systemu, że doszło do niestandardowego zachowania w tym punkcie rurociągu, w związku z czym należy podejrzewać wyciek, prziśiek lub rozkalibrowanie przyrządów pomiarowych.

2.4.3 Tłoczenie partii produktowych i wybór trasy

Funkcja kontroli tłoczenia partii produktowych umożliwia operatorowi uzyskanie bezawaryjnego przepływu produktów w rurociągach oraz właściwy dobór urządzeń (zbiornik, zasuwka, pompa) kontrolując prawidłowość doboru i ich stan. Funkcja **sterowania trasami** umożliwia sekwencyjne uruchamianie i zakończenie tłoczenia oraz monitoring stanu otwarcia trasy tłoczenia przy uwzględnieniu warunków ciśnieniowych na wejściu i wyjściu pompowni.

2.4.4 Kontrola wypełnienia rurociągu

Kontrola zawartości rurociągu, to funkcja systemu zarządzania rurociągami, która odnosi się do aktualizacji informacji w bazie danych dotyczących wypełnienia systemu rurociągowego o położeniu przesyłanej partii produktowej. Funkcja ta spełnia jedno z kluczowych oczekiwań konsorcjów naftowo-paliwowych zarządzających przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych: kontrolę jakości transportowanych paliw. Sprawność zarządzania jest mierzona w oparciu o dostęp do informacji o danej partii paliwowej w czasie rzeczywistym (patrz rysunek 2.15) dotyczących: typu przesyłanego medium, wolumenu masowego przesyłanej partii produktowej, gęstości, lepkości, punkcie odbiorczym, docelowym parku zbiornikowym, a także o dostępnych kanałach dystrybucyjnych⁴⁷.

Sprawne zarządzanie transportem partii paliwowych w rurociągach transgranicznych na dynamicznie rozwijającym się i konkurencyjnym rynku paliwowym wspierane jest narzędziami kontroli i śledzenia przepływu partii produktowych, które umożliwiają operatorom rurociągowym i konsorcjom zajmującym się przesyłem partii produktowych wykorzystać wszystkie dostępne możliwości, by zapewnić satysfakcję i wysoki poziom obsługi klienta. Niemniej, brak zapewnienia przez klienta odpowiednich wolnych przestrzeni magazynowych na odebranie złożonej nominacji w punkcie odbioru zaburza całkowicie harmonogram przesy-

⁴⁷ Umożliwiają one podjęcie odpowiednio szybkiej reakcji (decyzji) nie tylko co do zarządzania przepływem partii produktowej w systemie rurociągowym, ale także dynamicznej modyfikacji w ramach reagowania na zachowanie zakupowe klientów.

kontroli jakości przemieszczanego produktu. Bilans stanowi wolumetryczną i masową ilość przysyłanego produktu⁴⁸. Zintegrowane narzędzia kontroli zawartości rurociągu i dostępność szczegółowych danych dotyczących partii paliwowych pozwalają koordynować nie tylko sam proces przesyłu, ale także pracę ludzi i budżet klientów poprzez zapewnienie wsparcia i praktycznego wglądu w aktualne informacje. Najczęściej jednak to narzędzie wspiera integrację aplikacji i procesów w całym przedsiębiorstwie naftowo-paliwowym i służy m.in. jako platforma do generowania raportów dla zarządu.

Stopień eksploatacji materiałów, z których wykonany jest rurociąg zależy od stopnia obciążenia rurociągu (wydajności). Obciążenie jest funkcją wolumenu przesyłanego produktu w czasie i intensywności tłoczeń. Aby umożliwić określenie pozostałego stopnia eksploatacji, a nawet estymowanego czasu użyteczności materiałów, cykl obciążenia musi być rejestrowany i archiwizowany.

Z powodów bezpieczeństwa, mechanizm wyłączania pomp jest czynnością lokalnie zautomatyzowaną. W wyniku nieoczekiwanego wzrostu ciśnienia w instalacji przesyłowej pompy automatycznie powinny się wyłączyć. Wartości progowe (*ang. threshold values*) pomiarów są ustawiane na poziomie nieco niższym niż dopuszczalna wartość w lokalnych procedurach, tak więc polecenie wyłączenia będzie wygenerowane wcześniej, niż osiągnięty zostanie określony nieco niższy poziom. Polecenie wyłączenia pomp nie jest wówczas transferowane do podstacji lecz wykorzystywane jest do „predykcji wyłączenia” pomp, jako ostrzeżenie dla dyspozytora. Inne podejście postuluje ustawianie wartości granicznych na poziomie nieco wyższym od dopuszczalnej wartości w lokalnych procedurach, tak więc polecenie wyłączenia jest generowane z opóźnieniem. Polecenie to jest przekazywane do podstacji jako zabezpieczenie na wypadek, gdyby sekwencja wyłączenia lokalnego zawiodła. Ograniczenia hydrauliczne i techniczne są częścią procedur ewaluacyjnych optymalizacji pracy pomp. Rekomendacje co do przełączeń pomp są proponowane za każdym razem, gdy może być znaleziona kombinacja pracy

⁴⁸ Systemy umożliwiają śledzenie partii produktowych tak samo jak i tłoków czyszczących lub kul sferycznych. W szczególności śledzenie tłoka czyszczącego i kontrola temperatury umożliwiają detekcję wycieków.

pomp o znacznie mniejszym zużyciu energii.

Rozdział 3

Modelowanie sprawnego działania rurociągów przesyłowych

3.1 Modelowanie infrastruktury rurociągowej

Maksymalizacja przepustowości rurociągu¹ jest najistotniejszym elementem procesu modelowania sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych. Zarządzanie przepływem partii produktowych w rurociągach łączy w sobie wiele dziedzin, a jego interdyscyplinarny charakter ma swoje odzwierciedlenie w wymogu spełnienia oczekiwań w zakresie sprawnego, niezawodnego, zautomatyzowanego systemu nadzoru i monitoringu przepływu partii produktowych w rurociągach transgranicznych. Opis dynamiki zmian zjawisk i prawidłowości zachodzących w procesie przepływu paliw pozwala uchwycić istotę modelowania sprawności działania w zakresie zarządzania przesyłem partii produktowych w rurociągach transgranicznych. Istotnymi elementami modelu zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych są: właściwy wybór reżimu tłoczeń, minimalizacja zużycia mediów i energii, maksymalne wykorzystania ciepła, zagospodarowanie produktów ubocznych, zagospodarowanie pracy pomp, zapewnienie odpowiednich pojemności parków zbiornikowych i optymalne ich wykorzystanie. Te składowe kształtują całościowy model

¹ W bezpiecznych jej granicach, tj. bez wybuchów czy wycieków wzdłuż linii rurociągu.

zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych. Powyższe aspekty wykorzystują zaawansowane techniki symulacji hydraulicznej, stąd tak istotne jest poprawne i dokładne modelowanie rurociągowego procesu przesyłu partii produktowych w dedykowanych inżynierskich narzędziach programistycznych. Najważniejsze funkcjonalności hydraulicznego modelu przepływu partii produktowych zostały przedstawione na rysunku 3.1 i uwzględniają zarządzanie następującymi obszarami [PSI 2013]: kontroli i śledzenia transportowanych partii produktowych, monitorowania prędkości przepływu, analizy eksploatacji rurociągu, zarządzania parkiem zbiornikowym, monitorowania i poprawy parametrów pracy pomp, wykrywania i lokalizacji nieszczelności, wizualizacji profili hydraulicznych, śledzenia tłoków czyszczących i tzw. inteligentnych tłoków², kontroli gęstości, temperatury i ciśnienia, monitorowania naprężeń rurociągu, wykrywania ścieżek przepływu, monitorowania urządzeń pomiarowych, monitorowania chropowatości ścian wewnętrznych systemu rurociągowego. Rurociągowy przesył paliw płynnych jest zjawiskiem modelowanym hydraulicznie, dlatego nieunikniona jest znajomość i umiejętność wykorzystania zasad oraz reguł hydraulicznych i termodynamicznych, w tym wzorów opisujących przepływ partii paliwowych w rurociągach³.

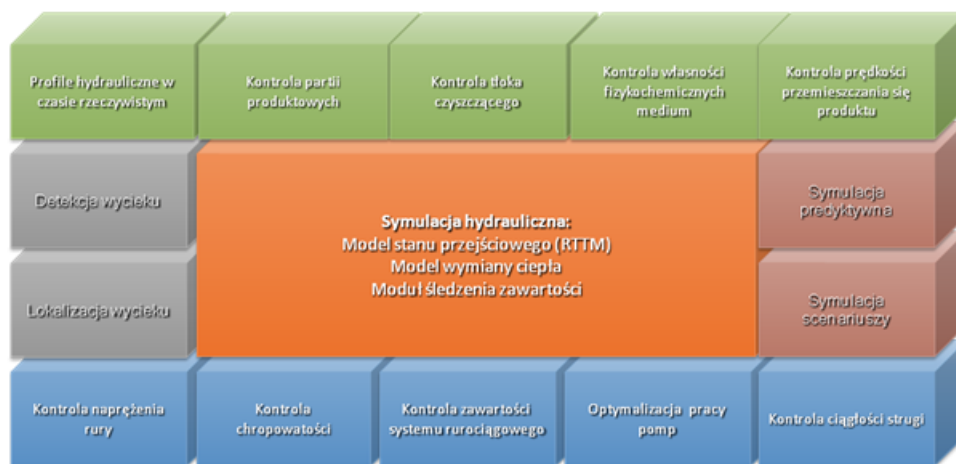
Główną korzyścią wynikającą z precyzyjnego projektowania przepływu partii produktowych w rurociągach jest pełna informacja w czasie rzeczywistym oraz w dowolnym punkcie systemu rurociągowego, o aktualnej wydajności rurociągu⁴ i koszcie przesłanego wolumenu partii produktowej⁵. Ponadto możliwe jest okre-

² Inteligentne tłoki, to tłoki np. magnetyczne lub wykorzystujące zjawisko Coriolisa, w celu zebrania dodatkowych informacji z wnętrza rurociągu. Inteligentny tłok przemieszcza się wraz z produktem wzdłuż rurociągu (najczęściej za tłokiem czyszczącym) i zbiera informacje dotyczące szerokości ścian rury, ewentualnych pęknięć, korozji, wysokości posadowienia danego punktu rurociągu względem poziomu morza itp. Dane zapisywane są na dysku, w który jest wyposażony tłok podczas inspekcji.

³ Rurociągi w zależności od stopnia wypełnienia - całkowitego lub częściowego - naturalnie związane są zależnościami hydraulicznymi w odmienny sposób. Inżynierowie do określania kluczowych parametrów, tj. przepływ, ciśnienie, temperatura, używają tzw. nomogramów oraz krzywych sprawności. Krzywe sprawności muszą być używane łącznie z nomogramami w przypadku rur całkowicie wypełnionych, natomiast dla rurociągów wypełnionych częściowo wystarczający jest odczyt z nomogramu.

⁴ Informacje te zestawia się z projektowaną wydajnością systemu rurociągowego.

⁵ Informacje fizyko-chemicznych, tj. ciśnienie, gęstość i temperatura, służą do oszacowania jakości produktu oraz kosztu wolumenu frakcji zmieszanej, a także predykcji sytuacji kryzyso-



Rysunek 3.1: Funkcjonalność symulacji hydraulicznych rurociągowego przepływu węglowodorów.

Źródło: [PSI 2013].

ślenie nadawcy i odbiorcy przesyłanego produktu, przewidywanego czasu i miejsca odbioru oraz estymacji wolumenu sprzedaży⁶. Sprawne zarządzanie przepływem partii produktowych polega również na poprawnym wykonywaniu o operacji rurociągowych w zakresie utrzymania i oczyszczania magistral rurociągowych⁷. Wiedza o dokładnej lokalizacji produktów redukuje prawdopodobieństwo ich mieszania lub zanieczyszczenia w zbiorniku⁸. Informacja retrospektywna na temat wybranych tras przepływu⁹ służy do oszacowania efektywności wyboru różnych dostępnych scenariuszy tras przepływu partii produktowych w rurociągach.

wych lub wykrycia dysfunkcji urządzeń pomiarowo-kontrolnych

⁶ Informacje te wyznaczane są na podstawie wypełnienia rurociągu (z uwzględnieniem źródeł i rozgałęzień systemu).

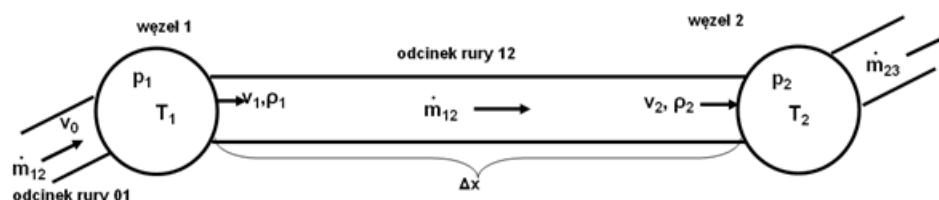
⁷ Na podstawie prędkości, położeniu i czasie odbioru tłoków czyszczących możliwa jest inspekcja linii przesyłowej zgodnie z regulacji UE.

⁸ W zależności od przepływu i gęstości produktu w różnych punktach przesyłu, obliczana jest lokalizacja produktu w rurociągu.

⁹ Na podstawie informacji zwrotnej dotyczącej wyboru aktywnej ścieżki przepływu partii produktowej.

3.1.1 Modelowanie matematyczne systemu rurociągowego

Modelowanie matematyczne przepływu partii produktowych polega na odwzorowaniu urządzeń technologicznych systemu rurociągowego oraz prawidłowości występujących podczas operacji rurociągowych w postaci modelu zachowania hydraulicznego przetwarzalnego przez systemy informatyczne (patrz rozdział 3.2.2). W celu konstrukcji modelu sprawnego działania niezbędne są dane wejściowe opisujące elementy infrastruktury rurociągu, tj. parametry geometryczne rury (posadowienie, średnica, grubość ściany), parametry materiałowe rur (chropowatość, moduł elastyczności), charakterystyki zaworów i pomp. Ponadto, niezbędne są aktualizowane pomiary¹⁰ z urządzeń pomiarowo-kontrolnych oraz informacje na temat tłoczonej partii paliwowej. Przetwarzanie tych danych umożliwia zaprezentowanie wyników wyjściowych pełnego aparatu nadzorczo-monitorującego w postaci informacji zwrotnej dotyczącej wielkości pomiarowych, stanów zaworów, stanów pomp oraz innych wielkości, np. sygnału przejścia tłoka, pomiaru lepkości itp., w każdym modelowanym punkcie systemu rurociągu. Warunkiem koniecz-



Rysunek 3.2: Schemat segmentu rurociągu wykorzystujący technikę elementów skończonych.

Źródło: [PSI 2013].

nym wykorzystania techniki elementów skończonych w systemach rurociągowych jest zapewnienie pomiaru kontrolnego na granicznych węzłach topologicznych, w szczególności pomiaru ciśnienia, który zamyka odległość między ciśnieniomierzami w jeden **segment rurociągowy**. Oznacza to, że ciśnienia graniczne są

¹⁰ Dokładność i powtarzalność pomiarów determinuje jakość wartości wyjściowych procesu symulacyjnego.

niezbędne w celu dopasowania modelu symulowanego do rzeczywistego zachowania przepływu partii produktowych. Przepływ partii produktowych w systemach rurociągowych to **ruch pod ciśnieniem**. Jak podaje Z. Gręplowska [2001], jest to ruch wywołany różnicą ciśnień w skrajnych przekrojach rozpatrywanego odcinka strumieniowego. Oznacza to, że siłą motoryczną ruchu jest spadek linii ciśnień [Książczyński, Jeż i Gręplowska 2001]. Tam, gdzie to możliwe dodatkowe punkty pomiarowe (ciśnieniomierze) mogą być instalowane, wówczas służyć one będą budowie kolejnych, dodatkowych wewnętrznych modeli matematycznych, które dodatkowo zwiększają poziom kontroli i dopasowania modelu do odwzorowania zachowania przepływu partii produktowych w systemie rurociągowym.

3.1.2 Topologia systemu rurociągowego

Cała sieć rurociągową - wszystkie elementy konstrukcyjne i urządzenia technologiczne - są modelowane w systemie w postaci siatki elementów skończonych. Siatka ta, reprezentująca topologię systemu, jest wykorzystywana w symulacji hydraulicznej w każdym punkcie rurociągu. Symulacje wykorzystują metodę elementów skończonych MES. Modelowanie matematyczne przepływu partii produktowych w systemach rurociągowych możliwe jest dzięki technice elementów skończonych. **Technika elementów skończonych** pozwala odwzorować zachowanie siatki rurociągowej (*ang. pipeline grid*). Elementy skończone to struktura składająca się z węzłów (*ang. nodes*) i krawędzi rur (*ang. pipes edges*). Węzłami mogą być projektowane zbiorniki, punkty pomiarowe i komory czyszczaka. Elementami rurociągowymi mogą być pompy lub zawory. Każdy węzeł charakteryzuje się wartościami pomiarowymi stałymi wewnątrz węzła (ciśnieniem p oraz temperaturą produktu T). Kolejne wielkości pomiarowe są stałe wewnątrz elementu rurowego (prędkość przepływu produktu v , gęstość ρ produktu na wejściu i wyjściu elementu rurowego oraz natężenie przepływu masowego produktu \dot{m}). Metodologia budowy modelu przepływu partii produktowych w rurociągach wymaga uwzględnienia parametrów opisujących:

- stacje pompowe, z uwzględnieniem szeregowego i równoległego połączenia

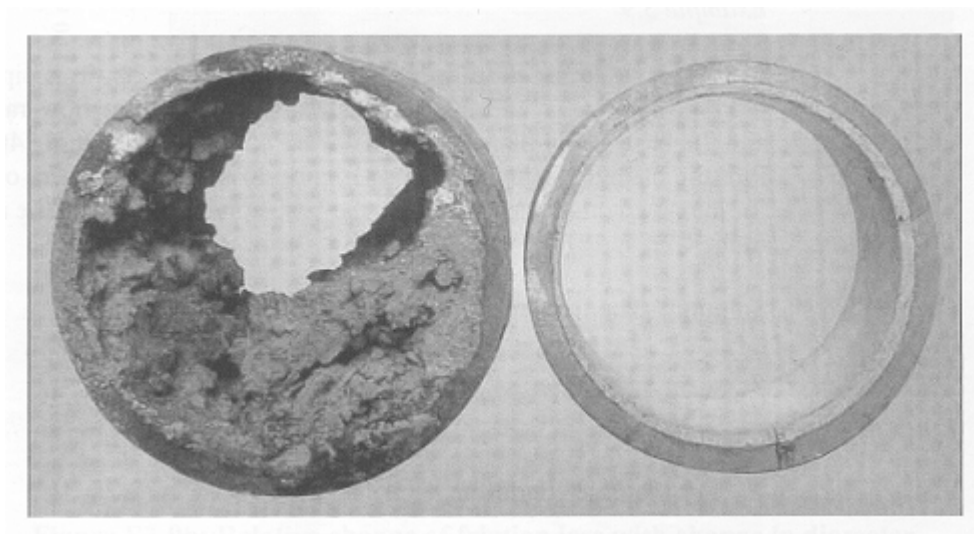
pomp;

- punkty źródłowe i rozwidlenia systemu rurociągowego;
- oznaczenia stacji wejściowej i wyjściowej;
- odległości między kolejnymi punktami węzłowymi;
- pojemność wolumetryczną odcinka międzywęzłowego (rury);
- punkty pomiarowo-kontrolne, tj. ciśnienie, temperatura i gęstość produktu, temperatura otoczenia, prędkość rozchodzenia się fali w danym punkcie rurociągu;
- rurę: zewnętrzna średnica, grubość ścianki, chropowatość. W tym również uwzględnienie właściwości tzw. **piggable** rury, tzn. możliwości przejście (inteligentnego) tłoka czyszczącego trasą danych rur.

3.1.3 Adaptacja modelu do warunków rzeczywistych

Często systemy kontrolujące i sterujące sieciami rurociągowymi nie mogą być zaprojektowane z pełną dokładnością, ze względu na niedostępność niektórych danych, np. brak danych o charakterystyce elementów technologicznych, tj. pompy, zawory lub stopień eksploatacji użytkowanych instalacji przesyłowych (w tym brak danych o chropowatości wnętrza ścian rur itd.). Ma to niebagatelny wpływ na prędkość i jakość przesyłanego produktu. W celu maksymalnej adaptacji warunków rzeczywistych do parametrów modelu hydraulicznego stosuje się zabieg zwany **tuningiem parametrów**. Tuning polega na dostosowaniu zaprojektowanego modelu hydraulicznego do warunków rzeczywistych. Jednym z najczęstszych obszarów jego zastosowania jest tuning tarcia wewnętrznych ścian rurociągu. Z czasem ścianki rurociągu pokrywają się osadami (proces sedymentacji), co prowadzi do zmniejszenia średnicy rurociągu i zwiększenia chropowatości rurociągu, co zilustrowane zostało na rysunku 3.3.

Dodatковым przeznaczeniem tuningu modelu hydraulicznego jest wyznaczenie **optymalnego przepływu** w segmencie rurociągowym. Na podstawie po-



Rysunek 3.3: Wiek rurociągów i parametry chropowatości.

Źródło: [Duzinkiewicz 2009].

miarów pomiędzy punktem wejścia i wyjścia segmentu rurociągowego możliwe jest wyznaczenie modelowego przepływu (przy danym ciśnieniu), w wyniku czego określa się wydajność rurociągu. Wydajność na poziomie np. 95% oznacza, że przepływ w rurociągu jest o 5% mniejszy od nominalnego projektowanego poziomu przepływu. Podczas działań operacyjnych następuje dostrojenie i adaptacja poszczególnych tuningowanych parametrów, np. wspomnianego współczynnika tarcia. Powstałe w rurociągu straty tarcia wynikają z prawa zachowania energii¹¹.

¹¹ Straty tarcia w rurociągach to głównie straty naporu [Duzinkiewicz 2009]. Ogólny wzór na obliczenie strat tarcia został zaproponowany w równaniu Darcy-Weisbacha:

$$h_f = f \frac{1}{2g} \frac{x}{d} v^2, \quad (3.1)$$

gdzie v to prędkość przepływu produktu, d średnica rurociągu, x długość rurociągu, f współczynnik tarcia Darcy-Weisenbacha. Straty mogą być lokalnymi stratami energii związanymi z koniecznością pokonania przez strumień miejscowych przeszkód wywołujących lokalne zaburzenia przepływu [Gręplowska 2001] lub mogą być liniowe (na długości rurociągu) wywołane wewnętrznym tarciem cieczy oraz tarciem cieczy o ściany rurociągu.

3.2 Modelowanie przepływu partii produktowych w rurociągach

Modelowanie przepływu partii produktowych w rurociągach zależy od układu utworzonych przez nie sieci (szczegółowy opis sieci rurociągowych został przybliżony w rozdziale 2.2.1). Inaczej liczy się rozkład przepływu w sieci rozgałęzionej, a inaczej w sieci obwodowej. W **sieciach rozgałęzionych** każdy punkt sieci zasilany jest tylko z jednej strony, tym samym wolumen partii produktowej przepływającej w sieci stale maleje. Mamy tutaj do czynienia z obliczaniem tzw. **przewodu wydatkującego po drodze**. W **sieciach obwodowych** węzły sieci mogą być zasilane z dwóch stron, przy obliczaniu stosuje się prawa Kirchoffa, a metoda obliczeń nosi nazwę **metody Crossa** (lub kolejnych przybliżeń) [Kennedy 1993].

3.2.1 Zjawisko przepływu w systemach rurociągowych

Opis zjawiska przepływu partii paliwowych wymaga uwzględnienia stanu, w jakim rurociąg się znajduje w danej chwili czasowej. System rurociągowy może znajdować się w stanie ustalonym (stacjonarnym) i nieustalonym (przejściowym).

Zjawisko rozchodzenia się fali ciśnieniowej zachodzi, kiedy warunki stabilności układu rurociągowego zostaną zaburzone z jakiegokolwiek powodu (może to być zmiana ścieżki przepływu, np. wywołane wymianą pomp lub innych elementów infrastruktury rurociągu, gwałtowne zamknięcie zaworu, wyciek), a system rurociągowy (działający jak układ regulacji automatycznej) będzie dążył do uzyskania nowego stanu równowagi. Jednakże z powodu bezwładności transportowanego medium system musi przejść najpierw przez stan przejściowy, tj. nieustalony. Warunki przejściowe opisane przez niezrównoważone siły działające w systemie są również znane jako przepływ nieustalony (*ang. surge flow*).

Model matematyczny niestacjonarny przepływu partii produktowej (nazywany również stanem nieustalonym rurociągu, *ang. unsteady flow/transient model*) to model, w którym uwzględnia się czasową zmienność warunków brzegowych i przepływów. W wyniku symulacji otrzymuje się rozwiązanie (rozkład ci-

śnienie piezometrycznych) dla konkretnych horyzontów czasowych. Stan niestacjonarny w rurociągach występuje, gdy wzbudzony zostanie przebieg fali ciśnieniowej lub uderzenie hydrauliczne - najczęściej w wyniku zdarzeń technologicznych, tj. uruchomienia pomp, zmiany sekwencji pomp, otworzenia/zamknięcia zaworu itd. Stan niestacjonarny trwa tak długo, aż przebieg fali z jednego końca zamkniętej sekcji rurociągowej do drugiego jej końca się nie ustabilizuje. Przepływom niestacjonarnym często towarzyszy zjawisko zwane uderzeniem hydraulicznym. Występuje wówczas gwałtowna pulsacja ciśnienia, która ma silnie destrukcyjny charakter (występują ciśnienia znacznie przewyższające wartości nominalne) i często jest przyczyną groźnych w skutkach awarii. Często dochodzi również do pojawienia się kawitacji, odpowiedzialnej w szczególności za występowanie wysokich ciśnień niekorzystnie wpływających na wytrzymałość materiału ścianek rurociągu¹². Kluczowym zagadnieniem staje się więc szacowanie maksymalnych wartości ciśnień wówczas występujących jak i czasów utrzymywania się przepływu nieustalonego z kawitacją¹³.

Model matematyczny stacjonarny przepływu (zwany także stanem ustalonym rurociągu, *ang. steady state flow model*) partii produktowej to model, w którym rozwiązanie równania stanu nie uwzględnia zmiennej czasowej, tzn. w wyniku obliczeń otrzymuje się rozkład ciśnień piezometrycznych ustalony dla nieskończenie długiego odcinka czasowego. Ruch ustalony charakteryzuje się stałym w czasie parametrami w danym przekroju: $v(t) = const$, $Q(t) = const$, gdzie Q jest wydajnością (natężeniem przepływu), v to średnia prędkość przepływu produktu w przekroju poprzecznym segmentu rurociągowego¹⁴.

Rurociągi transportujące partie produktowe, zarówno na krótsze¹⁵, jak i dłuż-

¹² Kawitacja wpływa także na erozję kawitacyjną elementów układów hydraulicznych.

¹³ Jedynie w przypadku, gdy partia produktu jest oddzielona kilkoma obszarami kawitacyjnymi ciśnienie maksymalne może wystąpić nie przy pierwszej, lecz przy drugiej amplitudzie ciśnienia (w wyniku nakładania się fal ciśnieniowych.). Ropa naftowa oraz produkty ropopochodne mają zawsze relatywnie wysoką zawartość gazu rozpuszczonego lub komponentów lekkich. Kiedy dwie oddzielne fale się nakładają, para albo też uwolniony gaz potrzebują czasu, żeby się ponownie rozpuścić w wodzie. Dlatego para lub gaz działają jako element tłumiący, który łagodzi falę ciśnieniową.

¹⁴ Proces rurociągowego tłoczenia paliw cechuje się dwoma typami przepływów: turbulentnym i laminarnym. W większości przypadków (typowych stanach operacyjnych) występuję przepływ turbulentny.

¹⁵ W tym te odpowiedzialne za przepompowanie międzybiornikowe.

sze odległości (w tym rurociągi transgraniczne), charakteryzują się dwoma stanami: postojem i tłoczeniem. Sprawność zarządzania przepływem partii produktowych ma na celu minimalizację czasu, w którym rurociąg jest w stanie postoju. W czasie postoju rurociągu, poza oczywistymi poniesionymi kosztami utraconymi w wyniku niewykorzystanej wydajności transportowej, ponoszone jest ryzyko związane z możliwą degradacją części partii produktowej¹⁶, a także dodatkowymi kosztami eksploatacyjnymi związanymi z rozruchem pomp tłoczących. Szczególnie istotne dla konsorcjów paliwowych jest **maksymalizacja wydajności trasy rurociągowej**. Przekłada się to na wyznaczenie maksymalnych ciśnień w stanie nieustalonym. Ponadto, zakres maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia operacyjnego (*ang. maximum allowable operational pressure* MOAP) zdefiniowanego dla konkretnych przypadków obciążenia systemu rurociągowego wykorzystuje się do określenia lub potwierdzenia wyboru grubości ścian rurociągu, wartości hydraulicznych nastaw lub innych parametrów projektowych systemu rurociągowego.

Powstanie stanu przejściowego jest spowodowane naturą zaburzeń działających w systemie i fizycznymi własnościami komponentów systemu przepływu. W warunkach przepływu ustalonego zakłada się, że transportowane partie produktowe cechują się stosunkowo niską ściśliwością¹⁷. Parametry, tj. ściśliwość (*ang. compressibility*), gęstość transportowanych produktów paliwowych oraz elastyczność obciążonej rury (*ang. elasticity*), wpływają na wyniki obliczeń przepływu partii produktowych w rurociągach w stanie nieustalonym¹⁸.

¹⁶ Postój rurociągu sprzyja mieszaniu się partii produktowych i wytrącaniu osadów.

¹⁷ Czasem w celu uproszczenia obliczeń przyjmuje się nieściśliwość paliw płynnych.

¹⁸ Jeżeli wartość prędkości początkowej przepływu ustalonego w rurociągu zostanie zmniejszona w wyniku zajścia zdarzenia, na przykład zamknięcia zaworu, energia kinetyczna partii produktowej w tym punkcie pracy jest zamieniona na energię potencjalną. Energia potencjalna, w formie zwiększonego ciśnienia, jest przechowywana w skompresowanej partii produktowej i siłach oddziałujących na ścianki rur. Amplituda wzrostu ciśnienia w rurociągu zależy od zmniejszenia przepływu w punkcie zaburzenia i prędkości rozchodzenia się dźwięku w transportowanej partii produktowej. Maksymalny wzrost ciśnienia można zaobserwować w momencie, kiedy przepływ zostanie całkowicie odcięty. Fala ciśnieniowa przenosząc się wzdłuż rurociągu jest wygaszana przez tarcie na ścianach rurociągu. Jest to tzw. zjawisko tłumienia (*ang. damping*). Często nazywa się to zjawisko dodatnią falą ciśnieniową uderzenia hydraulicznego (*ang. positive pressure wave*). W wyniku zamknięcia zaworu zjawiska hydrauliczne zachodzące w wyjściowej części rurociągu różnią się od tych zachodzących w tym samym czasie w górnej sekcji rurociągu. Chociaż przepływ w rurociągu jest zmniejszony, to partia paliwowa (znajdująca się za punktem wystąpienia zdarzenia) będzie się wciąż przemieszczać ze względu na swoją bezwładność. Im mniejszy wolumen partii produktowej przepływa do sekcji wyjściowej, tym większa staje

Celem badań i analizy hydraulicznej jest wyznaczenie dopuszczalnego maksymalnego ciśnienia operacyjnego przepływu, które może wystąpić w rurociągu. Wyniki symulacji hydraulicznych mają zastosowanie w procedurach operacyjnych spełniających warunki bezpieczeństwa zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych.

3.2.2 Podstawowe równania hydrauliczne i termodynamiczne

Podstawowe równania hydrauliczne i termodynamiczne wykorzystuje się do modelowania przepływu w układzie sterowania systemu rurociągowego. Niemal każdy rurociąg, a w szczególności rurociąg dalekobieżny, charakteryzuje się szeregiem indywidualnych cech i aspektów, tj. topografią terenu, na którym posadowiony jest rurociąg, ekspozycją słoneczną itd. Przepływ partii produktowych podczas wykonywania tych samych procedur operacyjnych (np. uruchamiania danej sekwencji tych samych pomp) nie jest zatem modelowany identycznie w każdym systemie rurociągowym. Charakter zarządzania przepływem tego samego wolumenu partii produktowej przez np. rurociąg TAL (przebiegającego przez szwajcarskie góry) będzie się różnił od przepływu rurociągiem naziemnym TransCanada, czy rurociągiem w krajach arabskich nastawionym na dużą ekspozycję słoneczną, np. projekty KOC (*ang. Kuwait Oil Company*). Opis zjawiska transportu podczas modelowania przepływu partii produktowych wymaga zatem uwzględnienia poziomu nachylenia rury¹⁹, współczynnika tarcia rury itp., co jest uwzględniane w podstawowych zasadach zachowania: energii, masy, momentu pędu oraz w równaniu stanu²⁰ [Vinogradov 2001].

Zasada zachowania momentu pędu opisuje zmianę natężenia przepływu masy dolną sekcją rurociągu, co doprowadza do spadku w niej ciśnienia. W niektórych przypadkach - w niektórych odcinkach rurociągu - ciśnienie może spaść do ciśnienia parowego. Oznacza to wystąpienie warunku tworzenia podciśnienia w rurociągu. Sytuacja taka często ma miejsce na szczytach gór. Dla projektanta systemu rurociągowego kryterium podciśnienia (*ang. underpressure*) lub kawitacji (*ang. cavitation*) są niezwykle istotne do wyznaczenia siły fali uderzenia hydraulicznego.

¹⁹ Poziom nachylenia rury implikuje wielkość występującego gradientu ciśnienia.

²⁰ Moduły/równania pomocnicze to: model wymiany ciepła (wykładnicza zależność Shuchova), równanie stanu (Peng-Robinsona), równania: Colebrooka, Darcy-Weisbacha (współczynniki liniowych oporów rur).

sowego \dot{m} (przyspieszenie), wyrażone w kg/s [Kennedy 1993]:

$$\Delta\dot{m}_{12} = \Delta t \left\{ mg \sin \frac{\varphi}{\Delta x} + (p_1 - p_2) \left(\frac{A}{\Delta x} \right) + \left(\frac{\lambda \dot{m}^2}{2d\rho A} \right) \right\}, \quad (3.2)$$

gdzie: \dot{m}_{12} to zmiana natężenia przepływu (przyspieszenie), $mg \sin \frac{\varphi}{\Delta x}$ to poziom nachylenia rury, $(p_1 - p_2) \left(\frac{A}{\Delta x} \right)$ to gradient ciśnienia, $\frac{\lambda \dot{m}^2}{2d\rho A}$ to współczynnik tarcia rury, które to odpowiednie składniki wykorzystywane są do wyznaczania lokalizacji ubytku masy transportowanego produktu, np. w postaci wycieku.

Równanie stanu rurociągu opisane jest zależnością:

$$\rho_1 = \rho_S T \left\{ 1 + \frac{p_1 - p_{st}}{K} - \beta(T_1 - T_{st}) \right\}, \quad (3.3)$$

gdzie ρ_1 to gęstość lokalna w danym punkcie systemu rurociągowego, $\frac{p_1 - p_{st}}{K}$ to ściśliwość cieczy, a $\beta(T_1 - T_{st})$ opisuje rozszerzalność termiczną rurociągu.

Jeśli dane analityczne są dostępne, to powyższe równanie opisujące funkcję ciśnienia w punkcie $\rho_1 = F(T, p, \%)$ umożliwi oszacowanie równania stanu o dużej precyzji za pomocą norm [GERG 2004]: gęstości jako funkcji temperatury, ciśnienia i stężenia.

Równanie, które pozwala wyznaczyć amplitudę spadku ciśnienia (Δp_{drop}) w rurociągu umożliwia równanie Jankowsky'ego [Vincent-Genod 1984]:

$$\Delta p_{drop} = \rho \alpha \Delta v [mlc], \quad (3.4)$$

gdzie (Δv) to zmiana prędkości przepływu w momencie zaburzenia. W równaniu 3.4 przyjęto prędkość propagacji fali ciśnieniowej a opisaną poniższym równaniem:

$$a = f(\rho, E_L, E_p, d, s) [m/s]. \quad (3.5)$$

Prędkość propagacji fali ciśnieniowej w rurociągu jest funkcją gęstości produktu (ρ), współczynnika sprężystości objętościowej płynu E_L , współczynnika elastyczności materiałowej rury (E_p), średnicy rurociągu (d) i grubości ścianki (s).

Napężenie rury opisywane jest równaniem :

$$A_1 = A_s t_1 + (p_1 - p_{st}) \left(\frac{d}{E_a} \right) + 2\alpha(T_1 - T_{st}), \quad (3.6)$$

gdzie obszar sekcji rurociągowej A_1 wyznaczony jest za pomocą modułu elastyczności $\frac{d}{E_a}$ (Younga) i rozszerzalności termicznej $2\alpha(T_1 - T_{st})$ materiału, z którego jest wykonana rura .

$$\Delta p_1 = \frac{\Delta t \frac{2\Delta v_1}{v_{01} - v_{12}}}{K} + \frac{d}{E_a}, \quad (3.7)$$

gdzie zmiana prędkości opisana jest równaniem $\Delta v_1 = (v_0 A_0 - v_1 A_1) \Delta t$, a prędkość przy węźle wejściowym $v_1 = \frac{\dot{m}_{12}}{\rho_1 A_1}$. Z równania opisującego zasadę zachowania masy wyznaczany jest współczynnik ściśliwości płynów K (ich elastyczność) oraz elastyczność ścian rury $\frac{d}{E_a}$ ²¹.

Dwa powyższe zabiegi w pełni dostarczają informacji o zjawisku przepływu partii paliwowych w rurociągu.

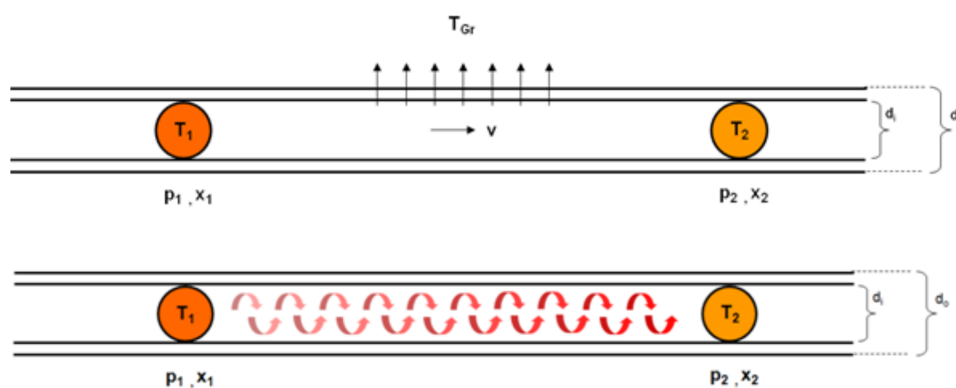
Kolejnym wymogiem normy API 1130, obok zaimplementowania systemów CPM (patrz rozdział 2.4.1), jest zastosowanie modelu dynamicznego stanu hydraulicznego rurociągu kontrolującego wskaźniki temperaturowe w czasie rzeczywistym. Pełna informacja o temperaturze przemieszczającego się produktu jest kluczowa w transporcie produktów naftowych, gdyż to właśnie od niej zależy ściśliwość transportowanego medium. **Kontrola temperatury** wpływa na oszacowanie ilości opodatkowanego i odsprzedanego produktu w danym punkcie odbiorczym.

Szczególnie istotne znaczenie ma efekt wymiany ciepła z otoczeniem (również ekspozycja słoneczna) oraz efekt tarcia, które to dwa zjawiska (patrz rysunek 3.4) prowadzą do wyznaczenia temperatury w kolejnym węźle struktury rurociągu, uwzględniającej gęstość i określoną ciepłotę zarówno medium jak i rury.

Modelowany kompensowany bilans masy²² rurociągu charakteryzuje się wy-

²¹ Podsumowując, modelowanie hydrauliczne w systemach nadzoru i kontroli polega na przeprowadzeniu dwóch kroków: (i) obliczenia zmiany profilu przepływu z danego profilu ciśnienia i (ii) obliczenia zmiany profilu ciśnienia z danego profilu przepływu.

²² Bilans masy wyznaczany jest na podstawie pomiarów ciśnienia, temperatury i przepływu. Model hydrauliczny wykorzystywany jest do kompensacji wolumenu zawartości rurociągu w danym jego punkcie w szczególności w warunkach przejściowych, np. w przypadku otwarcia zaworu. Otwarcenie zaworu powoduje powstanie fali w rurociągu, produkt nie rozkłada się równomiernie w świetle rurociągu, powodując pewne przestrzenie puste i pewne bardziej upakowane do momentu ustabilizowania się pracy rurociągu. W takich sytuacjach pomiary wskazują spadki i wzrosty ciśnienia, które powinny być skompensowane, aby nie generować fałszywych alarmów. Zdarzenia te nie wynikają bowiem z ubytku masy lecz z zaistniałych wcześniej zdarzeń technologicznych. Takie inteligentne zachowanie systemu (rozróżnianie przyczyn powstałych ostrzeżeń i alarmów) znacznie usprawnia proces zarządzania przepływem partii produktowych w rurocią-



Rysunek 3.4: Efekt wymiany ciepła z otoczeniem i efekt tarcia podczas rurociągowego transportu paliw płynnych.

Źródło: [PSI 2013].

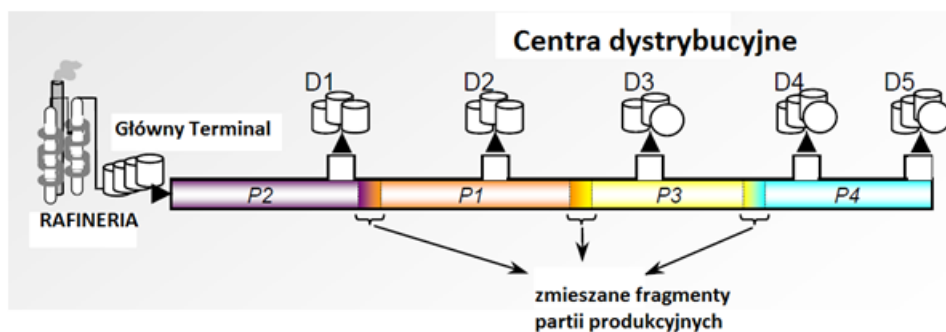
soką czułością, wysokim prawdopodobieństwem detekcji wycieku również w warunkach przejściowych.

W celu uzyskania wyników metody bilansowania masy obligatoryjne jest zainstalowanie przepływomierzy na obu końcach sekcji, która ma podlegać modelowaniu. To te dwa punkty definiują przepływ masowy w punkcie wejścia i wyjścia segmentu rurociągu. Dodatkowy składnik, od którego zależy dokładność metody, to czynnik symulowany modelem hydraulicznym, czyli tzw. upakowanie linii.

3.2.3 Metoda obliczeniowa przewodu wydatkującego po drodze

Rurociąg wydatkujący po drodze jest uproszczonym modelem rzeczywistego systemu rurociągowego, posiadającego na swej długości odgańlenia zasilające centra dystrybucyjne paliw. W schemacie hydraulicznym przewodu zakłada się, że na pewnym odcinku przewodu o stałych parametrach geometrycznych znajduje się pewna ilość gęsto rozmieszczonych punktów odbioru partii produktowych (wydatkowania, poborów). Jeżeli odgańlenia te są gęsto rozmieszczone, a dokładne obliczenie strat hydraulicznych przewodu wydatkującego wymagałoby więc liczenia każdego odcinka pomiędzy odbiorcami oddzielnie, ze względu na zmieniają

gach.



Rysunek 3.5: Monitorowanie statusu partii produktowych: P1-P2-P3-P4.
Źródło: [Cedre 2008].

się przepływ, praktyczny efekt obliczeń niewiele by się różnił od wyników uzyskiwanych przy założeniu równomiernego wydatku - tzw. **przepływu zastępczego (obliczeniowego)**. Przepływ zastępczy to taki przepływ, który na pewnym odcinku d powodowałby takie same straty hydrauliczne jak rzeczywisty, stale malejąca natężenie przepływu wolumetrycznego produktu Q . Rysunek 3.5 przedstawia schemat przewodu wydatkującego po drodze.

Przed ostatnią wtłoczoną partią $P2$, na wejściu do sekcji rurociągu odwzorowującej przepływ i status partii produktowych: $P1 - P2 - P3 - P4$, umiejscowione winno być urządzenie pomiarowe masowego natężenia przepływu początkowego Q_p . Natomiast za pierwszą wtłoczoną partią $P4$, na wyjściu tej samej sekcji rurociągowej, usytuowany winien być pomiar natężenia przepływu końcowego Q_w . Poszczególne centra dystrybucyjne mogą być zlokalizowane na całej długości rurociągu x . Centra dystrybucyjne to punkty odbioru dostaw partii produktowych. Produkt wydawany jest z rurociągu wraz z wypływem (wydatkiem) na całej długości odcinka q_w . Natężenie przepływu wolumetrycznego partii produktowej dla danego odcinka sytemu rurociągowego wyznaczany jest na podstawie równania:

$$Q = Q_k + \alpha q_w, \quad (3.8)$$

gdzie: Q_k to przepływ na końcu odcinka, q_w to wydatek partii produktowych na całej długości odcinka, α to współczynnik wydatkujący, który mieści się w

granicach od 0,5 do 0,577 ($\alpha = 0,55$).

Przebieg obliczeń sieci rozgałęzionych obejmuje: (i) wyznaczenie średnic rurociągów, dla których spełniony jest warunek optymalnej prędkości przepływu partii produktowych, a następnie (ii) obliczenie strat ciśnienia na każdym odcinku sieci²³.

3.2.4 Metoda Crossa obliczenia sieci obwodowych.

Do obliczeń sieci rurociągowych obwodowych stosuje się zazwyczaj metodę Crossa, będącą metodą kolejnych przybliżeń, której założenia opierają się na prawach Kirchhoffa. Suma dopływów do węzła równa się sumie odpływów z węzła, zatem w węźle sieci:

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0, \quad (3.9)$$

gdzie Q_i to natężenie i -tego przepływu dopływającego do węzła lub z niego odpływającego, n to liczba wszystkich dopływów do danego węzła i odpływów z danego węzła. Sumaryczna wartość dopływów do węzła jest wartością dodatnią, a odpływów ujemną. Analogicznie, algebraiczna suma wysokości strat ciśnienia w każdym zamkniętym obwodzie (oczku sieci) równa się zeru. Przy sumowaniu przyjmuje się stratę przepływu za dodatnią, jeżeli przepływ odbywa się zgodnie z kierunkiem przyjętym za dodatni, w przeciwnym wypadku jej wartość przyjmuje się za ujemną.

3.3 Kwantyfikacja i ocena determinant ryzyka

Spełnienie wymogów bezpieczeństwa przesyłu ropy naftowej i partii paliwowych stanowi, we współczesnej gospodarce światowej, o powodzeniu przedsiębiorstw sektora naftowo-paliwowego. Dla firm tego sektora uwzględnienie wagi bezpieczeństwa funkcjonalnego i procesowego oraz wdrożenie kompleksowego podejścia systemowego jest warunkiem ich istnienia. **Podejście systemowe** do zagadnień

²³ Odcinkowe straty ciśnienia potrzebne są do wykonania wykresu linii ciśnień (nomogramów), tym samym określenia ciśnienia końcowego w sieci u odbiorców.

zarządzania bezpieczeństwem obejmuje analizę techniczną **bezpieczeństwa procesowego i funkcjonalnego** oraz postęp techniczny realizacji inwestycyjnych. Jest wynikiem zachodzących zmian przemysłowych (bazy paliw, rafinerie, zbiorniki magazynowe) i technologicznych (w nowoczesne systemach produkcyjnych występuje wiele węzłów z parametrami technologicznymi o znaczeniu krytycznym). Zarządzaniu przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych przyświeca zasada spełniania wymogu **niezawodności, dostępności i skuteczności** działania. Ma ona wpływ na wspomaganie decyzji, sprawność instalacji na wypadek zdarzenia alarmowego, lokalizację miejsca wystąpienia alarmu, dostępność 24h na dobę, zdalny dostęp do informacji, natychmiastową sprawną akcję gaśniczą lub naprawczą w przypadku pożaru bądź innego zagrożenia. Jak podaje S. Mannana [2012] firmy, które nie dbają o systemowe zapewnienie bezpieczeństwa, prędzej czy później popadną w tarapaty finansowe, aż po możliwości upadłości - właśnie z powodu wystąpienia szkody (katastrofy). Jak definiuje I. Rogala [2013], celem zarządzania bezpieczeństwem jest zawsze optymalizacja nakładów na środki redukcji ryzyka w celu jego ograniczenia do poziomu minimalnego. Aby sprostać wymogowi optymalizacji, zarządzający powinien posiadać wiedzę o procesie, generowanych zagrożeniach i optymalnych, systemowych sposobach ich ograniczania.

W Polsce główne działania w zakresie wzrostu bezpieczeństwa dostaw gotowych produktów naftowych dotyczą [Czaplicka-Kolarz i in. 2009]:

- budowy infrastruktury transportowej, logistycznej, magazynowej i przeładunkowej;
- stymulowania i monitorowania realizacji projektów w zakresie bezpieczeństwa dostaw ropy naftowej i paliw płynnych;
- zmian legislacyjnych dotyczących zapasów paliw płynnych;
- wsparcia inwestycji infrastrukturalnych z wykorzystaniem funduszy UE.

W wyniku tak zdefiniowanych działań oczekiwanym efektem jest zmniejszenie stopnia uzależnienia Polski od importu ropy naftowej i paliw płynnych z jednego

kierunku oraz poprawa zdolności magazynowania partii paliwowych umożliwia-
jąca zaopatrzenie Polski w niezbędne paliwa w sytuacjach kryzysowych.

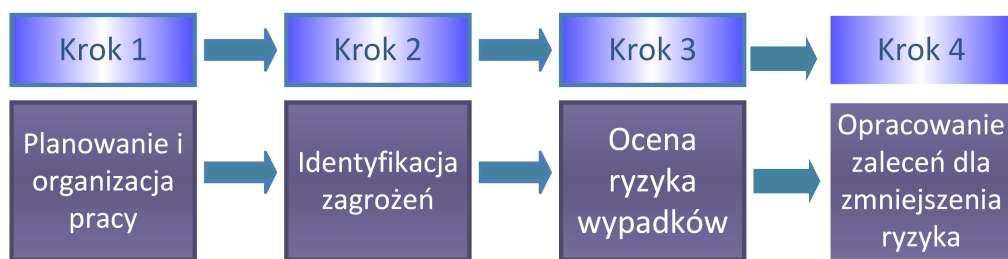
3.3.1 Analiza bezpieczeństwa funkcjonalnego

W przypadku destabilizacji funkcjonowania systemu rurociągowego konsekwencje i straty finansowe są olbrzymie. **Analiza bezpieczeństwa funkcjonalnego** prowadzi do zwiększenia poziomu niezawodności oraz optymalizacji rozwiązań technicznych. Dzięki poprawnie przeprowadzonemu procesowi analizy i oceny ryzyka uzyskuje się rozwiązania redukujące wystąpienie zagrożenia związanego z pracą obiektu technicznego [Stevenson 2002]. Ponadto, analiza bezpieczeństwa funkcjonalnego niezaprzeczalnie sprzyja tworzeniu skuteczniejszego procesu zarządzania bezpieczeństwem w cyklu życia analizowanych systemów. Stąd tak ważna jest integralność i niezawodność działania systemu dla:

- konsorcjów naftowo-paliwowych;
- operatorów rurociągowych ;
- agencji rządowych,
- klientów (odbiorców);
- innych zainteresowanych stron.

Analiza ryzyka, podejmowanie decyzji w oparciu o wielokryterialne konsekwencje (ekonomiczne, techniczne, środowiskowe i socjalne), przeciwdziałanie awariom systemów rurociągowych dokonuje się w oparciu o przyjęty model zarządzania i oceny ryzyka. Z punktu widzenia konsorcjów posiadających infrastrukturę transportową, a także operatorów użytkujących magistrale przesyłowe i dystrybuujących ropę naftową i paliwa płynne, przegląd i rozpoznanie czynników ryzyka w sektorze naftowo-paliwowym ma znaczenie podstawowe. **Analiza ryzyka** to proces identyfikacji niebezpiecznych sytuacji, nasilenia występowania wypadków rurociągowych oraz opisu wolumenu wycieku oparty na kryteriach projektowych i operacyjnych rurociągu (3.6). Analiza ryzyka jest stosowana do oszacowania

prawdopodobieństwa wystąpienia ryzyka awarii rurociągu i zakłóceń w dostawach partii produktowych podczas operacji rurociągowych (w tym zagrożeń naturalnych wywołujących wycieki) oraz potencjalnych skutków oddziaływania na środowisko w wyniku uwolnienia niebezpiecznych związków chemicznych (na obszarach zaludnionych, wyznaczonych strefach wokół ujęć wody pitnej lub obszarach wrażliwych ekologicznie).



Rysunek 3.6: Analiza ryzyka projektu rurociągowego.
Źródło: [Rogala 2013].

Analiza ryzyka jest elementem podstawowym procesu zarządzania, składa się z czterech etapów (wyodrębnionych na rysunku):

- identyfikacji potencjalnych niepożądanych sytuacji;
- opisanie mechanizmów, w jaki sposób niebezpieczeństwa mogą dotknąć ludzi i środowisko;
- analizy nasilenia/wpływu możliwych skutków niepożądanego zdarzenia, tzn. konsekwencji niebezpiecznego zjawiska na etapie projektowania rurociągu lub jego eksploatacji;
- oszacowania częstotliwość (prawdopodobieństwo) zaistnienia sekwencji inicjujących zdarzeń wywołujących prezentowane konsekwencje.

Ocenę ryzyka przeprowadza się w celu:

- zakreślenia zakresu spodziewanych efektów funkcjonowania rurociągu;

- oceny potencjalnych czynników ryzyka w fazie projektowania rurociągu (np. poprzez dokonywanie wcześniejszego wyboru lokalizacji zaworów), które są odpowiedzialne za poprawę konstrukcji, użytkowania i bezpieczeństwa rurociągu;
- opracowania planu reagowania w sytuacjach awaryjnych i decyzji o ewentualnym włączeniu rurociągu do programu zarządzania integralnością rurociągów;
- podejmowania decyzji o akcjach prewencyjnych lub działaniach naprawczych.

Analiza ryzyka ma na celu wskazanie zarówno korzystnych, jak i niekorzystnych potencjalnych skutków oddziaływania, np. na środowisko, w wyniku uruchamiania/ użytkowania linii przesyłowych, a także ewentualnych alternatywnych działań naprawczych w przypadku wycieku transportowanej partii produktowej z rurociągu.

Warto nadmienić, że zdaniem światowej sławy autorytetu w dziedzinie zarządzania ryzykiem rurociągów W. K. Muhlbauera, w dzisiejszych czasach istnieje szeroki zakres praktyk oceny ryzyka wśród operatorów rurociągów. Niektóre z nich jednak powinny zostać ulepszone, gdyż wciąż nie spełniają wymogów Programu Zintegrowanego Zarządzania Rurociągiem PZZR (*ang. Integrity Management Plan IMP*) (więcej w rozdziale 3.3.4).

3.3.2 Kwantyfikacja czynników sprawności i ryzyka

Identyfikacja czynników ryzyka dysfunkcji rurociągu przesyłowego jest pierwszym krokiem wykonania analizy ryzyka [Lapide 2000]. Rozpoznanie i wskazanie potencjalnie niebezpiecznych lub niepożądanych zdarzeń oraz identyfikacja barier bezpieczeństwa umożliwia zdefiniowanie tzw. scenariuszy awaryjnych.

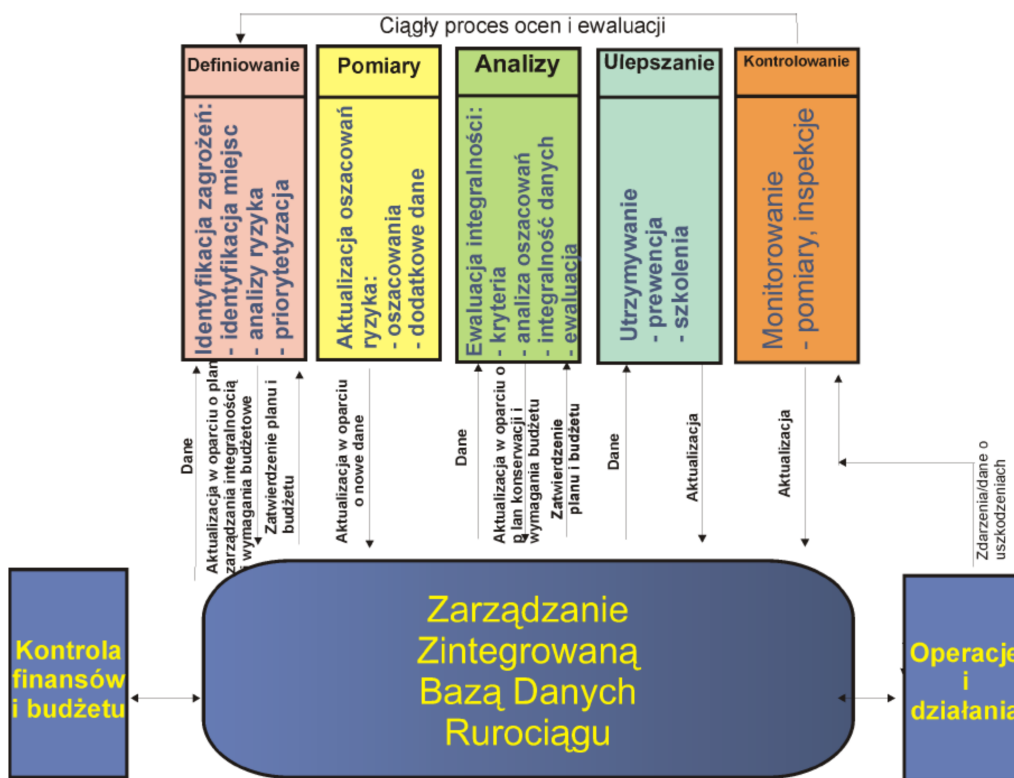
Ciągłość i niezawodność dostaw partii produktowych zapewniona jest dzięki zapewnieniu odpowiednich warunków technicznych infrastruktury przesyłowej.

Główne zagrożenia dysfunkcji operacyjnej rurociągu rodzą się w wyniku:

- korozji: zewnętrznej, wewnętrznej, naprężeniowej (*ang. stress corrosion cracking*);
- uszkodzenia materiałów konstrukcyjnych i instalacji, np. skaży stalowe rury, uszkodzone spoiny;
- przypadkowego uszkodzenia mechanicznego przez firmy dokonujące wykopu;
- nieprawidłowego użytkowania rurociągów, np. poprzez zbytne obciążenie linii;
- uszkodzenia instalacji w wyniku zagrożeń naturalnych, np. osuwiska, powodzie;
- kradzieży paliw płynnych.

Barierami (zagrożeniami) bezpieczeństwa operacyjnego rurociągu nie są pojedyncze urządzenia. Określona bariera bezpieczeństwa może się składać z różnych elementów, tj. detektorów, systemu zarządzania, procedur i mechanizmów postępowania dla określonych procesów. Analiza powyższych zagrożeń (barier) bezpieczeństwa pozwala modelować mechanizmy wystąpienia awarii już na etapie projektowania rurociągu lub później - podczas standardowych operacji eksploatacji rurociągu, a w konsekwencji zdefiniować skutki wpływu oddziaływania niebezpiecznych sytuacji powodujących dysfunkcję rurociągu na środowisko, bezpieczeństwo pracy i gospodarkę.

Kluczowym elementem systemu zarządzania bezpieczeństwem rurociągu jest **Program Działań dla Zachowania Integralności Systemu Rurociągu (PDZISR)**. Ten program ma na celu zapewnienie proaktywnego działania w zakresie identyfikacji, analizy i zarządzania ryzykiem związanym z eksploatacją rurociągu i powiązanymi z nim zasobami infrastrukturalnymi [Borysiewicz i Potemski 2005]. Na rysunku 3.7 przedstawione zostały główne obszary działań w zakresie integralności systemów rurociągowych.



Rysunek 3.7: Przeływ danych w cyklu zarządzania integralnością rurociągow. Źródło: [Borysiewicz i Potemski 2005].

Elementami modelowania sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych w zakresie PDZISR są [Borysiewicz i Potemski 2005; Kennedy 1993; ESMAP 2003]:

- plany nadzorowania korozji;
- programy liniowej inspekcji i rehabilitacji;
- identyfikowanie zagrożeń i ocena kluczowych obszarów ryzyka;
- programy zapobiegania szkodom ze stron trzecich;
- analizy otoczenia rurociągu;

- programy badania zdarzeń awaryjnych;
- programy kontroli warstwy przykrycia rurociągu;
- programy analizy i nadzoru zmęczenia materiałowego;
- pomiary osiągnięcia celów PDZISR.

3.3.3 Metody oceny sprawnego działania

W celu ciągłej oceny przydatności nowych technologii, sposobów łagodzenia skutków awarii przepływu partii produktowych w rurociągach transgranicznych wykorzystuje się, pośród szeregu analiz²⁴, **Ocenę Niezawodności Eksploatacji (ONE)**.

Bezpieczeństwo procesowe i funkcjonalne zastosowanych rozwiązań techniczno-technologicznych weryfikowane jest pod względem zgodności z obowiązującymi przepisami i normami oraz dobrą praktyką inżynierską. Firmy naftowo-paliwowe posługują się różnorodnymi technikami oceny ryzyka. Celem przeprowadzenia oceny ryzyka awarii rurociągowych jest identyfikacja systemów bezpieczeństwa, które mają wpływ na redukcję lub eliminację prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń krytycznych i ich konsekwencji. Spośród technik analizy ryzyka można wyróżnić:

- metody identyfikacji na podstawie scenariuszy zdarzeń:
 - wstępną analizę zagrożeń (*ang. preliminary hazard analysis PrHA*);
 - studium zagrożeń i zdolności operacyjnych (*ang. hazard and operability study HAZOP*);
 - analizę co będzie-jeśli (*ang. what-if*);
 - analizę drzewa błędu (*ang. fault tree analysis FTA*);
 - analizę drzewa zdarzeń (*ang. event tree analysis ETA*);

²⁴ W szczególności analizę przyczyn pierwotnych zdarzeń awaryjnych, analizę danych systemu zabezpieczenia katodowego, analizę wyników pomiarów za pomocą tłoków inteligentnych, analizę zmęczenia metalu i zapisów dotyczących spadku ciśnienia.

- analizę rodzajów i skutków uszkodzeń (*ang. Failure Modes and Effects Analysis* FMEA).
- metody indeksowe ;
- techniki statystyczne analizy ryzyka.

Metodę analizy ryzyka na podstawie scenariuszy awaryjnych wykorzystuje się w przemyśle naftowo-paliwowym. Techniki te są przydatne do weryfikacji sytuacji awaryjnych i często są używane w połączeniu z innymi technikami. FTA i ETA to dwie techniki graficzne uzupełniające metodę HAZOP. Techniki te bazują bądź na charakterystycznych czynnikach wpływających na prawdopodobieństwo wystąpienia awarii (np. korozja)²⁵, bądź na konsekwencjach powstałej przerwy operacyjnej (intensywność oddziaływania ciepła, promieniowanie cieplne, głębokość usadowienia rurociągu).

Zarządzanie bezpieczeństwem funkcjonalnym obejmuje wyznaczanie i weryfikację poziomów bezpieczeństwa (*ang. Safety Instrumented Level* SIL), specyfikację wymogów bezpieczeństwa (*ang. Safety Requirements Specification* SRS), określenie systemów i instrumentów pomiaru poziomu bezpieczeństwa (*ang. Safety Instrumented Systems* SIS); projektowanie koncepcyjne i szczegółowe opisanie funkcji bezpieczeństwa (*ang. Safety Instrumented Functions* SIF); audyty bezpieczeństwa procesowego i funkcjonalnego²⁶. System zapobiegania awariom przemysłowym obejmuje integrację bezpieczeństwa w jeden spójny system, zaawansowaną diagnostykę oraz wspomaganie działania automatyki zabezpieczeniowej i procesowej²⁷.

Inny, najpowszechniej dziś stosowany w przemyśle naftowo-paliwowym, system klasyfikacji metod oceny ryzyka cechuje się innym akcentowaniem uwagi. Wyróżnia się w nim metody: ilościowe (*ang. Qualitative Risk Assessments* QRAs), jakościowe (*ang. Quantitative Risk Assessments*), półilościowe (*ang. Semi-Quantitative*

²⁵ Szczegółowy opis znajduje się w rozdziale 3.3.1.

²⁶ Bezpieczeństwo zbiorników magazynowych obejmuje zabezpieczenie przed przepełnieniem (zgodnie z API 2350 ed.4) oraz ekspertyzy stanu technicznego zbiorników - audyty techniczne i metrologiczne.

²⁷ Bezpieczeństwo pożarowe obejmuje instrukcje bezpieczeństwa pożarowego i analizę bezpieczeństwa pożarowego.

Risk Assessments) i półjakościowe ((*ang. Semi-Quantitative Risk Assessments*)). System oceny ryzyka zaprojektowany jest dla tzw. listy rankingowej działań priorytetowych dla segmentu rurociągu (całego rurociągu lub nawet sieci rurociągow), klasyczną ocenę jakościową ryzyka. Pierwsza metoda - ilościowa - jest szczególnie popularna wśród praktyków, niestety do jej głównych ograniczeń należy brak dokładnego pomiaru ryzyka. Druga metoda - jakościowa - jest z kolei bardzo kosztowna i stosunkowo niewygodna do zastosowania na całej długości linii rurociągowej. W głównej mierze opiera się na historycznych danych o częstotliwości występowania awarii, uwzględnia zarówno FTA jak i ETA. Trzecia i czwarta metoda reprezentują nowsze podejście metodologiczne oceny ryzyka. Zdaniem praktyków przyjęte tu rozwiązania prowadzą do znacznie lepszego opisu procesu podejmowania decyzji, stąd są coraz bardziej intuicyjne, łatwe w konfiguracji, i zbierają znacznie więcej informacji niż którakolwiek z poprzednich metod. Niezależne badanie kluczowych aspektów ryzyka oraz stosowania weryfikowalnych jednostek miary, przyczynia się do tego, że cały wachlarz zagrożeń staje się jasny.

Najbardziej znaczącą miarą ryzyka jest oszacowanie ilościowe (punktowe) tzn. miary konsekwencji w czasie i przestrzeni. Wszelkie inne miary stanowią pewien kompromis. Konieczność oszacowania ilościowego (kwantyfikacji) częstotliwości awarii rurociągu nie wiąże się z bezwarunkowym posiadaniem historycznych danych o nasileniu zagrożeń poszczególnych elementów rurociągu, choć naturalnie warto je mieć dla statystycznego oglądu i porównania. Poprawne estymowanie ryzyka wiąże się natomiast ze zrozumieniem i właściwym modelowaniem mechanizmów, które prowadzą do incydentów awaryjnych. Kompromisowe miary ryzyka prowadzą do nieścisłości, choć koszt ich przeprowadzenia jest dokładnie taki sam, jak koszty przeprowadzenia ilościowej oceny ryzyka. Te niedokładności prowadzą do gorszego procesu decyzyjnego, co w konsekwencji prowadzi do błędnej alokacji zasobów, a zatem większego ryzyka. Pozostałe metody półilościowe, probabilistyczne i jakościowe nie są sprecyzowane dla oszacowania ryzyka pod względem regulacji prawnych i wymogów technicznych²⁸.

²⁸ W praktyce niedostępność rejestrowanych danych historycznych, wymusza przeprowadzenie oceny ryzyka w sposób bardzo ostrożny - estymacji w oparciu o doświadczenie i własny

Analiza zagrożeń pozwala zredukować ryzyko wystąpienia ubytku gotowych produktów naftowych już na etapie projektowania rurociągu lub później - podczas standardowych operacji eksploatacji rurociągu. Implementacja środków zapobiegawczych zmniejsza prawdopodobieństwo wycieku, a jeśli już do niego dojdzie, to minimalizuje wolumen wycieku. Akcje prewencyjne najczęściej obejmują wyższy poziom kontroli i inspekcji linii przesyłowych, zaangażowanie społeczeństwa poprzez prowadzenie aktywnej kampanii informacyjnej (np. komunikacja w przypadku zauważenia wycieku) i prospektywną analizę zagrożeń związanych z rurociągami. Przykładami technicznych czynności zapobiegawczych są: parametryzacja rurociągu w taki sposób, aby nie osiągał lub przekraczał stosowanej nominalnej normy wydajności (nastawy tłoczeń); zastosowanie zewnętrznej powłoki antykorozyjnego osłaniającego rurę o najwyższej jakości²⁹; wdrożenie programów inspekcji ILI i testów rurociągu przed uruchomieniem linii przesyłowej.

Przykładami programów inspekcyjnych są [Borysiewicz i Potemski 2005]: programy zapewnienia jakości rurociągu od producentów rur i płaszczy ochronnych; nieniszczące metody testowe spoin obwodowych; testy hydrostatyczne rurociągu przy 125% maksymalnego ciśnienia operacyjnego; wdrożenia systemu sterująco-monitorującego operacje rurociągowo (SCADA) mierzącego zdalnie zmianę ciśnień i bilansu masy, cyklicznie, co np. 5 sekund³⁰; cykliczne przeglądy ru-

osąd. Z powstałych szacunków wydobywa się najbardziej adekwatne do rzeczywistości, a jednocześnie oczekuje się na nabycie lepszych danych o rurociągu. Zatem brak dostępu do danych historycznych wymusza zastosowanie tzw. metod odpornych (*ang. robust methodology*). Wiedza o nasileniu występowania wycieków w przeszłości może być wykorzystana do estymacji liczby zdarzeń zachodzących w pewnym określonym przyszłym horyzoncie czasowym np. w okresie 10 następnych lat. Niestety, nie istnieją metody oceny ryzyka, tj. modele, które z pełną dokładnością oceniłyby potencjalną awarię rurociągu. Z wyjątkiem szczególnych przypadków, nie ma możliwości przewidzenia awarii w określonych segmentach rurociągu. Ogromną korzyścią określania strategii zarządzania ryzykiem zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych jest możliwość wykonania oceny ryzyka bazując na bazie prognoz zachowania poszczególnych segmentów rur w perspektywie dłuższego czasu.

Dokumenty dotyczące normalizacji oceny ryzyka dla rurociągów listują i określają minimalną ilość i rodzaj czynników składających się na dopuszczalną ocenę ryzyka rurociągu. Każda ocena ryzyka powinna posiadać niezbędne elementy (*ang. Essential Elements EE*) wymienione w obowiązujących normach.

²⁹ Na przykład poprzez zaaplikowanie stapianych na gorąco powłok epoksydowych (*ang. Fusion-Bonded Epoxy FBE*)

³⁰ Te dane pomiarowe są natychmiastowo poddawane analizie, która określa potencjalny ubytek produktu w dowolnym punkcie rurociągu

rociągu, np. poprzez Program Zarządzania Integralnością Rurociągu³¹; naziemne inspekcje i kontrole nieszczelności i wycieków, identyfikacja za pomocą helikopterów lub psów tropiących potencjalnych działań osób trzecich, które mogłyby uszkodzić rurociąg; zainstalowanie głównych zaworów odcinających oraz zaworów zwrotnych stacyjnych i liniowych.

Do metod sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych należą systemy detekcji wycieków. Spośród komputerowych metod detekcji wycieków wyróżnia się dwie metody kontrolowania zawartości rurociągu [ESMAP 2003]:

- model bilansu masowego (*ang. mass balances*) - uwydatnia w odpowiednich horyzontach czasowych wolumen produktu przepływający na wejściu do rurociągu i wolumen produktu przepływający na jego wyjściu;
- model zachowania hydraulicznego systemu w czasie rzeczywistym (*ang. real-time transient modelling*), w którym porównuje się aktualne pomiary z modelowymi obliczeniami komputerowymi.

Obie wyżej wymienione metody wspierają pracę operatorów rurociągowych. Poprzez wygenerowanie alarmu, powiadamiają one o konieczności podjęcia dodatkowych czynności operacyjnych przewidzianych wystąpieniem odpowiednich zdarzeń, jeśli wyniki przekroczą dopuszczalne limity operacyjne. Wciąż rozwijane są nowe metody w oparciu o dwa wspomniane wyżej podejścia obliczeniowe. Wszystkie metody wykorzystują czujniki i elementy wyposażenia rurociągu do wspierania komputerowych systemów detekcji wycieków³².

³¹ Program wykorzystuje wewnętrzne narzędzia inspekcyjne (inteligentne tłoki czyszczące) ILI do wykrycia anomalii rozmiaru średnicy przepustowej, tj. ewentualnych przewężeń na rurociągu w wyniku osadzania się resztek partii produktowych na ściankach rury, oraz wskazania miejsc uszkodzenia i pęknięć rury w wyniku korozji

³² Do takich rozwiązań należy np. wykorzystanie do zbierania sygnałów sensorów akustycznych, światłowodów lub sterowników programowalnych PLC; zastosowanie obliczeniowych metod statystycznych lub tworzenie bazy wzorców zachowań hydraulicznych do predykcji i wykrycia zdarzeń wysiękowych.

3.3.4 Kryteria sprawnego działania

Podstawowe kryteria oceny ryzyka przy określaniu konsekwencji zdarzeń³³ to:

- poziom uszczerbku na zdrowiu lub utrata życia ludzi, dalej zwany wpływem na bezpieczeństwo pracy;
- poziom strat środowiskowych, dalej zwany wpływem na środowisko;
- poziom strat majątkowych, dalej zwany wpływem na gospodarkę.

W wytycznych metodologicznych środowisko naturalne składa się z następujących elementów: ziemi, wody, powietrza i krajobrazu. Wielkość prognozowanych szkód, może być spowodowana negatywnym wpływem na środowisko, zdefiniowanym jako wszelkie bezpośrednio lub pośrednio, natychmiastowy lub powstałe w czasie, szkodliwe skutki awarii, w szczególności szacowana suma strat różnych komponentów³⁴ środowiskowych (w formie opłat za przekroczenie progu zanieczyszczenia środowiska przez gotowe produkty naftowe) [Stupnicka 2000]. Obliczenie prognozowanych strat z tytułu awarii rurociągów przesyłających partie produktowe opiera się na istniejących dokumentach dotyczące obliczania i uiszczania opłat za zanieczyszczenie środowiska [Duckworth i D.S.Clarson 1997].

Sprawne zarządzanie przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych może być mierzone na podstawie kilku kryteriów. Podstawowym kryterium mierzenia osiągnięć niezawodności i ciągłości przepływu partii produktowych są dane o liczbie incydentów uwolnień, przecieków i przerw w dostawach. Kolejnym kryterium jest poziom świadomości ryzyka, tzn. identyfikacja nowych obszarów ryzyka (informacja o nowych odbiorcach, terminowości odbioru dostaw, realizacji nowych inwestycji). Nie należy bagatelizować informacji zwrotnej tzn. liczby zgłoszonych uwag o ewentualnych szkodach wywołanych dysfunkcją

³³ W ramach konsekwencji uwzględnia się uszkodzenia ciała lub utratę życia osób narażonych na skutki zdarzenia awaryjnego. Należy wziąć pod uwagę konsekwencje przerwy operacyjnej (intensywność oddziaływania ciepła, promieniowanie cieplne, głębokości usadowienia).

³⁴ Do pierwszej grupy należą: ludzie, fauna i flora; do drugiej: gleby, wody, powietrze i krajobraz, do trzeciej: interakcja między elementami wymienionymi we wcześniejszych grupach [Daud i Al-Otaibi 2014].

rurociągowego systemu przesyłowego na terytorium państw przez który przebiega infrastruktura przesyłowa, zarówno od uczestników sektora *downstream* paliwowego łańcucha dostaw, jak i właścicieli terenów objętych ROW. Ostatnim ogólnym kryterium sprawności zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach zagranicznych są zasoby rurociągowego operatora rurociągowego i liczba zastosowanych innowacji, nowych technologii, technologii alternatywnych i innowacyjnych³⁵ [Borysiewicz i Potemski 2005; Czaplicka-Kolarz i in. 2007].

3.4 Niezawodność zarządzania przepływem partii produktowych

Sprawność zarządzania jest zagadnieniem niezwykle istotnym dla funkcjonowania przedsiębiorstwa, bowiem współczesne przedsiębiorstwa w sektorze naftowo-paliwowym, aby osiągać sukcesy w dynamicznym i złożonym otoczeniu biznesowym³⁶, powinny cechować się wysoką sprawnością. Pomimo faktu, że zastosowanie ocen i zaleceń w ocenie przedsiębiorstw wywodzi się z prakseologii - nauki wskazującej na sposoby ulepszania wszelkich działań, w tym także gospodarczych [Kotarbiński 1973; Kotarbiński 1972] - to ich działalność nie jest analizowana przy uwzględnieniu jedynie przychodów i kosztów [Cabała 2007].

Zarządzanie przepływem partii produktowych w rurociągach paliwowych uwzględnia niezawodność i skuteczności zarządzania przepływem paliw. Opiera się na kompleksowym i zintegrowanym podejściu. Sprawne zarządzanie przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw może być zaprojektowane na podstawie analizy potencjalnego wpływu czynników sprawnego działania na integralność rurociągu. Poszukiwanie lepszej sprawności wynika z niewystarczającej skuteczności zarządzania procesem transportu paliw przy

³⁵ W praktyce dużą wagę przykładają się do planu zarządzania korozją, bowiem wyniki badań tłokami inteligentnymi dostarczają m.in. istotnych informacji o stanie instalacji. Ponadto istnieje program kontroli warstwy pokrycia rurociągu, co umożliwia uzyskanie informacji o liczbie, typie i lokalizacji szkód spowodowanych ingerencją stron trzecich, np. kradzież, ruchami mas ziemi lub erozją spowodowaną przez wodę.

³⁶ Stopień realizacji celów przedsiębiorstwa stanowi rezultat m.in. kształtowania zależności pomiędzy przedsiębiorstwem a uczestnikami otoczenia bliższego (klienci, konkurenci, dostawcy), jak i dalszego (m.in. społeczność lokalna, władze samorządowe i in.).

wykorzystaniu istniejących narzędzi informatycznych. Zunifikowany, teoretyczny formalizm modelowania systemu sprawnego działania w zarządzaniu przesyłem partii produktowych w rurociągach transgranicznych powinien być skonstruowany w oparciu o wyniki analizy i oceny ryzyka. Zintegrowane zarządzanie przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych może być następnie wykorzystywane do monitorowania i sterowania procesem realizacji terminowych dostaw paliw do odbiorców. Sprawne zarządzanie przepływem paliw oparte jest na dostępności do centralnej bazy danych będącej wynikiem wdrożenia określonych programów i działań uzupełniających.

Formalizm modelowania systemu sprawnego działania w zarządzaniu przepływem partii produktowych uwzględnia dane praktyczne - doświadczenie w zakresie rozwiązywania problemów technicznych i ekonomicznych związanych z realizacją inwestycji rurociągowych, a także zagadnienia efektywności ekonomicznej wdrożeń bezpieczeństwa funkcjonalnego. Kontroluje on również, w sposób ciągły, stan mechaniczny części rurociągowych (urządzeń kontrolno-pomiarowych) zapewniając bezpieczny nominalny zakres eksploatacyjny ciśnienia operacyjnego przy maksymalizacji zdolności przesyłowych. Analiza cech przesyłanego produktu umożliwia sprawną identyfikację położenia przesyłanej partii produktowej, a zintegrowane zarządzanie przepływem oparte o modelowane scenariusze może być wykorzystywane do monitorowania i sterowania procesem realizacji dostaw paliw. Ogólna koherentność systemu i procesu sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych ma bezpośredni wpływ na zarządzanie ryzykiem w zakresie planowanych inwestycji (nowe inwestycje oraz konserwacja systemu rurociągowego).

Modelowanie mechanizmów występowania poważnych awarii przemysłowych prowadzi do konstruowania scenariuszy rozwoju zdarzeń awaryjnych, tj. opisanie i zweryfikowanie zdarzeń awaryjnych. W ramach procesu identyfikacji scenariuszy rozwoju zdarzeń awaryjnych muszą zostać podjęte i zrealizowane działania, w kontekście których wyrażone są funkcje bezpieczeństwa. Zdefiniowane zostały cztery główne rodzaje podejmowanych działań w zakresie występowania zdarzeń awaryjnych [Kennedy 1993; Borysiewicz i Potemski 2005]:

- unikanie;
- zapobieganie;
- kontrolowanie;
- ograniczanie.

Scenariusze rozwoju zdarzeń awaryjnych pozwalają w procesie modelowania na określenie rodzaju i sekwencji działań, które należy wdrożyć w nowej lub modyfikowanej instalacji w celu zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa (realizacja scenariuszy ratunkowych)³⁷. Sygnały dostarczone z systemu odpowiedzialnego za sprawne działanie procesu przesyłu paliw i monitorowanie aktualnych ich stanów³⁸ objęte są modelowaniem systemu rurociągowego i służą do przeprowadzenia działań diagnostycznych.

³⁷ Zdaniem K. Lebeckiego [Czaplicka-Kolarz i in. 2007], przy tworzeniu scenariuszy rozwoju zdarzeń awaryjnych konkretnej instalacji konieczne jest uwzględnienie i umieszczenie wszystkich zidentyfikowanych barier bezpieczeństwa oraz zapewnienie dokonania oceny ich funkcjonowania, tj. poziomu ufności, wydajności i czasu reakcji. Kwantyfikacja tych trzech składników pozwala na obliczenie całkowitego poziomu sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych.

³⁸ Należą do nich sygnały manifestujące wzrost ciśnienia w sieci rurociągowej, przepełnienie zbiornika zasilających agregaty pompowe, suchobieg, przegrzanie itp.

Rozdział 4

Model sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych.

Model sprawnego działania zbudowany jest w oparciu o ujęcie zasobowe¹. Ujęcie zasobowe zakłada, że przedsiębiorstwa zarządzające przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw w rurociągach transgranicznych muszą działać tak, aby najlepiej zabezpieczyć i wykorzystać posiadane, ograniczone i szczególnie wartościowe zasoby. Maksymalna, możliwa w danych warunkach, sprawność działania w znaczeniu metodologicznym oznacza się takim działaniem podmiotu, który uczynił wszystko, co w danych warunkach mógł uczynić, aby zapewnić działaniu maksymalną pod każdym względem sprawność rzeczywistą [Zieleniewski 1967]. Faktycznie osiągnięta sprawność może być niższa od zaplanowanej ze względu na wystąpienie niemożliwych do przewidzenia trudności. Sprawne zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych umożliwia realizację celu podstawowego - do-

¹ Istnieją jeszcze dwa podejścia: celowościowe i procesowe. Celowościowe podejście zakłada, że przedsiębiorstwo dąży do określenia ostatecznych celów - zbieżne jest z pojęciem skuteczności. Podejście procesowe określa sprawność w kontekście zachowań członków organizacji [Steers 1977].

starczenie partii produktowej we właściwym czasie, do odpowiedniego miejsca, zgodnie z poleceniami dysponenta, tj. dostawcy lub odbiorcy. Na tej podstawie, usługa transportowa jest podporządkowana decyzjom podejmowanym zazwyczaj przez inny podmiot niż podmiot transportowy. W tym rozumieniu transport pełni funkcję usługową w stosunku do pozostałych uczestników procesu logistycznego [Skowronek i Sarjusz-Wolski 2008].

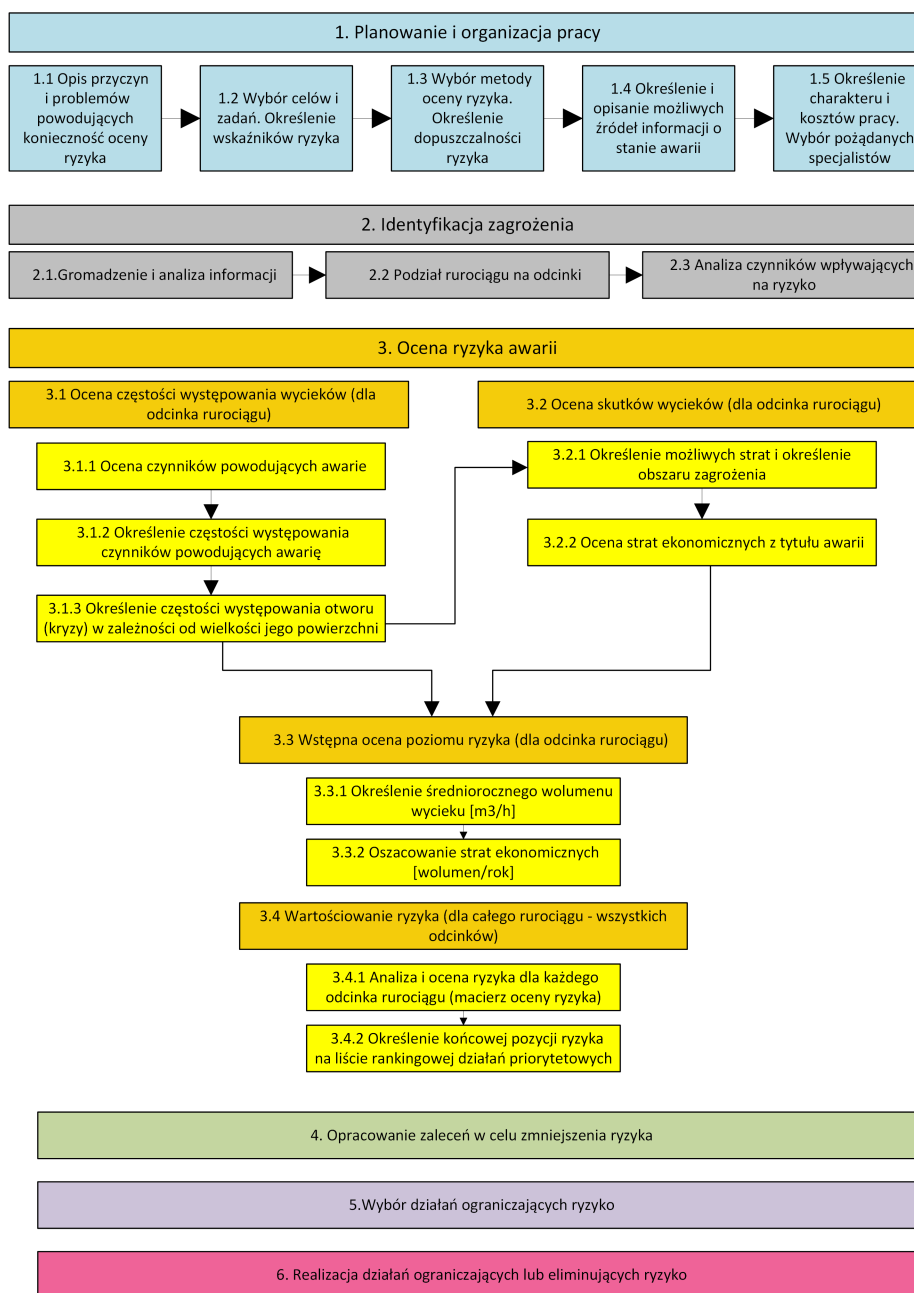
Najbardziej wartościowymi zasobami przemysłu naftowo-paliwowego są: (i) paliwa (wolumen) - konieczne jest ograniczenie ubytków, ograniczenie mieszania, maksymalizacja produkcji; (ii) infrastruktura - konieczne jest ograniczenie korozji, działania stron trzecich itp.; (iii) modele i instrumenty ograniczania czasu dostawy - konieczne jest wykluczenie postojów, braku paliwa, przestrzeni magazynowych w parkach zbiornikowych, maksymalizacja wydajności tłoczenia.

Zakres zbieranych informacji do modelowania sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych podzielony został na dwie kategorie: czas pracy i czas odnowy. Czas odnowy to suma czasów stwierdzenia i lokalizacji uszkodzenia, przystąpienia do naprawy, rzeczywistej naprawy, kontroli ponaprawczej i włączenia obiektu do pracy oraz planowych przeglądów i remontów zapobiegawczych. Czas pracy to suma czasów rzeczywistej pracy oraz postoju w stanie sprawności² [Kowalski 2012].

4.1 Schemat oceny ryzyka w projektach rurociągowych - metodologia postępowania badawczego

Przedstawienie możliwości wykorzystania przyjętego schematu oceny ryzyka w projektach rurociągowych (rysunek 4.1) dla ustanowienia listy i rankingu działań objętych zarządzaniem integralnością rurociągu stanowi podstawowy krok na drodze opisu docelowego modelu - sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych.

² Stan sprawności rurociągu to stan ustalony i nieustalony w trybie tłoczenia i postoju (patrz rozdział 3.1.1) przewidziany harmonogramem tłoczeń.



Rysunek 4.1: Schemat oceny ryzyka w projektach rurociągowych.

Źródło: Opracowanie własne.

Schemat oceny ryzyka w projektach rurociągowych składa się z pięciu głównych etapów. Należą do nich:

- planowanie i organizacja pracy;

- identyfikacja zagrożenia;
- ocena stopnia ryzyka dla segmentu rurociągu;
- wartościowanie ryzyka dla pełnej trasy rurociągu;
- opracowanie zaleceń w celu zmniejszenia ryzyka.

Pierwsze dwa kroki stanowią analizę ryzyka. Na jej podstawie dokonuje się oceny ryzyka. Ocena ryzyka składa się z czterech głównych elementów: (i) określenia nasilenia występowania niesprawności (prawdopodobieństwo awarii); (ii) określenia skutków wystąpienia niesprawności (konsekwencje awarii) i wstępnej analizy ryzyka; (iii) oceny wskaźników ryzyka z uwzględnieniem skutków dla danego segmentu rurociągu; (iv) wartościowania ryzyka awarii dla pełnej trasy rurociągu. Ostatni krok zbudowanego schematu oceny ryzyka w projektach rurociągowych stanowi opracowanie zaleceń w celu zmniejszenia ryzyka, na podstawie których dokonywane jest sprawne zarządzanie przepływem partii produktowych, tj. wybór, a następnie realizacja działań ograniczających lub eliminujących ryzyko.

Sprawne zarządzanie przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw obejmuje m.in. etap analizy i oceny ryzyka sprawności przesyłu. Etap **analizy ryzyka** uwzględnia: zbadanie informacji potrzebnych do oceny ryzyka awarii w procesie przesyłu partii produktowych w rurociągach transgranicznych, identyfikację zagrożeń oraz oszacowanie ryzyka niesprawności systemu rurociągowego. Natomiast **ocena ryzyka** obejmuje wszystkie etapy analizy ryzyka, a także - dodatkowo - wyznaczenie dopuszczalności ryzyka zakłócenia przesyłu. Proces sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych poza analizą i oceną ryzyka uwzględnia jeszcze etap decyzji co do konieczności **podjęcia działań korygujących lub zapobiegawczych**. Jeśli taka konieczność istnieje, to opracowany jest plan działań korygujących lub zapobiegawczych, tzw. scenariusz ratunkowy, który jest w efekcie realizowany w ramach planu sprawnego działania³.

³ Jeśli taka konieczność nie występuje, to dokonywane są jedynie okresowe oceny ryzyka wystąpienia awarii przesyłowej.

Na etapie planowania i organizacji pracy (krok 1 na rysunku 4.1) należy dokonać:

1. opisu przyczyn i problemów, które spowodowały konieczność oceny ryzyka⁴;
2. określenia celów i zadań, w tym wyboru wskaźników ryzyka (czynników zagrożenia), według których dokonana zostanie ocena ryzyka⁵;
3. wyboru metody i ewentualnie określenia kryteriów dopuszczalnego ryzyka;
4. określenie i opisanie niesprawności i jej stanu na podstawie wszelkich możliwych źródeł informacji (patrz załącznik 3);
5. wyboru pożądanej grupy ekspertów pracujących nad oceną ryzyka, a także oszacowania kosztów prac nad oceną ryzyka.

Na etapie identyfikacji zagrożenia odbywa się:

1. gromadzenie i analiza dostępnych informacji;
2. dokonanie liniowego podziału rurociągu;
3. analiza wskaźników ryzyka oraz wstępna ocena zagrożeń, w tym również dla każdego segmentu (odcinka) rurociągu z osobna⁶.

Ocena ryzyka, jak zaznaczono wcześniej, przeprowadzana jest zarówno dla poszczególnych segmentów rurociągowych jak i dla całych tras przesyłowych (magistral i sieci rurociągowych).

Krok 3 na rysunku 4.1 - ocena ryzyka niesprawności - umożliwia:

⁴ Określenie poziomu ochrony np. katodowej, wpływu na środowisko, stopnia dopasowania do lokalnych wymagań rządowych itp.

⁵ Określenie ograniczeń dostępu do danych źródłowych, zasobów finansowych oraz wszelkich innych elementów informacyjnych analizy ryzyka.

⁶ Możliwe jest dokonanie wstępnego oszacowania zagrożenia dla dłuższych części rurociągu (kilku segmentów) w zależności od celów przyjętych w ocenie ryzyka. Granice obszaru kontrolnego rurociągu mogą być położone blisko zaworów, pomp, stacji lub miejsc nagłych zmian wartości wskaźnika oceny ryzyka (np. podwodne przejście, obecność wsi itp.). Zwiększenie liczby punktów pomiarowych wzdłuż części liniowej rurociągu zwiększa dokładność wskaźników oceny ryzyka. Może jednak także prowadzić do wzrostu kosztów pracy. Dodatkowe koszty gromadzenia i przetwarzania potrzebnych informacji wymuszają potrzebę optymalizacji długości rozważanego odcinka rurociągu względem wybranego wskaźnika oceny ryzyka.

1. oszacowanie częstości wycieków partii produktowych⁷ (patrz rozdział 4.1.1);
2. określenie skutków awarii, tj. możliwego wolumenu wycieku, powierzchni terenu zagrożonego skutkami niesprawności, wielkości szkód gospodarczych itp. (patrz rozdział 4.1.2);
3. ocenę ryzyka według wybranych wskaźników wystąpienia zagrożenia (patrz rozdział 4.1.4);

W celu wykonania oceny ryzyka niesprawności dla całej trasy przesyłowej należy dokonać analizy i syntezy oceny ryzyka każdego z ocenionych wcześniej segmentów oraz zbudować ranking zadań w różnych kategoriach ryzyka. Po zakończeniu oceny ryzyka każdego n-tego odcinka trasy rurociągu należy określić zależność różnych wskaźników ryzyka \mathbf{R} wzdłuż całej trasy rurociągu. Dalej, należy określić przedział zmienności dla funkcji zagrożeń (R, R_{max}) . Następnie, jeżeli indeks (wartość współczynnika) wskaźnika ryzyka jest większy niż wartość tzw. „dopuszczalnego ryzyka”, to podejmowane są decyzje o dokonaniu szczegółowej analizy i opracowaniu zaleceń w celu zmniejszenia ryzyka.

Na etapie opracowania zaleceń (krok 4 na rysunku 4.1) przygotowywane są wytyczne dotyczące uruchomienia określonych procedur i czynności operacyjnych mających wpływ na redukcję ryzyka, minimalizację negatywnych skutków awarii, a także podniesienie poziomu bezpieczeństwa rurociągu. Opracowane wartości wskaźników ryzyka określają poziom zagrożenia występujący na poszczególnych odcinkach rurociągu. Wykorzystywane są one do wyznaczenia strategicznych decyzji zarządczych dotyczących: utrzymania, diagnostyki i napraw rurociągu. Etap ocena ryzyka rurociągu (rysunek 4.1) dostarcza potrzebnych informacji do określenia długoterminowej strategii inwestycyjnej, wspomaga działania projektowe, a także poszerza bazę zgromadzonych danych na temat bezpieczeństwa rurociągu.

Szczegółowa analiza częstotliwości występowania czynników ryzyka wzdłuż trasy rurociągu (krok 3.1 na rysunku 4.1)⁸ umożliwia rozwiązanie dwóch pod-

⁷ W tym częstotliwości, z jaką dochodzi do uszkodzenia (otworów) rurociągu w zależności od wielkości jego efektywnej powierzchni.

⁸ Dobrym przykładem może być tutaj sezonowa częstotliwość występowania wycieków w rurociągach.

stawowych problemów: (i) diagnostyki i działań naprawczych linii przesyłowej, a także likwidacji skutków wycieków partii produktowej oraz (ii) wydajności przesyłu.

Wagi średnich rocznych awarii przypisywane są do każdego obszaru ryzyka. Obszary o najwyższym poziomie ryzyka R_v wymagają w pierwszej kolejności szczegółowego zbadania, diagnozy lub naprawy⁹.

Na podstawie środowiskowych wskaźników ryzyka, tj. przewidywanego obszaru zanieczyszczenia (R_{sg} i R_{sw}) oraz potencjalnych skutków zanieczyszczenia gruntów (R_{eg} i wód R_{ew}), określa się działania służące wyeliminowaniu skutków wycieków partii paliwowych wzdłuż trasy rurociągu. Wskaźniki ryzyka R_{sg} , R_{sw} , R_{eg} i R_{ew} pozwalają wyjaśnić rozkład wartości wskaźników ryzyka wzdłuż trasy rurociągu¹⁰. Ponadto, oszacowane wartości mogą być stosowane przez spółki naftowo-paliwowe do opracowania audytu środowiskowego, a także utworzenia specjalnego funduszu na rzecz ochrony środowiska. Wartości wskaźników ryzyka R_v oraz R_d wykorzystywane są do **projektowania nowych lub dokonywania zmian już istniejących tras przesyłowych**.

Metodologia postępowania badawczego, przyjęta do konstrukcji schematu oceny ryzyka (rysunek 4.1), została zbudowana w oparciu o ilościowe i ilościowe metody oceny ryzyka. Etap analizy i oceny ryzyka (krok 1, 2 i 3 na rysunku 4.1) uwzględnia wszystkie przewidywalne mechanizmy uszkodzeń, awarii i zakłóceń mających wpływ na sprawne zarządzania rurociągami *onshore* i *offshore*. Zestaw odpowiednich czynników wpływających na prawdopodobieństwo wystąpienia awarii (*ang. Probability of Failure* PoF) oraz ich konsekwencji (*ang. Consequence of Failure* CoF) jest dostosowany do otoczenia rurociągu, tj. brany jest pod uwagę ich wpływ na bezpieczeństwo pracy, środowisko i gospodarkę. Następnie, na podstawie aktualnych i historycznych danych z inspekcji wnętrza rurociągu ILI (*ang. in-line inspection*) określany jest poziom ufności, któ-

⁹ Przed zakończeniem prac diagnostycznych i naprawczych odpowiedni szacunek czynników musi być skorygowany.

¹⁰ W tym celu bierze się pod uwagę nie tylko przewidywany obszar zagrożenia zanieczyszczeniem (R_{sg} , R_{sw}), ale także potencjalne skutki szkód środowiskowych spowodowanych wystąpieniem niesprawności na obszarach zanieczyszczenia R_{eg} i R_{ew} .

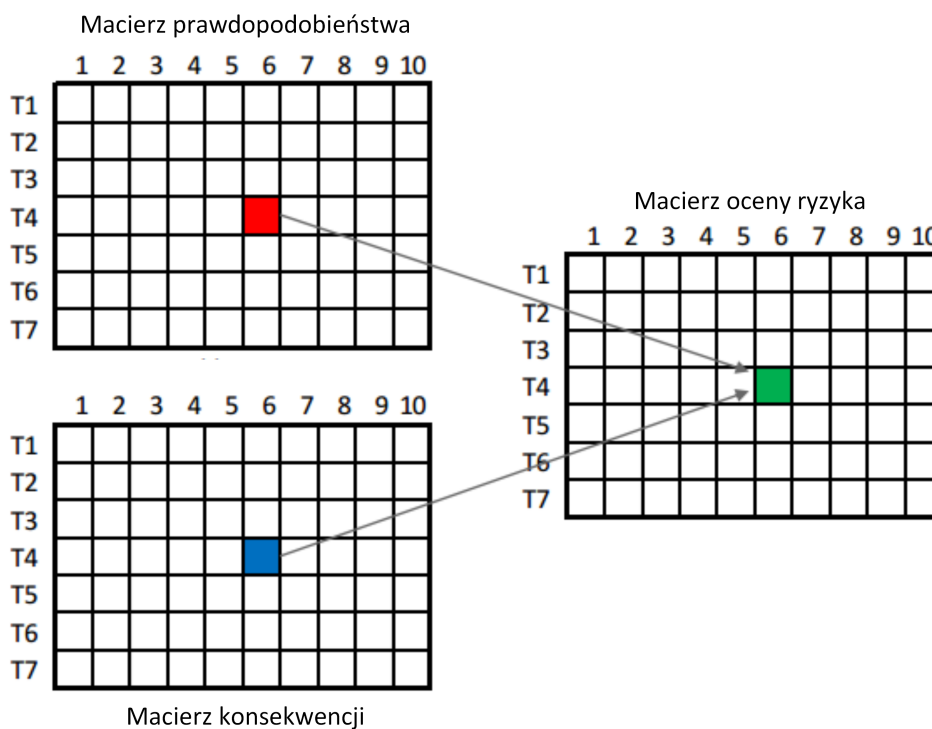
ry opisuje aktualny status sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach. Wyniki oceny integralności rurociągu są następnie, poprzez uwzględnienie i wdrożenie kryteriów (poziomów) akceptacji ryzyka, wykorzystane do wykreślenia całkowitego ryzyka w macierzy oceny ryzyka. Z tego względu **macierz oceny ryzyka** jest podstawowym narzędziem budowy planu zarządzania integralnością rurociągu (*ang. Integrity Management Plan IMP*). Na podstawie utworzonego planu integralności (scenariusza) dokonuje się dalszej oceny ryzyka związanej z zarządzaniem dominującymi przyczynami zakłóceń, awarii i uszkodzeń. Na tym poziomie, w wyniku planowanych działań, dokonuje się oceny systemu ochrony katodowej SOK, uszkodzeń w wyniku oddziaływania stron trzecich, określenia obszaru o dużym ryzyku wystąpienia awarii, podatności na korozję naprężeniową, planowanie odnowy rurociągu¹¹.

Ocena ryzyka przy zastosowaniu macierzy oceny ryzyka (rysunek 4.2) budowana jest w oparciu o prawdopodobieństwo wystąpienia niesprawności (awarii i zakłóceń (PoF)) oraz ich konsekwencji (CoF). Macierz oceny ryzyka wykorzystuje algorytmy zależne od specyficznych atrybutów danego rurociągu i środowiska jego funkcjonowania, tj. stopnia korozji zewnętrznej i wewnętrznej, parametru szacowanych napraw (*ang. Estimated Repair Factor ERF*), średnicy rurociągu, rodzaju transportowanego medium, parametrów zasięgu obszaru krytycznego (*ang. High Consequence Area HCA*) i możliwości przywrócenia rurociągu do warunków bezpiecznej eksploatacji. Wpływ powyższych czynników na każdy z obszarów (środowiskowy, bezpieczeństwa pracy i gospodarczy) oceniano w skali 10-punktowej [Daud i Al-Otaibi 2014]. Zakres i wpływ każdego czynnika ostatecznie określono za pomocą „wagi współczynnika”.

W zależności od wybranych do analizy celów określany jest wskaźnik oceny ryzyka. Na podstawie metodycznej oceny ryzyka wyznacza się:

¹¹ Typowymi czynnikami zakłócającymi proces eksploatacyjny są następujące niesprawności [Stabryła 2006]:

- awaryjność maszyn i urządzeń;
- wady materiałowe;
- nierytmiczność dostaw części zamiennych i zasileń energetycznych;
- wypadki przy pracy.



T1÷ T7 - zagrożenie 1÷ zagrożenie 7

Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia T4 na 10 punktowej skali

Konsekwencje wystąpienia zagrożenia T4 na 10 punktowej skali

Ocena ryzyka zagrożenia T4 na 10 punktowej skali

Rysunek 4.2: Konstruowanie macierzy oceny ryzyka.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [ROSSEN 2014].

- prawdopodobieństwo wystąpienia awarii i zakłóceń dostaw paliw w rurociągu. Określa się je m.in. na podstawie danych statystycznych dotyczących zdarzeń awaryjnych i oceny stanu technicznego rurociągu;
- wielkość otworu rurowego (kryzy), przez który jest uwalniany produkt;
- oczekiwaną średnią wielkość strat produktu paliwowego R_v . Określany jest wolumen lub koszt strat;
- oczekiwany średni obszar zanieczyszczenia terenów otaczających rurociąg, tj. gruntów R_{sg} i wód R_{sw} ;

- oczekiwane roczne szkody ekologiczne. Określa się sumę kar za zanieczyszczenie środowiska R_k ;
- poziom odniesienia opisujący stan sprawności rurociągu. Ustala się go w oparciu o nasilenie występowania wypadków, średnią powierzchnię wycieku partii paliwowej i czas regeneracji ekologicznej.

Powyżej wymienione elementy mają swoje odzwierciedlenie w zaprezentowanym schemacie na rysunku 4.1, tj. w krokach 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3 oraz 3.2.1 i 3.2.2.

Wskaźniki poszczególnych obszarów ryzyka służą następnie do określenia **priorytetów działań służb bezpieczeństwa i wyboru optymalnej strategii rehabilitacji, diagnostyki i naprawy rurociągu**. Ponadto, w oparciu o analizę rozkładu czynników ryzyka mogą być wyselekcjonowane te odcinki tras przesyłowych, które wymagają szczególowej i precyzyjnej oceny czynników ryzyka.

Ocena ryzyka jest kończy się przygotowaniem raportu - sprawozdaniem zawierającym wyniki analizy ryzyka. Sprawozdanie to winno być zgodne z obowiązującymi wytycznymi, normami, standardami i dokumentami, na podstawie których odbywa się analiza ryzyka¹² (rysunek 4.3).

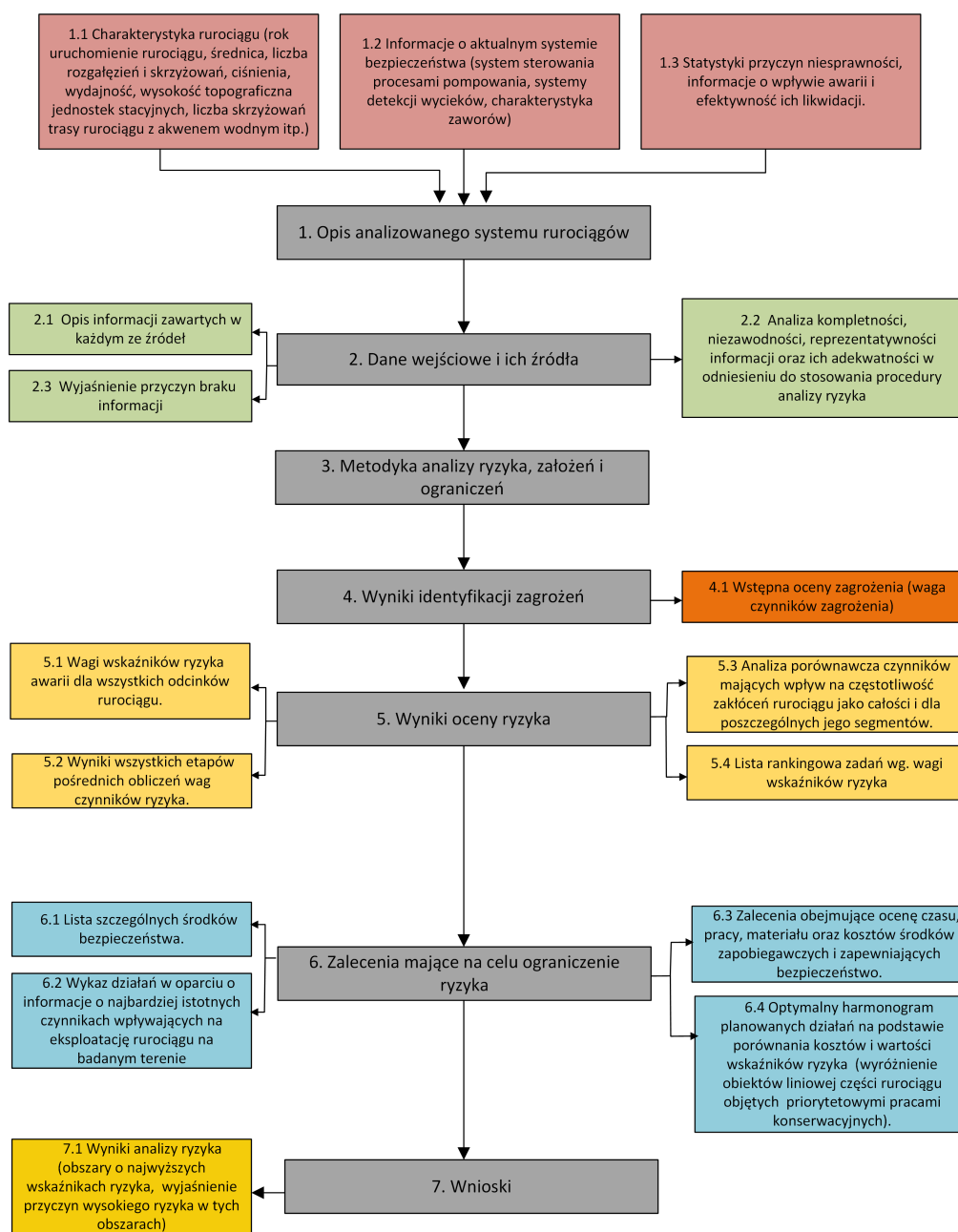
4.1.1 Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia

Dla potrzeb lepszego unaocznienia procesu wyznaczania prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia posłużymy się analizą jednego, wybranego czynnika ryzyka - korozją w rurociągach transgranicznych.

Prawdopodobieństwo wystąpienia awarii spowodowanej **korozją zewnętrzną i wewnętrzną** wyznacza się poprzez wykonanie następujących po sobie działań:

1. określenie stopnia korozji wewnętrznej i zewnętrznej, tj. % ubytku metalu, parametru szacowanej liczby napraw (*ang. Estimated Repair Factor ERF*)

¹² Wyniki analizy ryzyka muszą być przedstawione w sposób odtwarzalny, tj. w taki sposób, aby poczynione ustalenia i wykonana praca mogły być sprawdzane i powtarzane przez ekspertów, którzy nie są zaangażowani w przygotowanie oryginalnej analizy. Raport oceny ryzyka powinien pokrywać następujące zagadnienia: opis analizowanego układu rurociągu; dane wejściowe i ich źródła; metodyka analizy ryzyka, założeń i ograniczeń; wyniki identyfikacji zagrożeń; wyniki oceny ryzyka; zalecenia mające na celu ograniczenie ryzyka; wnioski; lista referencji i aplikacje.



Rysunek 4.3: Schemat konstrukcji raportu analizy i oceny ryzyka.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Günther 2014; Daud i Al-Otaibi 2014].

i nasilenia występowania zagrożenia (liczby powtórzeń) na liście ryzyka o krytycznej wadze, np. (i) różnicy wzrostu stopnia całkowitej korozji pomiędzy dwiema inspekcjami wnętrza rurociągu (*ang. in-line inspection* ILI), (ii) powierzchni obszaru rurociągu, który dotknięty jest występującą korozją;

2. określenie adekwatności aktualnego systemu ochrony katodowej SOK, tj. dostosowanie poziomu ochrony w oparciu o obowiązujące standardy, np. 900 mV do 1200mV;
3. analizę czułości w celu oceny ubytku metalu, np. zgodnie z normą ASME B31G, zmodyfikowaną ASME B31G lub DNV ;
4. przypisanie wagi, tj. określenie jakościowej wagi dla każdego czynnika zagrożenia awarią;
5. określenie prawdopodobieństwa wystąpienia awarii, (także umożliwienie edycji przez użytkownika wyznaczonego prawdopodobieństwa z umieszczeniem uzasadnienia). Prawdopodobieństwo wystąpienia tego samego czynnika może różnić się w różnych przypadkach oceny ryzyka w kategorii awarii rurociągów powstałych w wyniku korozji zewnętrznej i wewnętrznej.

Podobnie postępujemy w przypadku badań szczegółowych. Wyznaczenie prawdopodobieństwa wystąpienia awarii spowodowanej **korozją naprężeniową** możliwe jest na podstawie wykonania następujących po sobie działań określających:

1. kryteria pęknięcia wywołane korozją naprężeniową SCC (*ang. Stress Corrosion Cracking*) w odniesieniu do norm, np. ASME B31.8S, STP-PT-011 i CEPA;
2. kryteria odrzucania wyników obarczonych błędem grubym, zgodnie z ASME B31.8S¹³;
3. analizę czułości w celu oceny utraty metalu, np. zgodnie z normą ASME B31G lub zmodyfikowana ASME B31G lub DNV;
4. dostępność danych historycznych odnośnie parametru SCC;

¹³ Naprężenie normalne > 60% zakresu zmienności, temperatura > 100 F, czas eksploatacji > 10 lat, powłoka ochronna wykonana z innych materiałów podkładowych niż duroplastycznego epoksydu (*ang. Fusion Bond Epoxy FBE*).

5. aktualne lub poprzednie dane z przebiegów elektromagnetycznego (*ang. Electromagnetic Acoustic Transducer EMAT*) lub ultrasonicznego (*ang. Ultrasonic Testing UT*) tłoka w rurociągach charakteryzujących się deformacją korozyjną, np. pęknięciami¹⁴.

4.1.2 Konsekwencje wystąpienia zagrożenia

Konsekwencje wystąpienia zagrożeń można podzielić na cztery kategorie, w zależności od ich wpływu na: **bezpieczeństwo, gospodarkę, środowisko i wizerunek przedsiębiorstwa**. Konsekwencje niesprawności rurociągu mogą mieć różnorodny zasięg, dotyczą:

- wpływu na gospodarkę przedsiębiorstwa, np. konsekwencje utraty produktu, kar kontraktowych itp. Wystąpienie awarii może doprowadzić do braku możliwości dalszej eksploatacji rurociągu;
- wpływu na bezpieczeństwo ludzi zamieszkujących okolice przebiegu trasy rurociągu lub znajdujących się w strefie zagrożenia, np. konsekwencje utraty zdrowia lub życia;
- wpływu na środowisko, w postaci zanieczyszczenia, np. fauny, flory, gleby i wody. Do tej kategorii należą również skutki awarii na stan infrastruktury przesyłowej oraz skutki uszkodzenia budynków, dróg, szlaków kolejowych itp.;

¹⁴ Innym przykładem analizy może być opis prawdopodobieństwo wystąpienia awarii spowodowanej **oddziaływaniem stron trzecich**. Prawdopodobieństwo wystąpienia awarii spowodowanej oddziaływaniem stron trzecich wyznacza się na podstawie:

- a) nasilania deformacji, tj. dokonania pomiarów deformacji korozyjnej, lokalizacji spoiny lub odcinka rury, na której korozja występuje, obniżenie poziomu naprężenie normalnego za pomocą tłoków inspekcyjnych;
- b) minimalizacji głębokości posadowienia rurociągu, tj. dla różnych typów gleby według normy API 1102;
- c) uwarunkowań tzw. prawa drogi (patrz rozdział 2.2.4);
- d) poziomu działalności stron trzecich, tj. gęstości zaludnienia, natężenia prac budowlanych lub remontowych;
- e) częstotliwości i skuteczności patrolu naziemnego i z powietrza.

- wpływu na wizerunek firmy, tj. utrata zaufania na rynku paliwowym, nie-pochlebne publikacje, wprowadzenie restrykcyjnych środków zarządzania. Wpływ na wizerunek firmy nie jest wyznaczany w wymiarze finansowym, ale na skali rankingowej (od A do F) na podstawie łącznych kosztów poniesionych w wyniku szkód ekologicznych i społecznych.

Podsumowując dotychczasowe uwagi można stwierdzić, że brak zachowania reżimu bezpieczeństwa, awarie, zły stan techniczny rurociągów, brak sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach mogą powodować ogromne straty gospodarcze i środowiskowe. W wyniku błędów w zarządzaniu przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych dochodzi do zakłócenia działań operacyjnych. W ekstremalnym przypadku, jak wcześniej wspomniano, mogą doprowadzić do możliwości wykluczenia rurociągu z eksploatacji. Parametrem wpływającym na stopień **bezpieczeństwa** jest zasięg obszaru krytycznego HCA (*ang. High Consequence Area*)¹⁵. **Gospodarczy** efekt wystąpienia awarii to przede wszystkim straty finansowe związane z przerwaniem przesyłu, utratą produktu oraz oczyszczania terenu z powstałych szkód. Wśród parametrów kluczowych opisu konsekwencji gospodarczych awarii i zakłóceń wyróżnia się również wskaźniki wielkości i znaczenia niesprawności dla całego systemu przesyłowego. Jeżeli chodzi o parametry kluczowe mające wpływ na **środowisko**, to należy mieć na uwadze chroniczne zagrożenie otoczenia rurociągu uwolnieniem transportowanego medium. Średnice rurociągu i przeprowadzane działania operacyjne na rurociągu mają wpływ na określenie skutków środowiskowych wystąpienia awarii.

4.1.3 Metoda wyznaczania pozycji rankingowej ryzyka

Zastosowanie metody wyznaczania pozycji rankingowej ryzyka zostało pokazane, dla celów modelowych, konsekwentnie na przykładzie wybranych wcześniej trzech

¹⁵ Ocena HCA przeprowadzana jest w celu zredukowania ryzyka na terytorium, przez które przebiega rurociąg, tj. pustynie, autostrady, miasta, zbiorniki wody pitnej, obszary szczególnie wrażliwe. Przeprowadzenie oceny HCA wymaga uwzględnienia takich parametrów jak wskaźnik gęstości zaludnienia, stopień koncentracji H_2S , średnica rurociągu i rodzaj transportowanego medium.

wskaźników ryzyka - korozji zewnętrznej, wewnętrznej i naprężeniowej w systemach rurociągowych. Analogiczne obliczenia należałoby wykonać dla pozostałych wskaźników ryzyka.

Ryzyko R wyznaczane jest na podstawie prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia P oraz konsekwencji wystąpienia zagrożenia K oddzielnie dla każdego zagrożenia. W ramach konsekwencji określa się wpływ danego zagrożenia na bezpieczeństwo K_b , gospodarkę K_g i środowisko K_s .

Wpływ ryzyka wystąpienia zagrożenia korozji zewnętrznej na bezpieczeństwo R_{kzb} , na gospodarkę R_{kzg} i na środowisko R_{kzs} wyraża się kolejno wzorami 4.1, 4.2 i 4.3:

$$R_{kzb} = P_{kz} \cdot K_b, \quad (4.1)$$

$$R_{kzg} = P_{kz} \cdot K_g, \quad (4.2)$$

$$R_{kzs} = P_{kz} \cdot K_s. \quad (4.3)$$

Ryzyko całkowite wystąpienia korozji zewnętrznej jest iloczynem prawdopodobieństwa wystąpienia korozji zewnętrznej P_{kz} i średniej arytmetycznej z konsekwencji jej wpływu na bezpieczeństwo K_b , gospodarkę K_g i środowisko K_s , a wyraża się wzorem 4.4:

$$R_{kz} = P_{kz} \cdot K_{waga(b,g,s)}. \quad (4.4)$$

Analogiczne obliczenia są wykonywane dla kolejnych zagrożeń, np. dla korozji wewnętrznej P_{kw} poszczególne ryzyka wyrażone są przez wzory 4.5, 4.6 i 4.7:

$$R_{kwb} = P_{kw} \cdot K_b, \quad (4.5)$$

$$R_{kwg} = P_{kw} \cdot K_g, \quad (4.6)$$

$$R_{kws} = P_{kw} \cdot K_s. \quad (4.7)$$

Całkowite ryzyko wystąpienia korozji wewnętrznej R_{kw} jest iloczynem prawdopodobieństwa wystąpienia korozji wewnętrznej P_{kw} i średniej arytmetycznej z konsekwencji jej wpływu na bezpieczeństwo K_b , gospodarkę K_g i środowisko K_s , a wyraża się wzorem 4.8:

$$R_{kw} = P_{kw} \cdot K_{waga(b,g,s)}. \quad (4.8)$$

Ostatecznie, wyznaczenie **końcowej pozycji rankingowej ryzyka** R_{rank} odbywa się przez wyznaczenie iloczynu maksymalnej wartości wyznaczonej oceny prawdopodobieństwa P , tj. w tym przypadku P_{kz} lub P_{kw} i średniej oceny konsekwencji wpływu na bezpieczeństwo, gospodarkę i środowisko, tj. $K_{waga(b,g,s)}$. Lista rankingowa ryzyka opisana jest wzorem 4.9:

$$R_{rank} = R_1 + f(R_2), \quad (4.9)$$

gdzie R_1 to całkowite ryzyko wystąpienia jednego zagrożenia (lub mechanizmu uszkodzenia), a R_2 to nasilenie całkowitego ryzyku wystąpienia drugiego zagrożenia (lub mechanizmu uszkodzenia).

Należy zwrócić uwagę, że parametr natężenia występowania zagrożenia (liczby wystąpień na liście krytycznego ryzyka) $f(R_2)$ jest określony po wykonaniu analizy czułości. W zależności od specyficznej oceny inżyniersko-technologicznej, może się on różnić dla każdego rozpatrywanego przypadku rurociągu.

4.1.4 Macierz oceny ryzyka

Macierz oceny ryzyka (rysunek 4.4) jest graficzną prezentacją oczekiwanego nasilenia występowania niesprawności oraz ich konsekwencji dla segmentów rurociągów, całych linii rurociągowych i sieci rurociągowych. Służy ona określeniu listy rankingowej ryzyk występujących w rurociągu. Macierz oceny ryzyka ma na celu określanie priorytetowych działań przy obieraniu strategii sprawnego zarządzania przesyłem partii produktowych w rurociągach, tj. rozwoju planu inspekcji i utrzymania rurociągu na podstawie analizy listy rankingowej ryzyka. Macierz oceny ryzyka jest narzędziem stosowanym do oceny ryzyka. Wkładem własnym autorki w tym zakresie jest sposób definiowania i obliczania wartości pól macierzy oceny ryzyka, obliczeń prawdopodobieństwa i konsekwencji występowania zdarzeń awaryjnych.

Lista rankingowa sprawnego działania, użyta w modelu sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych, powstaje w oparciu o macierz oceny ryzyka, która składa się z **potencjalnego nasilenia** zdarzeń awaryjnych (wiersze) oraz **kategorii ich konsekwencji** (kolumny).

KLASA	KONSEKWENCJE					1	2	3	4	5
	Wpływ na gospodarkę (na „dni produkcyjne”) D > 30 lub K > 250 tys. \$	Wpływ na bezpieczeństwo Liczne ofiary śmiertelne Poważne ofiary śmiertelne, liczne ofiary z trwałym uszkodzeniem na zdrowiu	Wpływ na środowisko* Efekt masowy więcej niż 10000 baryłek Poważne szkody 5000 - 10000 baryłek	Zatręcenie nie było miażdżące w sektorze przemysłowym	Zatręcenie nie jest oczekiwane					
Katastroficzne E				Ś	W	BW	BW	BW	BW	BW
Krytyczne D	20 < D ≤ 30 lub 50 mln \$ < K ≤ 250 mln \$	Regulacyjne ofiary śmiertelne, liczne ofiary z trwałym uszkodzeniem na zdrowiu	5000 - 10000 baryłek	N	Ś	W	BW	BW	BW	BW
Poważne C	10 < D ≤ 20 lub 5 mln \$ < K ≤ 50 mln \$	Poważny uszkodzek na zdrowiu	Lokalne straty 5000 - 50 baryłek	BN	N	Ś	W	W	BW	BW
Marginalne B	5 < D ≤ 10 lub 250 tys. \$ < K ≤ 5 mln \$	Drobne uszkodzeki na zdrowiu	Pomijalne straty 5-50 baryłek	BN	BN	N	Ś	Ś	W	W
Pomijalne A	D ≤ 5 lub K ≤ 250 tys. \$	Brań lub powierchozne szkody	Drobne szkody poniżej 5 baryłek	BN	BN	BN	N	N	Ś	Ś

*Szkody środowiskowe określone liczbą baryłek utraconego produktu.

Ryzyko

Bardzo wysokie
Wysokie
Średnie
Niskie
Bardzo niskie

Oznaczenie

BW
W
Ś
N
BN

Rysunek 4.4: Macierz oceny ryzyka. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Daud i Al-Otaibi 2014; Neunert 2014]

Wagi prawdopodobieństw wystąpienia awarii i zakłóceń przepływu partii produktowych w rurociągach transgranicznych oraz ich konsekwencji wykreślane są w macierzy oceny ryzyka (patrz rozdział 4.1.3). Pole macierzy, w którym się krzyżują, wskazuje na osiągnięty poziom ryzyka. Macierz o wymiarach 5x5 wskazuje 5 poziomów ryzyka: bardzo niskie, niskie, średnie, wysokie i bardzo wysokie. Termin *rurociąg o wysokim poziomie ryzyka* oznacza, że rurociąg ten jest wystawiony na wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia niesprawności (awarii i zakłóceń), a

gdy awaria ta nastąpi, to jej konsekwencje będą miały znaczący wpływ na bezpieczeństwo, środowisko i gospodarkę. Ze względu na konieczność redukcji lub eliminacji zagrożeń, to właśnie dla rurociągów o wysokim poziomie ryzyka powinna być przeprowadzona szczegółowa ocena ryzyka, tj. plan integralności rurociągu. Przedmiotem planowania integralności rurociągu jest wyznaczenie szczegółowej oceny zagrożeń oraz opracowanie rekomendacji i zakresu napraw rurociągu. Planowanie integralności rurociągu nie może odbyć się bez danych na temat historii działań operacyjnych przeprowadzonych na rurociągu, podsumowań inspekcji rurociągowych ILI, wpisów dotyczących prac naprawczych rurociągu oraz historii wycieków.

Macierz oceny ryzyka jest decydującym narzędziem do podjęcia decyzji sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach. W zależności od poziomu ryzyka mogą być podjęte następujące działania:

- bardzo wysoki poziom ryzyka: sprawne działanie oznacza podjęcie natychmiastowych czynności zapobiegawczych zagrożeniu (w celu ich eliminacji);
- wysoki poziom ryzyka: sprawne działanie oznacza podjęcie czynności w zakresie tego zagrożenia jako **priorytetowych**;
- średni poziom ryzyka: sprawne działanie oznacza zredukowanie poziomu ryzyka zagrożenia do **dopuszczalnego poziomu ryzyka** w celu kontynuowania bezpiecznych działań operacyjnych;
- niski poziom ryzyka: sprawne działanie oznacza kontynuację dotychczasowych działań, gdyż jest to akceptowalny poziom wskaźników ryzyka;
- bardzo niski poziom ryzyka: sprawne działanie oznacza, że nie trzeba podejmować żadnych działań priorytetowych, ponieważ poziom zagrożenia jest nieistotny.

Ustalanie priorytetów działań za pomocą macierzy oceny ryzyka dostarcza mechanizmu systematycznego określania i zrozumienia ryzyka związanego z działaniami operacyjnymi w zakresie przepływu partii produktowych w rurociągach

transgranicznych. W wyniku listy rankingowej działań możliwe jest podjęcie strategicznych decyzji zarządczych na podstawie zdefiniowanej listy działań o krytycznym znaczeniu i opracowanie planu integralności rurociągu w celu zapewnienia sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych. Metoda tworzenia macierzy oceny ryzyka jest elementem logicznego procesu ustalania priorytetów, sortowania i analizy listy czynności usprawniających zarządzanie przesyłem paliw. Dzięki temu możliwe jest w efekcie uniknięcie awarii, zakłóceń i przestojów w dostawach paliw, a także wybór alternatywnych, niezagrażonych awarią tras przesyłowych.

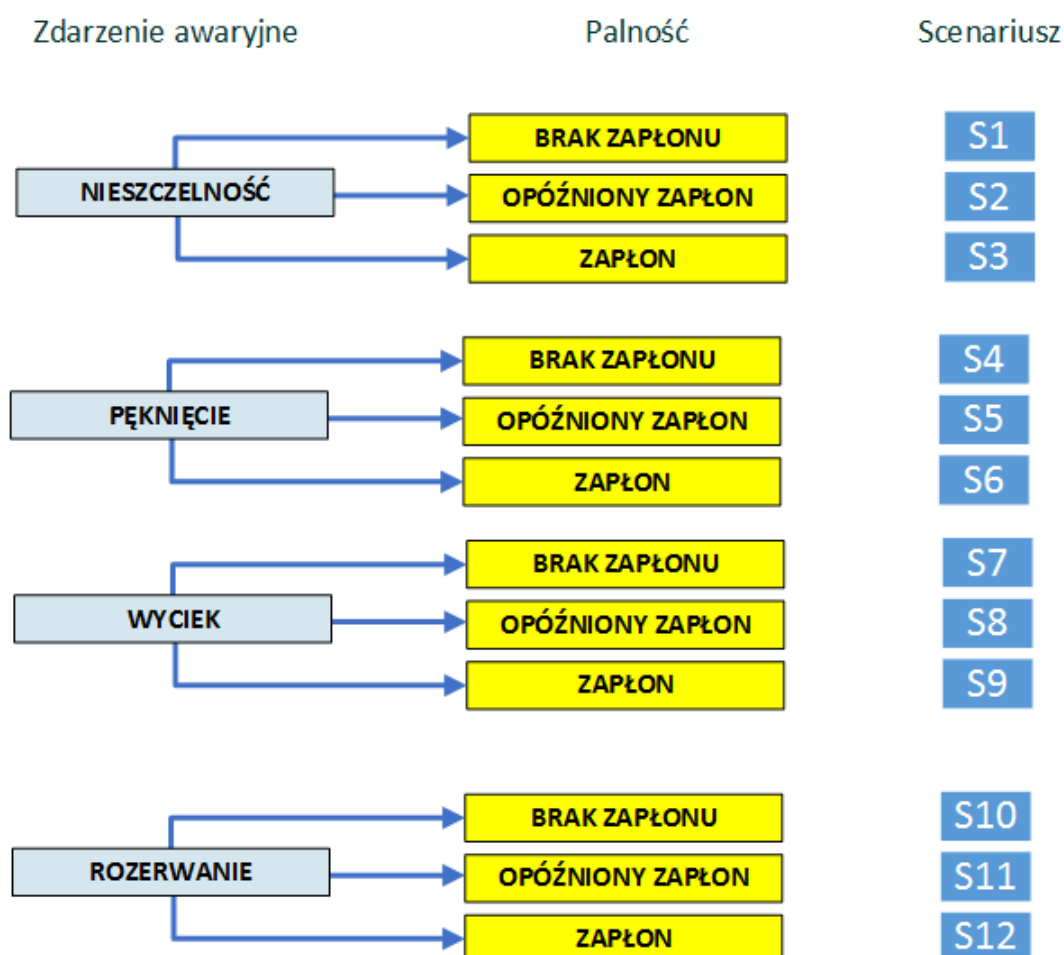
Dla różnych scenariuszy ratunkowych, ocena skutków zdarzeń awaryjnych i zakłóceń funkcjonowania rurociągów obejmuje te elementy oszacowania, które uwzględniają: wolumen wycieku i koszt utraconych partii produktowych, a także straty ekologiczne wyrażone powierzchnią zagrożonych zanieczyszczeniem terenów (gleb i wód). Szkody ekologiczne określone są ostatecznie kwotą odszkodowania za zanieczyszczenie poszczególnych elementów środowiska, tj. wysokością odszkodowania za zniszczenie i negatywne skutki wpływu na faunę i florę.

4.2 Scenariusze sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych

Scenariusze sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych modelowane są na podstawie powstałej listy rankingowej działań priorytetowych (patrz rozdział 4.1.3).

Przyjęte podejście wykazuje się elastycznością i nie ogranicza możliwości tworzenia scenariuszy ratunkowych. Można zbudować prosty scenariusz ratunkowy na podstawie dwóch czynników ryzyka (np. wycieku i pęknięcia, patrz rysunek 4.6), ale także bardziej złożony, który uwzględnia wielość czynników zagrożenia, tj. poziom toksyczności transportowanego medium, prawdopodobieństwo defektu rury itp. (rysunek 4.5).

Wolumen utraconego produktu jest zależny od rodzaju zdarzenia awaryjnego, ponieważ zdarzenia awaryjne mogą być również określone rozmiarem kry-

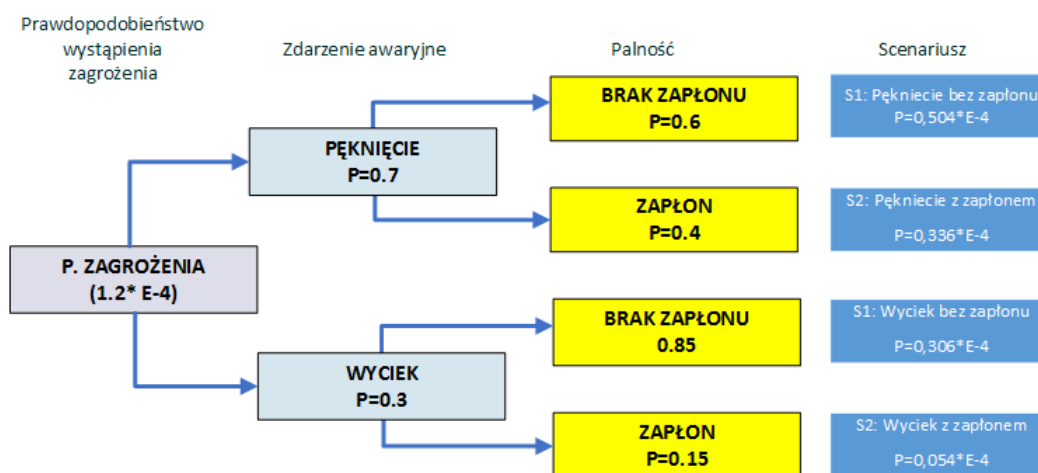


Rysunek 4.5: Konstruowanie scenariuszy ratunkowych.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [PSI 2013].

zy (wielkości otworu, przez który uwalniany jest produkt). Prawdopodobieństwo wystąpienia kryzy o danym rozmiarze brane jest pod uwagę przy konstrukcji scenariusza ratunkowego.

Każdy scenariusz ratunkowy wywiera odmienny wpływ na kategorie konsekwencji opisanych w rozdziale 4.1.2 (bezpieczeństwo, gospodarka, środowisko i



Rysunek 4.6: Przykład wyznaczanie prawdopodobieństwa wystąpienia scenariuszy ratunkowych.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Günther 2014].

wizerunek firmy). Konstruowanie scenariuszy ratunkowych w ramach sprawnego zarządzania uwzględnia rodzaj zdarzeń awaryjnych. Sytuację tę w sposób graficzny można przedstawić w postaci rysunku 4.5.

4.3 Podsumowanie

Sprawne zarządzania przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw w rurociągach transgranicznych umożliwia określenie dla każdego segmentu rurociągu:

- prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia;
- konsekwencji wystąpienia zidentyfikowanego zagrożenia, z uwzględnieniem wpływu na bezpieczeństwo, środowisko, gospodarkę i wizerunek firmy;

- współczynnika ryzyka;
- listy rankingowej zadań priorytetowych do wykonania.

Informacje dotyczące powyżej przedstawionych kategorii przechowywane są w postaci macierzy oceny ryzyka. Możliwe jest wyznaczenie parametrów prawdopodobieństwa wystąpienia anomalii, ich konsekwencji i ostatecznie ryzyka dla różnych długości rurociągu - segmentów, całych rurociągów i sieci rurociągowych. Przyjęta metoda pozwala na porównanie mierników ryzyka poszczególnych zagrożeń wzdłuż całego rurociągu, nie wyklucza możliwości zestawienia mierników ryzyka uwzględniającego kilka zagrożeń, a także wprowadzenia kompleksowych i wielowymiarowych badań naukowych.

Wytyczne przyjętej metody modelowania scenariuszy ratunkowych wykorzystane są do oceny prawdopodobieństwa wystąpienia anomalii w działaniu rurociągu, np. wycieku (ryzyko technologiczne). Służą one również do oceny wielkości straty partii produktowej, a także do oceny odszkodowania za zanieczyszczenie gruntów i wód gotowymi produktami naftowymi wzdłuż trasy przesyłowej rurociągu (ryzyko gospodarcze). Ocena ryzyka awarii (na podstawie wskaźników ryzyka występujących na trasie przesyłowej) stanowi podstawę do opracowania listy priorytetowych działań na rzecz poprawy sprawności zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych, w tym strategii i organizacji prac diagnostycznych, naprawczych i konserwacyjnych liniowej części rurociągu (ryzyko środowiskowe). Ponadto, w oparciu o analizę rozkładu czynników niesprawności, mogą być typowane odcinki tras przesyłowych, które wymagają bardziej precyzyjnej oceny ryzyka oraz opracowania zaleceń dalszej, właściwej eksploatacji z uwzględnieniem zachowania zgodnego ze scenariuszami ratunkowymi.

Wytyczne modelu sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych mają zastosowanie w analizie i ocenie ryzyka zagrożeń. Przyczyniają się do rozwoju standardów bezpieczeństwa przemysłowego odnoszących się np. do produkcji materiałów wykorzystywanych w instalacjach rurociągowych. Wpływają na końcową ocenę funkcjonowania rurociągów trans-

granicznych - są uwzględniane przy projektowaniu, budowie i działaniach operacyjnych, opracowywaniu zasad prowadzenia prac naprawczych (rehabilitacji) rurociągu, a także szacowaniu wartości ubezpieczenia za szkody powstałe w razie zakłóceń i awarii rurociągu. Ponadto, wyniki i opracowane wytyczne mogą być stosowane przez przedsiębiorstwa do przeprowadzenia dalszych, dodatkowych i szczegółowych analiz oraz przygotowywania raportów.

Model sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych powinien z założenia spełniać kryteria minimalizacji liczby zakłóceń przepływu partii produktowych, powinien pozwalać na bezpieczną i niezawodną pracę rurociągów. Jednak, w przypadku wystąpienia awarii, model sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych powinien umożliwiać określenie przewidywanych strat materialnych, tj. kosztów (bezpośrednich i pośrednich) przedsiębiorstw, instytucji i organizacji, wynikających z konieczności eliminacji powstałych szkód środowiskowych i przywrócenia stanu ekologicznego, a także kosztów odszkodowań z tytułu uszkodzonego mienia, utraconego zysku i odbudowy wizerunku przedsiębiorstwa.

Zakończenie

Wnioski

Niniejsza rozprawa jest odpowiedzią na faktyczne potrzeby i wyzwania z jakimi borykają się przedstawiciele sektora paliwowo-naftowego zarządzający przepływem partii paliwowych. Zaprezentowany model sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw jest wynikiem kilkuletniej pracy badawczej popartej obserwacją rynku paliwowego. Sposób podejścia do tematu oraz proponowane, w ramach całościowego modelu, konkretne rozwiązania pozwalają określić miarodajne wskaźniki pomiaru sprawnego zarządzania przesyłem partii produktowych paliwowego łańcucha dostaw.

Rzeczą bezsporną jest, że wielu operatorów rurociągów paliw płynnych wykorzystuje istniejącą infrastrukturę przesyłową należącą do konsorcjów naftowo-paliwowych lub specjalnie powołanych do tego spółek państwowych. Dla tych podmiotów najistotniejszym zagadnieniem o wymiarze ekonomicznym, a w szczególności biznesowym, jest sprawność systemu przepływu paliw, jakość paliw oraz szybkość ich dostarczania do klienta. Zaproponowany w pracy model sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw w tym zakresie spełnia oczekiwania wszystkich zainteresowanych stron. Pozwala on w przejrzysty sposób, uwzględniając najważniejsze wskaźniki systemowe, wielość różnorodnych zagrożeń, jak i problemy codziennych działań operacyjnych, określić warunki sprawności wykorzystywane w procesie zarządza-

nia przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych. Sprawne zarządzanie przepływem partii produktowych wymaga, w sposób bezwzględny, transparentności podejmowanych decyzji - umożliwia na podstawie przyjętych założeń, poprawną interpretację wyselekcjonowanych i zaaplikowanych danych, podjęcie optymalnych decyzji oraz wybór scenariuszy ich realizacji.

Przypadki zakłóceń w dostawie paliw i ryzyko podjęcia niewłaściwych decyzji wiążą się z ogromnymi stratami finansowymi. Opracowane rozwiązania pozwalają określić wskaźniki ryzyka, minimalizować lub eliminować negatywne skutki błędnych decyzji oraz wskazywać potencjalne źródła i miejsca niesprawności systemu przesyłowego. Rozpoznanie zagrożeń ryzyka na wstępnym etapie stanowi ważny element szerszego procesu planowania działań - lista rankingowa działań priorytetowych pozwala tworzyć scenariusze zapobiegające w czasie rzeczywistym i przyszłym powstawaniu niekorzystnych i niebezpiecznych zjawisk.

Uniwersalność i stopień ogólności uzyskanych wyników powoduje, że mogą one mieć szerokie zastosowanie w przemyśle naftowo-paliwowym. Po wprowadzeniu koniecznych danych, model sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych stanowi doskonały materiał dla praktyków, którzy oczekują gotowych rozwiązań - w miejscu i czasie powstania problemów. Oznacza to, że kierunek badań oraz sugerowane rozwiązania pozwalają na aktualizację prezentowanych wyników i dopasowywanie ich do zmieniających się warunków otoczenia technicznego związanego z przesyłem paliw.

Interdyscyplinarny charakter przeprowadzonych badań nad transportem paliw w rurociągach transgranicznych, wykorzystanie najnowszych osiągnięć nauk ekonomicznych i technicznych umożliwia prezentację tej tematyki w nieco odmiennym świetle. Integracja odrębnych rozważań ekonomicznych i technicznych w jedną całość powoduje, że tematyka zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych powinna być oparta na teoretycznym modelu sprawnego działania. Model ten uwzględnia współczesną specyfikę sektora naftowo-paliwowego, a w szczególności problemy związane z rynkiem obrotu paliw. Wprowadzenie mierników sprawności, stworzenie jednego teoretycznego modelu może stanowić interesującą propozycję szerszego sposobu prowadzenia badań

ekonomicznych zajmujących się mechanizmami sprawnego zarządzania przedsiębiorstwami międzynarodowymi w sektorze naftowo-paliwowym.

Model sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw obejmuje swoim zasięgiem obecnie funkcjonujące rurociągi transgraniczne, a więc międzynarodowe sieci przesyłowe i rurociągi tranzytowe. Przyjęty do opisu modelu zestaw czynników wpływających na prawdopodobieństwo wystąpienia zakłóceń w dostawach (awarii) wynika zarówno z analiz teoretycznych symulacji, jak i z praktycznych problemów, z którymi borykają się międzynarodowe przedsiębiorstwa zajmujące się przepływem paliw. Model ten uwzględnia faktyczne zmiany w sektorze paliwowo-naftowym, metody i kierunki projektowania i eksploatacji systemów rurociągów. Po wprowadzeniu aktualizujących danych może stanowić wzorzec. Systemy zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych.

Przedstawiony w pracy model sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych jest, z uwagi na specyfikę przedmiotu badań, modelem:

1. opartym na ujęciu zasobowym;
2. uwzględnia, zbudowane w oparciu o póliłociowe metody oceny ryzyka - algorytmy i schematy postępowania oparte na konstrukcji macierzy oceny ryzyka;
3. uwzględnia pozycję rankingową działań priorytetowych;
4. pozwala na określenie prawdopodobieństwa wystąpienia ryzyka zakłóceń, tj. daje możliwość konstrukcji i modelowania konkretnych scenariuszy sprawnego przesyłu paliw.

Szczegółowa analiza zjawiska niezawodności i skuteczności przepływu partii paliwowych, poparta znajomością branży naftowo-paliwowej, w decydującym stopniu zaważyła na ostatecznym kształcie teoretycznego modelu zarządzania. Model ten umożliwia realizację podstawowego celu - **maksymalizację potencjału paliwowego łańcucha dostaw**. Wprowadzenie określonych rozwiązań

do modelu zarządzania przepływem partii produktowych dynamicznego sektora naftowo-paliwowego ujawniło potrzebę opracowania wysoce wyspecjalizowanych narzędzi badawczych m.in. ustaleń teoretycznych związanych z określeniem poziomu ryzyka oraz oceny poprawności i skuteczności podejmowanych operacyjnych i strategicznych decyzji zarządczych. Na podstawie nawet fragmentarycznego wprowadzenia elementów tego modelu do praktyki przemysłu przesyłowego produktów paliwowych możemy otrzymać konkretne korzyści gospodarcze. Możemy korzystać ze stałego monitoringu - stworzyć bazę dla zunifikowanego systemu informatyczno-operacyjnego pozwalającego na połączenie dotychczasowych, odrębnych systemów monitorujących. Dysponując szybszym przepływem danych możemy tworzyć i doskonalić proces sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych, który pozwala reagować w krótkim czasie na awarie zarówno o wymiarze lokalnym, jak i globalnym. Niniejszy model sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw stanowi podstawę dla dalszych prac związanych z opracowaniem oprogramowania, które będzie spełniało obecnie obowiązujące międzynarodowe standardy.

Przeprowadzone badania, wyniki oraz proponowane rozwiązania potwierdzają potencjalną przydatność modelu sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw i mogą stać się główną częścią prac nad systemem eksploatacji rurociągów transgranicznych. Identyfikacja kluczowych wskaźników sprawności działań operacyjnych, charakterystyka wyzwań, przed którymi stoją operatorzy rurociągów, pomiar sprawności zarządzania paliwowym łańcuchem dostaw w rurociągach transgranicznych to istotne elementy prac koncepcyjnych nad szerszym systemem - niezawodnej i bezpiecznej eksploatacji rurociągów transgranicznych. Modelowanie sprawnego działania powoduje zwiększenie komfortu pracy służb eksploatacyjnych, pośrednich i końcowych użytkowników rurociągów oraz ma wpływ na minimalizację zaburzeń w pracy systemu.

Wyzwania współczesności

Przemysł naftowo-paliwowy w Europie i na Bliskim Wschodzie doświadcza aktualnie wzrostu liczby współpracujących operatorów rurociągów paliwowego łańcucha dostaw. Większość operatorów rurociągów, w celu transportu swoich partii produktowych, tj. paliw płynnych, wykorzystuje istniejącą infrastrukturę przesyłową należącą do konsorcjów paliwowych lub spółek państwowych danego kraju, przez który przebiega rurociąg transgraniczny.

Większość operatorów rurociągów importuje gotowe produkty naftowe od sąsiadujących krajów. Większość produktów wprowadzonych na rynek paliwowy to benzyny silnikowe, oleje opałowe, oleje napędowe i paliwo lotnicze. Produkty te cieszą się największym popytem ze strony klienta końcowego w paliwowym łańcuchu dostaw, gdyż najczęściej używa się je w sektorze transportu oraz w gospodarstwach domowych¹⁶. Dla większości przedsiębiorstw, operatorów rurociągów paliwowego łańcucha dostaw, niezwykle istotne są mierniki sprawności. Pomagają one określić standardy właściwego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych: jakości dostarczanego paliwa, szybkości dostarczania partii produktowej oraz satysfakcji klienta. Te wskaźniki cechują się najwyższą wagą i najczęściej uwzględniane są przez uczestników paliwowego łańcucha dostaw podczas codziennych działań operacyjnych. Niezakłócone dostawy partii produktowych w określonych ilościach i monitoring kosztów operacyjnych paliwowego łańcucha dostaw uznawane są za kluczowe czynniki (najwyższej wagi) wpływające na proces optymalizacji kompleksowego przesyłu partii produktowych w rurociągach zarówno międzynarodowych, jak i krajowych.

Sprawne zarządzanie przepływem partii produktowych w paliwowym łańcuchu dostaw rurociągów transgranicznych zapewnia wysoki stopień satysfakcji klienta i wyższy zysk marginalny (krańcowy). Wskaźniki sprawności wykorzystywane do oceny przyjętego modelu zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych zakładają przyjęcie pewnych ram czasowych i bu-

¹⁶ Większość przedsiębiorstw importuje partie produktowe paliw poprzez system dedykowany nominacjom zarówno na surowiec - ropę naftową, jak i końcowe produkty jej rafinacji - paliwa płynne.

dżetowych. Scenariusze awaryjne (ratunkowe) zostają wykorzystane do pomiaru zagrożenia i określenia listy rankingowej działań operacyjnych zapewniających sprawny przepływ partii produktowych w segmentach paliwowego łańcucha dostaw. Ponadto, służą one do pomiaru czasu niezbędnego na dostarczenie produktów paliwowych do klienta (parków zbiornikowych, centrów dystrybucyjnych) oraz określają niezbędny przedział czasowy reakcji na zmianę potrzeb klientów.

Przedsiębiorstwa działające na rynku dystrybucji i marketingu paliw płynnych zmagają się dodatkowo z różnymi wyzwaniami pozasystemowymi. Przemysł naftowo-paliwowy w Europie i na Bliskim Wschodzie jest podporządkowany wielu regulacjom rządowym, prawnym oraz ekologicznym. Uwzględnione muszą zostać ustawy krajowe, regulacje energetyczne specjalnie powołanych do tego komisji międzynarodowych (np. Europejska Karta Energetyczna) oraz biurokratyczne zalecenia urzędów podatkowych odnośnie sposobu rozliczenia akcyzy. Przedsiębiorstwa tego sektora, mając bardzo ograniczony wpływ na koszty produkcji paliw, podlegają nieustannym naciskom w kwestii cen detalicznych. Ceny paliw na rynkach detalicznych często są regulowane i ustalane przez powołane dla tych celów urzędy państwowe. Czynniki te wpływają na zmniejszenie elastyczności uczestników paliwowego łańcucha dostaw w podejmowaniu decyzji mających wpływ na zachowanie parametrów modelu sprawnego zarządzania.

Pojemności magazynowe w parkach zbiornikowych dla gotowych produktów rafinacji są określane na podstawie posiadanych przez operatorów rurociągów udziałów w rynku paliw. Ograniczone pojemności zbiornikowe uznaje się za jedno z głównych wyzwań uczestników paliwowego łańcucha dostaw, ponieważ ogranicza ono wolumen partii produktowych, jaki może zostać wprowadzony (prze-transportowany i sprzedany) przez operatora rurociągu na międzynarodowe rynki paliwowe. Pojemności magazynowe w parkach zbiornikowych paliw w każdym państwie są ograniczone i fakt ten bezpośrednio wpływa na obniżenie elastyczności operacyjnej wielu przedsiębiorstw w paliwowym łańcuchu dostaw.

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące konkluzje - przemysł paliwowy w Europie i na Bliskim Wschodzie podlega ciągłym zmianom i narażony jest na wiele wyzwań: począwszy od zmian regulacji praw-

nych, przez powiększającą się konkurencję ze strony nowych graczy na międzynarodowym rynku paliw, wzrost liczby niezależnych przedsiębiorstw (operatorów rurociągowych) aż po obniżanie zysku krańcowego. Operatorzy rurociągów w tych warunkach powinni się koncentrować na sprawnym zarządzaniu przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych, czyli zapewnić zgodną z najlepszymi praktykami działalność operacyjną w paliwowym łańcuchu dostaw. Sukces na tym polu można osiągnąć korzystając z modelu sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych. Oprócz wskaźników sprawnego zarządzania scharakteryzowanych w sposób szczegółowy w pracy, brane są pod uwagę również inne, uzupełniające elementy: koszt jednostkowy na jednostkę przesyłanego produktu paliwowego, koszt transportu na jednostkę odległości, czas i koszt przekazu informacji i komunikacji wzdłuż paliwowego łańcucha dostaw, czas realizacji dostaw paliw (*ang. gate-to-gate*) oraz liczba zażaleń klientów. Powyżej wymienione czynniki uzupełniają proces modelowania sprawnego zarządzania.

Przedmiotem przeprowadzonych badań były międzynarodowe konsorcja paliwowe i operatorzy rurociągów w Europie i na Bliskim Wschodzie, którzy muszą sprostać specyficznym, charakterystycznym dla sektora naftowo-paliwowego wyzwaniom. Wyniki przeprowadzonych badań oraz poczynionych obserwacji rynku naftowo-paliwowego wskazują zauważalny trend: operatorzy rurociągów skłonni są zwiększać efektywność paliwowego łańcucha dostaw poprzez optymalizację i poprawę sprawności zarządzania przesyłem partii produktowych. Główne wyzwania odnoszą się do pomiaru obsługi klienta, a także zwiększenia poziomu zaufania pomiędzy uczestnikami paliwowego łańcucha dostaw. Wiele przedsiębiorstw napotyka na znaczące trudności podczas dokonywania oceny konsekwencji wystąpienia awarii wpływających na bezpieczeństwo, środowisko, gospodarkę i wizerunek przedsiębiorstwa.

Rekomendacje

Na podstawie przeprowadzonych badań, wniosków i końcowych konkluzji, można zarekomendować operatorom rurociągów zastosowanie zaleceń wynikających z zaproponowanego w rozprawie modelu sprawnego zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych. Opracowany, zunifikowany model sprawnego działania umożliwia regulację procesu dostaw partii produktowych w sposób niezawodny i optymalny, przy wykorzystaniu najlepszych technologicznie dostępnych systemów informatycznych wspierających sterowanie, nadzór, komunikację i obieg informacji wzdłuż całego paliwowego łańcucha dostaw w procesie zarządzania przesyłem. Przedsiębiorstwa powinny, poprzez przyjęcie przejrzystych i ustrukturyzowanych metod, poświęcać więcej uwagi na wykorzystanie wskaźników sprawnego zarządzania przesyłem paliw. Takie podejście zapewniłoby im zachowanie właściwej strategii operacyjnej w paliwowym łańcuchu dostaw, tj. w sposób elastyczny mogliby oni dopasowywać swoje możliwości do zmieniających się zadań przesyłu partii produktowych w sektorze *downstream* paliwowego łańcucha dostaw. Pionowa integracja paliwowego łańcucha dostaw również może minimalizować ryzyko wystąpienia konfliktów, co w ostateczności przełoży się na sprawne zarządzanie przesyłem partii produktowych w rurociągach transgranicznych.

Sektor naftowo-paliwowy charakteryzuje się wieloma ograniczeniami, które utrudniają sprawne działania operacyjne w paliwowym łańcuchu dostaw, a których to czynników operatorzy rurociągów nie mogą do końca kontrolować. Operatorzy rurociągów z tego powodu powinni skoncentrować się na pomiarze i poprawie stopnia sprawności działań operacyjnych nad którymi mają kontrolę, np. zarządzania bilansem paliw. Uczestnikami procesu zarządzania przesyłem partii produktowych są konsorcja paliwowe oraz operatorzy rurociągów. Przemysł paliwowy poza tymi aktorami rynku posiada również innych uczestników pełniących istotną rolę w kształtowaniu paliwowego łańcucha dostaw paliw. Należą do nich właściciele rafinerii, infrastruktury rurociągowej, portów przeładunkowych i tankowców, kolei, autocystern, urzędy skarbowe, ministerstwa gospodarki po-

szczególnych państw oraz unijne komisje regulacji energetycznych. Wpływ działań tych instytucji wprowadziłby znaczący stopień uszczegółowienia analizy całościowej zarządzania przesyłem paliw w sektorze naftowo-paliwowym.

Pamiętać również należy o następującym fakcie, że wiele z zastosowanych w pracy mierników sprawności jest trudnych do ocenienia lub skwantyfikowania w taki sposób, aby otrzymać jednoznaczne wyniki i wykorzystać ich miarodajność jako odrębnych samodzielnych składników sprawnego zarządzania przesyłem partii produktowych w rurociągach transgranicznych. Poprawna analiza z wykorzystaniem wyżej wymienionych mierników jest oparta na uwzględnianiu wszystkich znanych czynników i często wymaga zastosowania wiedzy specjalistycznej z zakresu eksploatacji i diagnostyki rurociągów transgranicznych.

Dalsze badania mogłyby być przeprowadzane w zakresie:

- modelowania sprawnego działania w pozostałych sektorach, np. *upstream* - wydobycia i produkcji paliw płynnych;
- badania wpływu instytucji rządowych na kształt zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych.
- badania wpływu nowych projektów inwestycyjnych na rurociągową infrastrukturę przesyłową, a szczególnie na dostępne kanały tranzytowe przesyłu partii produktowych;
- badania nowych możliwości technologicznych i ekonomicznych, które mogłyby być użyte przy wdrożeniach nowoczesnych, bezpiecznych i niezawodnych systemów rurociągów transgranicznych.

W XXI wieku trudno wyobrazić sobie rozwój przemysłu naftowo-paliwowego bez wprowadzania i wykorzystywania nowoczesnych technologii. Zarządzanie przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych to wyścig technologiczny mający swoje ogromne konsekwencje makroekonomiczne. Finansowy wymiar tych zabiegów wiąże się z procesem modelowania sprawnego zarządzania przesyłem jak największego wolumenu paliw z rafinerii do odbiorców.

Sprawne zarządzanie przepływem partii produktowych to gwarancja realizacji zadań transportu przesyłowego. Pojęcie sprawności dotyczy obszarów sterowania, monitorowania oraz identyfikacji przepływu partii produktowych. Śledzenie przepływu partii produktowych, bezpieczeństwo i niezawodność dostaw (ochrona rurociągów, detekcja i lokalizacja wycieków, precyzja obliczeń) oraz analiza zdarzeń awaryjnych są kluczowymi wskaźnikami sprawności systemu zarządzania przepływem partii produktowych w rurociągach transgranicznych.

Spełnienie wymogów bezpieczeństwa przesyłu ropy naftowej stanowi o sukcesie rynkowym przedsiębiorstw naftowo-paliwowych. Modelowanie sprawnego działania, przy uwzględnieniu prawidłowości zjawisk związanych z przepływem partii w rurociągach transgranicznych i towarzyszących im informacji, staje się kluczowym narzędziem służącym do budowania konkurencyjnej pozycji przedsiębiorstw na rynku paliwowym.

Bibliografia

- Agency, I. E., 2007, *World Energy Outlook*, Technical report, International Energy Agency. Paris.
- Amolo, T. O., 2002, *Benchmarking the Order Delivery Process for Continuous Improvement: A case study of Kenya Oil Industry*. University of Nairobi, Kenya.
- Arckhipov, N., Eliseeva, O., Galkina, A., 2013, *Global and Russian Energy Outlook up to 2040*, The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences Analytical Center for the Government of the Russian Federation.
- ASE, 2013, *IX Ogólnopolska Konferencja*, in 'Zbiorniki, Rurociągi, Instalacje - Magazynowanie, transfer, dystrybucja mediów w branży paliwowej, chemicznej i energetycznej', Automatic Systems Engineering Sp. z o.o., Kraków.
- Bank, T. W., 2004a, *Policy Perspective and Analysis of the Regulatory Regime in the Restructured Russian Power Sector. A Policy Note*, working paper, World Bank. ed. 36087, Wahington DC.
- Bank, T. W., 2004b, *Structural and Design Issue in the Russian Electricity Reforms. A policy Note*, working paper, World Bank. ed. 36090, Wahington DC.
- Bank, T. W., 2004c, *Reform of the Russian Gas Sector*, working paper, World Bank. ed. 36090, Wahington DC.
- Bank, T. W., 2006, *Infrastructure in Europe and Central Asia Region. Approches To Sustainable Services*, working paper, World Bank. ed. 36090, Wahington DC.
- Bank, T. W., 2007, *Implementation Completion and Results Report on a Loan to teh Russian Federation for Electricity Sector Reform Support Project*, raport icr 0000161, World Bank. Wahington DC.
- Bendor-Samuel, P., 2003, *Turning Lead into Gold: The Demystification of Outsourcing*, Executive Excellence Publishing.
- Biedugnis, S., Smolarkiewicz, M., 2004, *Bezpieczeństwo i niezawodność funkcjonowania układów wodociągowych*, Szkoła Główna Służby Pożarniczej. Warszawa.
- Blaik, P., Matwiejczuk, R., 2008, *Logistyczny łańcuch tworzenia wartości*, Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego. Opole.

- Borysiewicz, M., Potemski, S., 2005, *Ryzyko poważnych awarii rurociągów przesyłowych substancji niebezpiecznych. Metody oceny*, CIOP.PIB.
- Burcher, P. G., Lee, G. L., Sohal, A. S., 2006, *Production and Operations Managers and Logistics Managers: A Cross-country comparison*, Journal of Manufacturing Technology Management, vol. 18, no. 5, s. 549–560.
- Cabała, P., 2007, *Wprowadzenie do prakseologii. Przegląd zasad skutecznego działania*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie. Kraków.
- Cai, J., Liu, X., Xiao, Z., Liu, J., 2008, *Improving Supply Chain Performance Management: A Systematic Approach to Analyzing Iterative KPI Accomplishment*, Decision Support Systems, vol. 46, s. 512–521.
- CERA, I., 2012, *Energy for Economic Growth*, Technical report, IHS Cambridge Energy Research Associates, Inc.(IHS CERA).
- Cerda, J., 2008, *Oil Pipeline Logistics*, Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química, Argentina. <http://cepac.cheme.cmu.edu/pasi2008/slides/cerda/library/slides/jcerda-pasi-2008-1page.pdf>.
- Chan, F. T. S., Qi, H. J., 2003a, *An innovative Performance Measurement for Supply Chain Management*, Supply Chain Management: An International Journal, vol. 8, no. 3, s. 209–223.
- Chan, F. T. S., Qi, H. J., 2003b, *Feasibility of Performance Measurement System for Supply Chain: A Process-Based Approach and Measures*, Integrated Manufacturing Systems, vol. 14, no. 3, s. 179–190.
- Chen, J. I., Paulraj, A., 2004, *Towards a Theory of Supply Chain Management: The Constructs and Measurements*, Journal of Operations Management, vol. 22, s. 119–150.
- Chim, C., 2007, *Supply Chain Management on Oil and Gas Industry*, Journal of Business and Economics Research, vol. 5, no. 6.
- Chopra, S., Meindl, P., 2004, *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Execution*, Upper Saddle River, Pearson Education. New Jersey.
- Christopher, M., Towill, D., 2001, *An Integrated Model for the Design of Agile Supply Chains*, International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, vol. 31.
- Christopher, M., 1998, *Logistics and Supply Chain Management*, Pitman, London.
- Cirtita, H., Glaser-Segura, D. A., 2012, *Measuring Downstream Supply Chain Performance*, Journal of Manufacturing Technology Management, vol. 23, no. 3, s. 299–314.
- Cooper, M. C., Douglas, M. L., Janus, D. P., 1997, *Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics*, The International Journal of Logistics Management, vol. 8, no. 1, s. 1–14.
- Cox, A., 1999, *Power, value and Supply Chain Management*, Supply Chain Management: an International Journal, vol. 4, no. 4, s. 167–175.

- Czaplicka-Kolarz, K., Siemek, J., Chmielniak, T., Dubiński, J., Maranda, A., Miksch, K., Pinińska, J., Probierz, K., Rosik-Dulewska, C., Roszkowski, J., Tajduś, A., 2009, *Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku. Załącznik 2 do projektu Polityki Energetycznej Polski do 2030 roku*, Ministerstwo Gospodarki. Warszawa.
- Czaplicka-Kolarz, K., Siemek, J., Chmielniak, T., Dubiński, J., Maranda, A., Miksch, K., Pinińska, J., Probierz, K., Rosik-Dulewska, C., Roszkowski, J., Tajduś, A., 2007, *Scenariusze rozwoju technologicznego kompleksu paliwowo-energetycznego dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju*, Główny Instytut Górnictwa. Katowice.
- Daud, B. M., Al-Otaibi, N., 2014, *Utilizing Risk Ranking to Prioritize Integrity Management Activities*, PTC Pipeline Technology Conference. Berlin.
- Dempster, M. A. H., Pedrón, N. H., Medova, E. A., E.Scott, J., 2000, *Planning Logistics Operations in the Oil Industry*, The Journal of the Operational Research Society, vol. 51, no. 11, s. 1271–1288.
- Duckworth, B., D.S.Clarson, 1997, *Risk Management*, IWSA Word congress, Blackwell Science Ltd. Madrid.
- Duzinkiewicz, K., 2009, *Automatyzacja i sterowanie w systemach środowiskowych*, Katedra Inżynierii Systemów.
- Dzikuć, M., 2012, *Ekonomiczne i ekologiczne aspekty bezpieczeństwa energetycznego Polski*, PhD thesis, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, Wrocław.
- Energy for Economic Growth*, 2012, IHS Cambridge Energy Research Associates Inc. (IHS CERA).
- ESMAP, 2003, *Cross-border oil and gas pipelines: problems and prospects*, UNDP/World Bank/ESMAP. Technical paper 035.
- Forrester, J. W., 1958, *Industrial Dynamics—A Major Breakthrough for Decision Makers*, Harvard Business Review, vol. 36, no. 4, s. 37–66.
- Forrester, J. W., 2007, *A recollection of the history and reflections for the future at the golden anniversary of the field*, System Dynamics Review, vol. 23, no. 2-3, s. 345–358.
- Giunipero, L. C., Brand, R. R., 1996, *Purchasing's Role in Supply Chain Management*, The International Journal of Logistics Management, vol. 7, no. 1, s. 29–37.
- Günther, W., 2014, *Strategic Analysis and Planning of Pipeline Assets – Methods and Tools*, PTC Pipeline Technology Conference. Berlin.
- Gołomska, E., Szymczak, M., 2004, *Logistyka międzynarodowa*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Gołomska, E., 2009, *Logistyka w Gospodarce Międzynarodowej*, Wydawnictwo C.H. Beck.
- Gołomska, E., 2010, *Kompendium wiedzy o logistyce*, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Greaver, M. F. J., 1999, *Strategic Outsourcing. A Structured Approach to Outsourcing Decisions and Initiatives*, AMACOM. New York.

- Gunasekaran, A., Patel, C., McGaughey, R. E., 2004, *A Framework for Supply Chain Performance Measurement*, International Journal of Production Economics, vol. 87, s. 333–347.
- Gunasekaran, A., Patel, C., Tirtiroglu, E., 2001, *Performance Measures and Metrics in a Supply Chain Environment*, International Journal of Operations and Production Management, vol. 21, s. 71–87.
- Handfield, R. B., Monczka, R. M., Giunipero, L. C., Petterson, P. L., 2009, *Sourcing and Supply Chain Management*, Cengage Learning Academic Resource Centre. Canada.
- Harland, C. M., 1996, *Supply Chain Management: Relationships, Chains and Networks*, British Journal of Management, vol. 7, no. S1, s. 63–80.
- Harrison, A., New, C., 2001, *The Role of Coherent Supply Chain Strategy and Performance Management in Achieving Competitive Advantage: An International Survey*, Journal of the Operations Research Society, vol. 53, s. 263–271.
- Hausman, W., 2002, 'Supply Chain Performance Metrics', <http://www.gsb.stanford.edu/scforum>. Management and Engineering Dept.
- Holmberg, S., 2002, *A Systems Perspective on Supply Chain Measurements*, International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, vol. 30, no. 10, s. 847–868.
- Hugos, M. H., 2011, *Essentials of Supply Chain Management*, Hoboken, John Wiley & Sons Inc. New Jersey.
- IMF, 2007, *The Role of Fiscal Institutions in Managing the Oils Revenue Boom*, Country report edition, International Monetary Fund. Washington DC.
- Ip, W. H., Chan, S. L., Lam, C. Y., 2011, *Modeling supply chain performance and Stability*, Industrial Management and Data systems, vol. 111, no. 8, s. 1332–1354.
- Jie, F., Parton, K., Cox, R., 2007, *Supply Chain Practice, Supply Chain Performance Indicators and Competitive Advantage of Australian Beef Enterprises: A Conceptual Framework*, Australian Agricultural and Resource Economics Society, AARES 51st Annual Conference.
- Jonsson, P., 2008, *Logistics and Supply Chain Management*, McGraw-Hill Education. United Kingdom.
- Jouko, R., 2003, *The role of oil prices and the real exchange rate in Russia's economy - a cointegration approach*, Journal of Comparative Economics, vol. 32, no. 2, s. 315–327.
- Kennedy, J., 1993, *Oil and Gas Pipeline Fundamentals*, Pennwell. Tulsa.
- Kotarbiński, T., 1972, *Abecadło praktyczności*, Wiedza Powszechna. Warszawa.
- Kotarbiński, T., 1973, *Traktat o dobrej robocie*, Ossolineum. Wrocław–Warszawa–Kraków–Gdańsk.
- Kowalski, D., 2012, *Niezawodność i bezpieczeństwo systemów*, Politechnika Lubelska. Politechnika Lubelska.



- Książczyński, K. W., Jeż, P., Gręplowska, Z., 2001, *Tablice do obliczeń hydraulicznych*, Wydaw. PK.
- Kumah, F. Y., Matovu, J. M., 2007, *Comodity price shocks and the odds on fiscal performance: A structural vector autoregression approach*, IMF Staff Papers, vol. 54, no. 91-115.
- Lambert, D. M., Cooper, M. C., Pagh, J., 1998, *Supply Chain Management Implementation Issues and Research Opportunities*, The International Journal of Logistics Management, vol. 9, no. 2, s. 1–19.
- Lapide, L., 2000, *What About Measuring Supply Chain Performance*, Montgomery Research, vol. 2, no. 15, s. 287–297. San Francisco.
- Lee, H. L., Billington, C., 1992, *Managing Supply Chain Inventory: Pitfalls and Opportunities*, Sloan Management Review, vol. 33, no. 3, s. 65–73.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., Whang, S., 1997, *The bullwhip effect in supply chains*, MIT Sloan Management Review, vol. 38, no. 3, s. 93. ABI/INFORM Global.
- Leonid, G., 2010, 'Growth and Energy: the globe and the Europe'. Presentation at the Conference in Lubljana.
- Lysons, K., Farrington, B., 2006, *Purchasing and Supply Chain Management.*, Harlow Essex England:, Pearson Education Ltd. Edinburgh Gate,.
- Masseron, J., 1990, *Petroleum Economics*, Editions Technip. Paris.
- McLellan, B., 1992, *Transporting oil and gas—the background to the economics*, Oil and Gas Finance and Accounting, vol. 7, no. 2.
- Merlevede, B., van Aarle, B., Schoors, K., 2007, *Russia from bust to boom: Oil, politics ot the truble?*, Univeriteit Gent, vol. 2007/461. Working Paper.
- Milewska, G., 2006, 'Na równi pochylej'. Przegląd techniczny.
- Monczka, R., Trent, R., Handfield, R., 1998, *Purchasing and Supply Chain Management*, South-Western College Publishing. Cincinnati.
- Myers, M. B., Griffith, D. A., Daugherty, P. J., Lusch, F., 2004, *Maximizing the Human Capital Equation in Logistics: Education, Experience and Skills*, Journal of Business Logistics, vol. 25, no. 1, s. 211–32.
- Neely, A., Gregory, M., Platts, K., 1995, *Performance Measurement System Design: A Literature Review and Research Agenda*, International Journal of Operations and Production Management, vol. 15, no. 4, s. 80–116.
- Neunert, B., 2014, *Using the Linear Risk Integral (LRI) approach in pipeline QRA for a better application of risk mitigation measures*, PTC Pipeline Technology Conference. Berlin.
- Omonbude, E., 2007, *The transit oil and gas pipeline and the role of bargaining: a non-technical discussion*, Energy Policy, vol. 35, no. 12, s. 6188–6194.

- PCK, 2014, 'Rafineria PCK w Szwedzi', <http://www.pck.de/pl/unternehmen/unternehmen-gf.html>.
- Przemysł i handel naftowy w roku 2013, 2014, Polska Organizacja Przemysłu i Handlu Naftowego.
- PSI, 2013, *Materiały szkoleniowe*, Produkty i Systemy Informatyczne. Berlin.
- Rogała, I., 2013, *Audyty bezpieczeństwa funkcjonalnego i procesowego w dużych zakładach przemysłu chemicznego*, Biuletyn Techniczny 1/2013, vol. 1.
- Ross, D. F., 1998, *Competing Through Supply Chain Management*, Chapman & Hall. New York.
- Rudiger, W. T., 2005, *Unnatural monopoly: The endless wait for gas sector reform in Russia*, Europe Asia Studies, vol. 57, no. 6, s. 801–821.
- Rudiger, W. T., 2006, *Realising the oil supply potential of the CIS: The impact of institutions and policies*, Economics Department Working Paper, no. 486. OECD, Paris.
- Rudiger, W. T., 2007, *Caspian oil in a global context*, Transition Studies Review, vol. 14, no. 1.
- Saad, M., Patel, B., 2006, *An Investigation of Supply Chain Performance Measurement in the Indian Automotive Sector*, Benchmarking: An International Journal, vol. 13, no. 1, s. 36–53.
- Sławińska, M., Szymczak, M., 2010, *Kompendium wiedzy o logistyce*, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Schary, P. B., Tage, L., 2002, *Zarządzanie globalnym łańcuchem podaży*, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Schorr, J. E., 2001, *Purchasing in the 21st Century*, Wiley. New York.
- Sharkey, W. (red.), 1982, *The Theory of Natural Monopoly*, Cambridge University Press. Cambridge.
- Skowronek, C., Sarjusz-Wolski, Z., 2008, *Logistyka w przedsiębiorstwie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne. Warszawa.
- Soligo, R., Jaffe, A., 1998, *The economics of pipeline routes: the conundrum of oil exports from the Caspian basin*, Baker Institute for Public Policy. Working Paper.
- Stabryła, A., 2006, *Zarządzanie projektami ekonomicznymi i organizacyjnymi*, Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
- Steers, R. M., 1977, *Antecedents and outcomes of organizational commitment.*, vol. 22, Administrative Science Quarterly.
- Stevens, G. C., 1989, *Integrating the Supply Chains*, International Journal of Physical Distribution and Materials Management, vol. 8, no. 8, s. 3–8.

- Stevens, P., 2009, *Transit Troubles: Pipelines as a Source of Conflict*, Chatham House. London.
- Stevens, P.(red.), 1996, *A history of transit pipelines in the Middle East: lessons for the future.*, University of Dundee, CEPMLP Seminar Paper SP23.
- Stevenson, W. J., 2002, *Operations Management*, McGraw-Hill/Irwin Companies Inc. New York.
- Stupnicka, T., 2000, Ocena ryzyka i zagrożeń w złożonych systemach człowiek – obiekt techniczny – środowisko, PhD thesis, Politechnika Krakowska, Kraków. Monografia 270.
- Su, C., 1999, *Dynamic Vehicle Control and Scheduling of Multi Depot Physical distribution System*, A research Paper, Integrated Manufacturing Systems, vol. 10, no. 1, s. 56–65.
- Szymczak, M., 2004, *Logistyka w procesie internacjonalizacji przedsiębiorstw*, Akademia Ekonomiczna w Poznaniu. Praca Habilitacyjna.
- Szymczak, M., 2004a, *Łańcuchy dostaw i sieci logistyczne w biznesie międzynarodowym*, Gospodarka Materialowa i Logistyka.
- Szymczak, M., 2004b, *Partnerstwo logistyczne w układach kooperacyjnych*, Gospodarka Materialowa i Logistyka.
- Szymczak, M., 2013, *Information Management in the Supply Chain*, Managing Towards Supply Chain Maturity: Business Process Outsourcing and Offshoring.
- Urbanowska-Sojkin, E., Banaszyk, P., Witczak, H., 2007, *Zarządzanie strategiczne przedsiębiorstwem*, PWE. Warszawa.
- , Urząd Regulacji Energetyki, www.ure.gov.pl. 2012.
- Ustinova, N., Kuboniwa, M., Tabata, S., 2005, *How large is the oil and gas sector of russian euroasian*, Geography and Economics, vol. 46, s. 68–76.
- Vincent-Genod, J., 1984, *Fundamentals of Pipeline Engineering*, Gulf Publishing. Houston.
- Vinogradov, S., 2001, *Cross-border oil & gas pipelines: international and regulatory regimes*, CEPMLP University of Dundee.
- Zieleniewski, J., 1967, *Organizacja zespołów ludzkich*, 3 edn, Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.

Załączniki

Załącznik 2 - Świadectwo jakości partii produktowej

		Polski Koncern Naftowy ORLEN S.A. 09-411 Plock, ul. Chemików 7	Terminal Paliw w Ostrowie Wlkp. 63-400 Ostrow Wlkp., ul. Węglowa 1	
SWIADECTWO JAKOŚCI nr		miejsce, data		
Nazwa wyrobu: BENZYNA BEZOŁOWIOWA 95A Kwalifikowany na podstawie: PN-EN 228:2009 i RMG ws. wymagań jakości Jednostka badawcza: Orlen Laboratorium Sp. z o.o. Jednostka kwalifikująca: Nr kontroly: Nr zbiornika: Data i godz. pobrania próbek: Data dostarczenia próbki: Data wykonania badań:				
WYNIKI BADAŃ				
Lp.	Oznaczenie wielkości	Jednostki	Wartość oznaczona	Wymagania wg normy
1	Gęstość w temp. 15 °C	kg/m ³	Zgodnie z normą	min. 720 - max. 775
2	Liczba oktanowa badawcza RON	-	96.8	min. 95.0
3	Liczba oktanowa motorowa MON	-	85.2	min. 85.0
4	Do temp. 70 °C odparowuje E70	%(V/V)	37.9	min. 20 - max. 48
5	Do temp. 100 °C odparowuje E100	%(V/V)	57.1	min. 46 - max. 71
6	Do temp. 150 °C odparowuje E150	%(V/V)	84.3	min. 75
7	Temp. końca destylacji FBP	°C	203	max. 210
8	pozostałość %(V/V)		1.0	max. 2
9	Prężność par, VP (metoda DVPE) w temp. 38 °C	kPa	57.6	min. 45.0 - max. 60.0
10	Indeks lotności, VLI	-	841	
11	Zawartość ołowiu	mg/l	< 3	max. 5
12	Zawartość żywic obecnych	mg/100ml	1	max. 5
13	Okres indukcyjny	min.	> 360	min. 360
14	Zaw. siarki	mg/kg	7	max. 10
15	Zaw. benzenu	%(V/V)	0.6	max. 1.0
16	działanie korodujące na miedź (3h) w temp. 50 °C	klasa	1	klasa 1
17	Wygląd	--	jasny przezroczysty	wynik
18	Zawartość metanolu	%(V/V)	< 0.2	max. 3
19	Zawartość etanolu	%(V/V)	4.6	max. 5
20	Zaw. alk. izopropylowego	%(V/V)	< 0.2	max. 10
21	Zaw. alk. izobutyloвого	%(V/V)	< 0.2	max. 10
22	Zaw. alk. tert-butyloвого	%(V/V)	< 0.2	max. 7
23	Zaw. eterów (z 5 lub więcej atomami węgla)	%(V/V)	4.5	max. 15
24	Zaw. innych związków tlenowych	%(V/V)	< 0.2	max. 10
25	Zaw. węglowodorów typu olefiny	%(V/V)	13.3	max. 18
26	Zaw. węglowodorów typu aromaty	%(V/V)	27.5	max. 35.0
27	Zawartość tlenu	%(m/m)	2.4	max. 2.7
28	Zaw. alkoholu przelicz. z tytułu dodanego EETB	%(V/V)	2.12	
Orzeczenie KJ BENZYNA BEZOŁOWIOWA 95A odpowiada PN-EN 228:2009 i jest zgodny z RMG ws. wymagań jakościowych dla paliw ciekłych. * prężność par zgodnie z obowiązującym RMG poz. 2,11;12,13,15,16;18,20,21;22,24,25,26; spisane ze św. nr. 13KOB/A/1548, zb. 15A,				
Wydrukowany przez system SAMER 22 mar 2013 08:16				Strona 1 z 2

Rysunek 2: Świadectwo jakości partii produktowej w systemach rurociągowych.
 Źródło: PKN Orlen S.A.

Spis symboli i skrótów

Skrót	Opis
a	prędkość propagacji fali ciśnieniowej w rurociągu
A	obszar sekcji rurociągowej
α	współczynnik wydatkujący
AGO	<i>ang. Automotive Gas Oil</i> silnikowy olej napędowy
ANSI	<i>ang. American National Standards Institute</i> amerykańska organizacja standaryzująca
API	<i>ang. American Petroleum Institute</i> Amerykański Instytut Naftowy
ASME	<i>ang. The American Society of Mechanical Engineers</i> amerykańska organizacja inżynierów mechaników
ASTM	<i>ang. American Society for Testing and Materials</i> standardy, normy i wymogi techniczne opracowane przez Amerykańskie Stowarzyszenie ds. Badań i Materiałów
BP	<i>ang. British Petroleum</i> brytyjski koncern naftowy
BS	benzyna silnikowa
BSP	benzyny silnikowe premium
BSR	benzyny silnikowe regularne
CCA	<i>ang. American National Standards Institute</i> instytucja ustalająca normy techniczne obowiązujące w USA
CIS	<i>ang. Commonwealth of Independent States</i> Wspólnota Niepodległych Państw
CoF	<i>ang. Probability of Failure</i> prawdopodobieństwo awarii
COO	ciężki olej opałowy
CPM	<i>ang. Computational Pipeline Monitoring</i> komputerowy monitoring rurociągów
d	średnica rurociągu
DCS	<i>ang. Distributed Control System</i> Rozproszony System Sterowania

Skrót	Opis
DIN	<i>niem. Deutsches Institut für Normung</i> Niemiecki Instytut Normalizacyjny
DNV	Międzynarodowa Organizacja
E_L	współczynnika sprężystości objętościowej płynu
E_p	współczynnika elastyczności materiałowej rury
EE	<i>ang. Essential Elements</i> niezbędne elementy oceny ryzyka
ERF	<i>ang. Estimated Repair Factor</i> parametr szacowanych napraw
ERP	<i>ang. Enterprise Resource Planning</i> Planowania Zasobów Przedsiębiorstwa
ETA	<i>ang. American National Standards Institute</i> analizę drzewa zdarzeń
f	współczynnik tarcia Darcy- Weisenbacha
FBE	<i>ang. Fusion-Bonded Epoxy</i> powłoki epoksydowe
FMEA	<i>ang. Failure Mode and Effect Analysis</i> analizę rodzajów i skutków uszkodzeń
FTA	<i>ang. American National Standards Institute</i> analizę drzewa błędu
GIS	<i>ang. Geographic Information System</i> System Informacji Geograficznej
GOST	<i>ros. Gousudarstviennyj Standard - Standard Państwowy</i> standardy, normy i wymogi techniczne opracowane przez Federację Rosyjską
GPS	<i>ang. Global Positioning System</i> System Nawigacji Satelitarnej
HAZOP	<i>ang. hazard and operability</i> studium zagrożeń i zdolności operacyjnych
HCA	<i>ang. High Consequence Area</i> zasięg oddziaływania krytycznego
IAE	<i>ang. International Energy Agency</i> Międzynarodowa Agencja Energii
IAP	<i>ang. Integrity Assessment Program</i> Program oceny integralności systemu
ILI	<i>ang. in-line inspection</i> inspekcja wewnątrz rurociągu
IMP	<i>ang. Integrity Management Planning</i> Planowanie zarządzania integralnością rurociągu
ISO	<i>ang. International Organization for Standardization</i> Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna
IT	<i>ang. Information Technology</i> technologia informacyjna
JET	paliwo lotnicze
K	współczynnik ściśliwości produktu

Skrót	Opis
LNG	<i>ang. liquified natural gas</i> skroplony gaz ziemny
LOO	lekki olej opałowy
LOPA	<i>ang. American National Standards Institute</i> analizę warstw zabezpieczeń
LPG	<i>ang. Liquefied Petroleum Gas</i> skroplony gaz ziemny
m_{inv}	upakowanie linii
\dot{m}	natężenie przepływu masowego produktu
MAE	Międzynarodowa Agencja Energetyczna
MDM	<i>ang. Master Data Management System</i> systemy synchronizacji czasu i danych
MES	<i>ang. Manufacturing Execution System</i> System Realizacji Produkcji
MES	metoda Elementów Skończonych
MID	<i>ang. Measuring Instruments Directive</i> dyrektywy dot. przyrządów pomiarowych opracowane przez Główny Urząd Miar
MOAP	<i>ang. Maximum Allowable Operational Pressure</i> maksymalne dopuszczalne ciśnienie operacyjne
MPMS	<i>ang. Manual of Petroleum Measurement Standards</i> standardy pomiarów rozliczeniowych ropy naftowej
n	liczba wszystkich dopływów do i odpływów z danego węzła
NGL	ciekle frakcje gazu ziemnego
OECD	<i>ang. Organisation for Economic Co-operation and Development</i> Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju
ON	olej napędowy
ONE	Ocena niezawodności eksploatacji
OPEC	<i>ang. Organization of the Petroleum Exporting Countries</i> Organizacja Krajów Eksportujących Ropę Naftową
p	ciśnienie
P	wolumen partii produktowej (batch)
PCS	<i>ang. Pipeline Compliance System</i> system zgodności rurociągu z obowiązującymi normami
PDZISR	Program Działań dla Zachowania Integralności Systemu Rurociągu
PERN	Przedsiębiorstwo Eksploatacji Rurociągów Naftowych „Przyjaźń” S.A.
PIE	<i>ang. Pipeline Integrity Evaluation</i> Ocena Integralności rurociągów
PKN	Polski Koncern Naftowy
PLC	<i>ang. Programmable Logic Controller</i> Programowalny Sterownik Logiczny
PoF	<i>ang. Consequence of Failure</i> konsekwencje awarii
PrHA	<i>ang. American National Standards Institute</i> wstępną analizą zagrożeń

Skrót	Opis
PZZR	Programu Zintegrowanego Zarządzania Rurociągiem
Q	natężenie przepływu wolumetrycznego produktu
Q_w	wydatek partii produktowych na całej długości odcinka
QRAs	<i>ang. Quantitative Risk Assessments</i> oceny jakościowe ryzyka
R_{eg}	szacowane skutki zanieczyszczenia gruntów
R_{ew}	szacowane skutki zanieczyszczenia wód
R_k	szacowana średnia suma kar za zanieczyszczenie środowiska
R_{sg}	szacowany średni obszar zanieczyszczenia gruntów
R_{sw}	szacowany średni obszar zanieczyszczenia wód
R_v	szacowany średni wolumen (lub koszt) strat transportowanego medium
ρ	gęstość produktu
ROW	<i>ang. Right Of Way</i> prawo drogi
RTU	<i>ang. Remote Terminal Unit</i> zdalne jednostki sterujące
s	grubość ścianki rury
SAP	<i>niem. Systemanalyse und Programmentwicklung</i> aplikacje dla przedsiębiorstw i organizacji
SCADA	<i>ang. Supervisory Control And Data Acquisition</i> system nadzorujący przebieg procesu technologicznego lub produkcyjnego
SCC	<i>ang. Stress Corrosion Cracking</i> parametr korozji naprężeniowej
SCM	<i>ang. Supply-Chain Management</i> zarządzanie łańcuchem dostaw
SIF	<i>ang. Safety Instrumented Functions</i> funkcje systemów bezpieczeństwa
SIS	<i>ang. Safety Instrumented Systems</i> systemy i instrumenty bezpieczeństwa
SR	<i>ang. American National Standards Institute</i> przeeglądy bezpieczeństwa
SRS	<i>ang. Safety Requirements Specification</i> specyfikacja wymogów bezpieczeństwa
T	temperatura produktu
TAL	<i>ang. Transalpine Pipeline</i> rurociąg transgraniczny Włochy-Szwajcaria-Czechy-Niemcy
TRFL	<i>niem. Technische Regel für Rohrfernleitungsanlagen</i> niemieckie regulacje techniczne dotyczące systemów rurociągów
TRbF	<i>niem. Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten</i> niemieckie regulacje techniczne dotyczące cieczy niebezpiecznych
TÜV	<i>niem. Technischer Überwachungs-Verein</i> niemiecki Urząd Dozoru Technicznego
UE	Unia Europejska
v	prędkość przepływu produktu
WNP	Wspólnota Niepodległych Państw

Skrót	Opis
x	długość rurociągu
ZSRR	Związek Socjalistycznych Republik Radzieckich

Spis rysunków

1.1	Główne elementy pojęciowe zarządzania łańcuchem dostaw.	24
1.2	Wpływ otoczenia na międzynarodowy łańcuch dostaw.	25
1.3	Główne ogniwa zintegrowanego łańcucha dostaw sektora naftowo-paliwowego.	25
1.4	Integracja łańcucha dostaw.	30
1.5	Typowa sekwencja partii produktowych w rurociągu.	44
1.6	Mieszanie się partii produktowych. Rodzaje separatorów.	45
1.7	Obszary zastosowań systemów zarządzania rurociągiem.	50
1.8	Prognoza dynamiki podaży paliw płynnych na świecie.	62
1.9	Zestawienie wielkości produkcji produktów rafineryjnych.	63
1.10	Przetwarzanie ropy naftowej wg. regionów.	63
1.11	Technologie poprawy transportu ropy naftowej i paliw.	65
1.12	Emisja CO_2 na świecie wg. krajów.	66
2.1	Dostawy podstawowe i uzupełniające na przykładzie ropociągu PERN.	72
2.2	Schemat pierścieniowej sieci rurociągowej.	85
2.3	Schemat promienistej sieci rurociągowej.	85
2.4	Schemat mieszanej sieci rurociągowej.	86
2.5	Schemat systemu rurociągowego.	87
2.6	Rozkład średnicy rur w ropociągach i rurociągach produktowych w Europie Zachodniej w 2012 r. według typu przesyłanego medium (ropa naftowa, produkty naftowe).	99
2.7	Czas eksploatacji rurociągów w Europie Zachodniej w latach 1971-2012.	100
2.8	Powierzchnia obszaru zagrożenia i rozmiar wycieków w rurociągach Europy Zachodniej w latach 1971-2008.	101
2.9	Liczba awarii wg. kategorii w Europie Zachodniej w latach 1971-2012 r.	103
2.10	Liczba awarii wg. przyczyn kategorii zagrożeń.	104
2.11	Liczba awarii wg. przyczyn kategorii zagrożeń.	105
2.12	Liczba awarii w wyniku oddziaływania stron trzecich.	106

2.13	Liczba zdarzeń awaryjnych według lokalizacji elementów konstrukcyjnych i armatury rurociągów w Europie Zachodniej w latach 1995-2012.	107
2.14	Kontrola parametrów pracy systemu rurociągowego w systemie SCADA.	110
2.15	Kontrola i monitoring zawartości rurociągu. Źródło: [PSI 2013].	113
3.1	Funkcjonalność symulacji hydraulicznych rurociągowego przepływu węglowodorów.	118
3.2	Schemat segmentu rurociągu wykorzystujący technikę elementów skończonych.	119
3.3	Wiek rurociągów i parametry chropowatości.	122
3.4	Efekt wymiany ciepła z otoczeniem i efekt tarcia podczas rurociągowego transportu paliw płynnych.	129
3.5	Monitorowanie statusu partii produktowych: P1-P2-P3-P4.	130
3.6	Analiza ryzyka projektu rurociągowego.	134
3.7	Przepływ danych w cyklu zarządzania integralnością rurociągów.	137
4.1	Schemat oceny ryzyka w projektach rurociągowych	149
4.2	Konstruowanie macierzy oceny ryzyka.	155
4.3	Schemat konstrukcji raportu analizy i oceny ryzyka.	157
4.4	Macierz oceny ryzyka.	163
4.5	Konstruowanie scenariuszy ratunkowych.	166
4.6	Przykład wyznaczanie prawdopodobieństwa wystąpienia scenariuszy ratunkowych.	167
1	Proces rafinacji na przykładzie rafinerii w Schwedt	188
2	Świadectwo jakości partii produktowej w systemach rurociągowych. Źródło: PKN Orlen S.A.	189

Spis tabel

1.1	Analiza gospodarowania ropą naftową.	20
1.1	Analiza gospodarowania ropą naftową.	21
1.1	Analiza gospodarowania ropą naftową.	22
1.2	Transgraniczne rurociągi naftowe i gazowe.	34
1.3	Lista czynników wpływających na postęp technologiczny transportu i dystrybucji partii produktowych.	53
1.3	Lista czynników wpływających na postęp technologiczny transportu i dystrybucji partii produktowych.	54
1.3	Lista czynników wpływających na postęp technologiczny transportu i dystrybucji partii produktowych.	55
1.4	Sektor B&R w sektorze naftowo-paliwowym.	58
2.1	Miary sprawności w sektorze <i>downstream</i> paliwowego łańcucha dostaw.	77