

Zarządzanie ryzykiem w projektach wiertniczych



CZĘŚĆ I: WPROWADZENIE. IDENTYFIKACJA
I KATEGORYZACJA ZAGROZEŃ

Fot. Robert Osikowicz Engineering



Robert Osikowicz

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Ponadto w kręgu zainteresowań autora znajdują się: analizy wykonalności, ryzyka, jakości i kosztów dla projektów bezwykopowych. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem branżowej organizacji wiertniczej DCA-Europe.

Przedsięwzięcia wiertnicze uważane są za powtarzalne. Cechuje je wewnętrzna logika oraz skatalogowane i dobrze udokumentowane metody działania. Tym niemniej pojedyncze projekty można traktować jako zdarzenia unikatowe w tym sensie, że ich założenia mogą być determinowane przez lokalizację, otoczenie geologiczne, geometrię otworu czy też przeznaczenie instalacji. Budowa podziemnej infrastruktury, zarówno metodami konwencjonalnymi, jak i bezwykopowymi, obciążona jest zawsze mniejszym lub większym poziomem niepewności. Nawet w przypadku działań uznawanych za bezpieczne, gdzie ryzyko jest niskie, jego poziom nigdy nie spada do zera. Istnieje potrzeba uporządkowania pojęć, narzędzi i technik radzenia sobie z ryzykiem w branży wierceń kierunkowych HDD oraz w technikach pokrewnych. Zdaniem autora wiedza z zakresu analizy ryzyka jest niezbędna, a firmy powinny poświęcać temu zagadnieniu coraz więcej uwagi. Zarządzanie tym obszarem jest obecnie integralną częścią praktycznie wszystkich znanych metodyk zarządzania projektami

Pojęcia podstawowe

Firmy wiertnicze zarabiają dzięki realizacji projektów, są więc zorientowane na ich wyszukiwanie, pozyskiwanie (kontraktowanie) i ich skuteczną realizację. Projekt pozwala na osiągnięcie celów technicznych i biznesowych. Umożliwia zdobycie (poszerzenie) referencji, potwierdzenie pozycji na rynku usług i jest okazją dla wdrażania procesów optymalizacyjnych. Jest również próbą wykorzystania pewnej możliwości, z każdą okazją jednak związane jest ryzyko. W praktyce wiertniczej samo pojęcie ryzyka nie ma jednoznacznej definicji. Może być traktowane jako zagrożenie w aspekcie negatywnym lub jako szansa w kontekście pozytywnym. W analizie projektów określamy je też jako zdarzenie niepewne, które może wpływać na przedsięwzięcie wiertnicze. Jest to zarazem zdarzenie zidentyfikowane, którego prawdopodobieństwo wystąpienia można statystycznie określić.

Wyróżniamy trzy pojęcia powiązane z ryzykiem: przyczyna, zdarzenie oraz skutek (konsekwencja). *Przyczyna* jest utożsamiana z czynnikiem inicjującym (uruchamiającym), który wpływa pośrednio lub bezpośrednio na realizację projektu. Jeżeli czynnik taki się zmaterializuje, jego efektem będzie *zdarzenie*. Ma ono bezpośredni związek z przebie-

giem (procesem, działaniem, produktem) projektu lub jego celami. Efektem zdarzenia będzie *skutek*. Może mieć on swoje konsekwencje w ponoszonych kosztach, harmonogramie (czasie trwania) projektu, zakresie jego realizacji oraz jakości. Prawdopodobnie przygotowana analiza ryzyka dla projektów wiertniczych powinna ujawnić obszary, w których ryzyko może się zmaterializować, wytypować możliwe zdarzenia, ich skutki, określić ich prawdopodobieństwo zajścia oraz oszacować możliwą dotkliwość dla projektu. Takie usystematyzowane podejście do problemu ułatwia podejmowanie decyzji będących w istocie reakcją na zidentyfikowane i uświadomione ryzyko. Zaplanowane działania mogą mieć charakter prewencyjny i odnosić się do przyczyn lub też mieć charakter naprawczy i dotyczyć skutków.

Metody zarządzania ryzykiem

Istnieje kilka znanych modeli zarządzania ryzykiem w projektach związanych z budową rurociągów. Większość z nich zakłada wprowadzenie procedur składających się z kilku kroków (etapów). Dla każdego istotnego projektu rekomenduje się, aby wytypować narzędzia i techniki, jakie zastosujemy w procesie

zarządzania. Pierwszy etap można nazwać *planowaniem działań*.

Etap drugi to na ogół *identyfikacja ryzyka*. Jego przedmiotem jest wskazanie najważniejszych potencjalnych zagrożeń i szans, które powinny zostać umieszczone w rejestrze ryzyka. Rejestr to tabelaryczne zestawienie potencjalnych zdarzeń oraz wszelkich stowarzyszonych z nimi informacji. Jest uzupełniany o dane pozyskiwane w kolejnych etapach procesu zarządzania ryzykiem, takie jak m.in.: skutek, prawdopodobieństwo, zakres wpływu na projekt, zaplanowana reakcja. Identyfikacja ryzyka powinna mieć swoje miejsce w fazie koncepcyjnej (przygotowawczej), w której zapada decyzja o przyjęciu projektu do realizacji lub jego zaniechaniu. Identyfikacja ryzyka dotyczy sfery organizacyjnej, technicznej, prawnej i ekonomiczno-finansowej.

Etap trzeci polega na *ocenie* ryzyka. Oceniane są: prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia, jego dotkliwość oraz czas (bliskość). Elementem takiej strategii mogą być zarówno analizy jakościowe, jak i ilościowe. Ich celem jest dokonanie hierarchizacji ryzyka, czyli wyodrębnienie tych zagrożeń, na których szczególnie warto się skupić. Czynnności polegają na nadaniu odpowiedniego priorytetu ryzykom i opisaniu za pomocą wskaźników stopnia ich ważności.

Etap czwarty to *zaplanowanie reakcji* na każde zidentyfikowane (i wyselekcjonowane jako istotne) ryzyko. Wyróżnia się odrębne działania w odpowiedzi na zagrożenia (unikanie, redukcja, przeniesienie, współdzielenie, akceptacja) i szanse (wykorzystanie, wzmocnienie, odzucenie). Możemy zaplanować i poddać ocenie więcej niż jedną reakcję w odniesieniu do konkretnego ryzyka. Efektem takiej oceny będzie wybór preferowanej reakcji w odniesieniu do danej pozycji z rejestru.

W praktyce wiertniczej samo pojęcie ryzyka nie ma jednoznacznej definicji. Może być traktowane jako zagrożenie w aspekcie negatywnym lub jako szansa w kontekście pozytywnym

Zarekomendowana procedura zaradcza będzie *wdrażana* w pierwszej kolejności jako piąty etap procesu zarządzania ryzykiem projektu. Procedura ta będzie musiała być na bieżąco monitorowana, a jej skuteczność poddawana ocenie.

Etap szósty określany jest jako *sprawozdawczość i komunikacja*, czyli informowanie zainteresowanych stron o aktualnym stanie procesu zarządzania poszczególnymi typami ryzyka. Komunikacja odnosi się do wszystkich pięciu poprzednich etapów zarządzania ryzykiem.

Źródła ryzyka

Istnieje kilka udowodnionych i dobrze opisanych w literaturze źródeł. Po pierwsze, istnieją źródła zewnętrzne, na które wykonawca może nie mieć wpływu lub jest on ograniczony. Zalicza się do nich otoczenie geologiczne, klimat, politykę, prawo oraz instytucje. Po drugie, istnieją czynniki wewnętrzne, zależne od właściwości planowania i realizacji procesu wiertniczego, na które projektant i wykonawca mają na ogół większy wpływ. Inny podział źródeł ryzyka będzie przebiegał pomiędzy

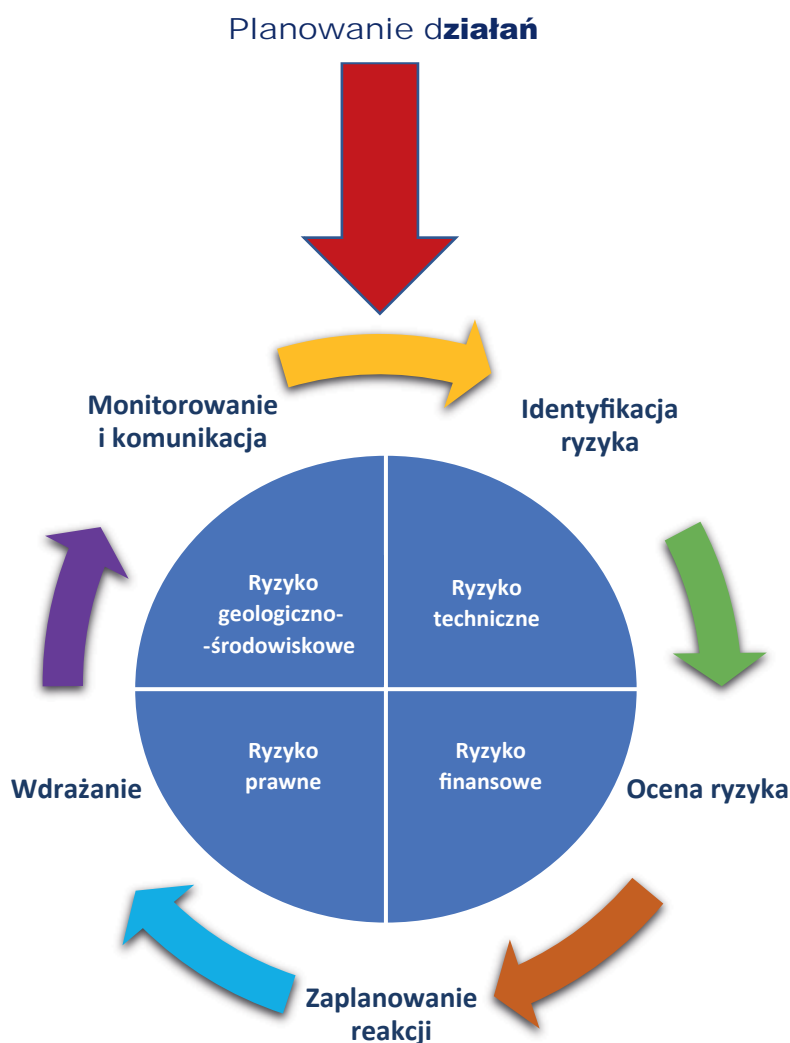
narzuconymi z zewnątrz uwarunkowaniami realizacyjnymi (technologiczne, terminowe, kosztowe), a inny między tymi wprowadzonymi przez samego wykonawcę prac. Te ostatnie wynikać mogą z braku wymaganej wiedzy, kompetencji czy też zaniedbań (zaniechań) w działaniu.

Identyfikacja ryzyka

Na etapie analizy wykonalności analizujemy projekt w celu wyselekcjonowania potencjalnych zagrożeń i szans. Ocenie poddawany jest stopień złożoności (oryginalności) zadania, wstępnie selekcjonowana jest lista niezbędnych urządzeń, osprzętu, procedur wiertniczych, powstaje zestawienie materiałów, lista personelu własnego, lista partnerów technicznych, dostawców i kooperantów. Prowadzi to do oceny czasu trwania projektu (har-

monogram) i do ustalenia prawdopodobnych kosztów. W bardziej zaawansowanych projektach działania dzieli się na etapy (fazy robót), przydzielając im niezbędne do zrealizowania zasoby materiałowe i finansowe. Analizowane są zwłaszcza dane historyczne, pozyskane w trakcie podobnych projektów przez firmę lub firmy jej podobne.

W praktyce spotyka się szereg narzędzi służących do skutecznej identyfikacji ryzyka wiertniczego. Należą do nich listy kontrolne (*check lists*), statystyczne analizy porównawcze, burze mózgów, analizy standardów technicznych, studia realnych projektów, indywidualne zgłoszenia wynikające z opinii osób zaangażowanych w projekt, audyty procedur wiertniczych, opinie ekspertów branżowych. Wartościowe wydają się zwłaszcza niezależne opinie kilku ekspertów, których źródłem może być sama firma wiertnicza, ale też firmy



RYS. 1. Schemat wskazujący na etapy w zarządzaniu ryzykiem projektu wiertniczego

serwisowe czy ośrodki naukowo-badawcze. Każdy z zaangażowanych ekspertów proszony jest o wskazanie listy możliwych zdarzeń i ich potencjalnych konsekwencji. Wytypowane przez ekspertów zdarzenia powinny być przedmiotem wnikliwej oceny. Należy zidentyfikowane ryzyko nazwać, określić jego symptomy, opisać na czym będzie ono polegało, ocenić zasięg oddziaływania na kluczowe elementy projektu, a także spróbować przewidzieć zależność od innych zagrożeń i szans. Jeśli potencjalne zagrożenie nie może zostać wyeliminowane lub ograniczone, zawsze należy zapytać o gotowość do jego akceptacji. Przy okazji należy rozważyć czy technika alternatywna nie radzi sobie lepiej z tym ryzykiem.

Kategorie ryzyka w projektach wiertniczych

Obszary ryzyka zależą od tego, co jest zasadniczym celem projektu. Najczęściej będzie nim bezpieczna instalacja rurociągu (lub wiązki rurociągów/kabli) w otworze wiertniczym. Produktem dostarczoną przez spółkę wiertniczą będzie przy tym nie tylko wykonany, dobrej jakości otwór, ale przede wszystkim umieszczony w nim rurociąg. Celem projektu będzie ulokowanie instalacji zgodnie z zało-

żeniami projektowymi (trajektoria) w stanie nienaruszonym (niepogorszonym). Zainstalowany rurociąg nie może zostać zdeformowany, a izolacja, o ile istnieje, nie może ulec uszkodzeniu. Celem projektu jest więc dostarczenie klientowi produktu o możliwie najwyższej jakości, a produkt ten musi być w pełni zaakceptowany przez klienta. Z drugiej strony celem dla spółki wiertniczej będzie osiągnięcie zysku, zdobycie doświadczenia, wzmocnienie pozycji na rynku. Cele te na ogół nie są ze sobą sprzeczne.

Najbardziej oczywistą kategorią ryzyka będzie ryzyko geologiczne wynikające z warunków podłoża, w których prowadzone są roboty wiertnicze. Błędy w ocenie ryzyka geologicznego są na ogół konsekwencją optymistycznych założeń co do parametrów geotechniczno-geologicznych zarówno formacji, przez którą prowadzona jest trasa wiercenia, jak i jakości warstw nadległych. Jeśli ważny parametr geotechniczny wykazuje małą zmienność przestrzenną, wówczas budowę geologiczną można określić ze stosunkowo wysoką dokładnością poprzez wywiercenie kilku otworów badawczych. W sytuacji dużych zmienności nawet gęsta sieć otworów nie pozwoli na dokładne rozpoznanie. Należy wówczas zaimplementować alternatywne techniki, w tym pomiary geofizyczne dla uzyskania prawdziwego

obrazu dla obszarów położonych pomiędzy otworami badawczymi.

Jako stowarzyszone z ryzykiem geologicznym można uznać ryzyko związane z interakcją zachodzącą pomiędzy procesem wiertniczym a środowiskiem naturalnym. Przedmiotem analizy będzie możliwy wpływ procesu na teren położony w bezpośredniej bliskości linii wiercenia, na wodę w rzece, wodę gruntową, powietrze, gatunki roślin i zwierząt pozostających pod ochroną. Badane jest też negatywne oddziaływanie na projekt potencjalnych anomalnych zjawisk pogodowych, w tym niskich temperatur, ulewnych deszczy czy powodzi.

Z kolei najobszerniejszą analizowaną kategorią jest ryzyko techniczne. Ta kategoria ryzyka ma związek z założeniami technologicznymi, zaangażowanym sprzętem i osprzętem wiertniczym oraz kwalifikacjami personelu. Pochodną po zastosowanych procedurach, technologii i metodzie działania będzie harmonogram prac. Jego niedotrzymanie będzie implikować dodatkowe koszty i obniżyć rentowność projektu. Bezpośredni wpływ na harmonogram ma brak wystarczających zasobów materialnych, organizacyjnych i ludzkich. Pośredni wpływ mają natomiast nieznanne lub nieuzgodnione normy i standardy postępowania. Uchybienia w logistyce, brak zapewnienia

Kategoria	Przykładowe obszary ryzyka	Przykładowe typy zagrożeń/szans
Ryzyko geologiczne i środowiskowe	podłoże geologiczne	brak rozpoznania geologicznego brak zrozumienia dla rozpoznanych warunków geologicznych wadliwy (niepełny) raport geologiczny zmiennie warunki geologiczne występowanie gruntów nienośnych rozległe sekcje żwirowe kolizje z kamieniami aktywne formacje ilaste niska jakość masywu skalnego naturalne szczeliny i pustki trudno zwiercalne skały
	woda	migracja płuczki do dna przeszkody wodnej uszkodzenie budowli hydrotechnicznych obniżenie poziomu wód gruntowych migracja wody gruntowej do otworu
	gleba	wyciek olejów
	teren nadległy nad linią wiercenia	wynoszenie gruntu osiadanie gruntu migracja płuczki na powierzchnię
	powietrze	emisja hałasu emisja CO ₂ emisja pyłu
	teren chroniony	ograniczenie dostępu okresy ochronne
	pogoda	niska temperatura ulewne deszcze/powódź

TAB. 1. Kategorie i obszary ryzyka definiowane dla HDD

Kategoria	Przykładowe obszary ryzyka	Przykładowe typy zagrożeń/szans
Ryzyko techniczne	założenia projektowe	wadliwa trajektoria wiercenia długość otworu średnica otworu głębokość / przykrycie duża różnica elewacji pomiędzy wejściem i wyjściem zmiana azymutu w trakcie wiercenia kolizja z infrastrukturą podziemną zbyt mała odległość punktu wejścia/wyjścia od przekraczanej przeszkody wadliwy promień krzywizny brak analizy wykonalności projektu
	kompetencje firmy	brak wymaganych referencji
	harmonogram	przekroczenie czasu/opóźnienia wyprzedzenie harmonogramu presja czasu brak możliwości zapewnienia ciągłości innych procesów
	mobilizacja i demobilizacja	brak przygotowanych placów i dróg dojazdowych niewystarczająca powierzchnia placu maszynowego
	logistyka	oczekiwanie na dostawę
	sprzęt wiertniczy	niedopasowanie sprzętu wiertniczego do wymagań niedopasowanie obiegu płuczkowego do wymagań niedopasowanie osprzętu wgłębego do wymagań istotne awarie sprzętu brak możliwości wywiercenia otworu przez urządzenie podstawowe
	materiały	brak dostępu do wody technologicznej niska jakość materiałów płuczkowych
	prace wiertnicze	brak możliwości zrealizowania założonej trajektorii silne zakłócenia pracy systemów nawigacji uszkodzenie kabla pomiarowego niski postęp wiercenia pilotowego niski postęp poszerzania otworu utykanie narzędzi przechwycenie przewodu wiertniczego rozkręcenie połączeń gwintowych pod ziemią wysokie tarcie w otworze niestabilny otwór tworzenie się kawern wręby (oś przewodu w ścianie) uszczelnianie hydrauliczne zaniki prawidłowego obiegu płuczki niewłaściwa kompozycja płynu wiertniczego brak zdefiniowanego programu płuczkowego problemy z transportem zwiercin niewłaściwa hydraulika otworowa przerwanie ciągłości przewodu wiertniczego dewastacja (uszkodzenie) narzędzi niedopasowanie narzędzi niewłaściwa konfiguracja narzędzi brak możliwości zainstalowania/deinstalacji casingu utrata otworu
	przygotowanie rurociągu do instalacji	niewłaściwe parametry rurociągu (geometria/materiał) wady połączeń zgrzewanych wady połączeń spawanych wady izolacji nieszczelność rurociągu
	proces instalacji	utknięcie rurociągu nadmierne sily instalacyjne uszkodzenie izolacji uszkodzenie rury produktowej zniszczenie krętklika konieczność deinstalacji konieczność użycia stacji pchającej
	utilizacja odpadów	wysoki koszt deponowania szlamu wysoki koszt deponowania fazy stałej
	zarządzanie projektem	błędne decyzje/brak decyzji brak nadzoru
	personel wewnętrzny firmy	niskie kwalifikacje wysokie kwalifikacje brak możliwości pozyskania na rynku
personel wynajęty	kompetencje/podział obowiązków	

TAB. 1. cd. Kategorie i obszary ryzyka definiowane dla HDD

Kategoria	Przykładowe obszary ryzyka	Przykładowe typy zagrożeń/szans
Ryzyko finansowe	estymacja kosztów	niedoszacowanie kosztów przeszacowanie kosztów przekroczenie budżetu
	rezerwa budżetowa	brak rezerwy na zdarzenia nadzwyczajne
	rentowność projektu	brak wymaganej marży
	finansowanie projektu	brak kredytowania utrata płynności finansowej
	warunki i terminy płatności	odroczone płatność
	kursy walut	zmienność
	brak zapłaty po wykonaniu pracy	dotkliwa strata finansowa
	kary	strata finansowa
	nagrody i bonusy	zysk
	zerwanie umowy	strata
podatki	wymagania	
Ryzyko prawne	dokumenty kontraktowe	wadliwa dokumentacja wady w specyfikacji przetargowej brak sprawiedliwego podziału ryzyka ryzykowna formuła umowy
	obowiązujące prawo	restrykcje i ograniczenia
	decyzje sądów	pozwy klienta spory
	decyzje urzędów	zmiany w prawie zmiany w decyzjach
	decyzje rządu	zmiana polityki
	obowiązujący język	błędy w komunikacji
	własność	kradzieże mienia uszkodzenie (dewastacja) mienia
	bezpieczeństwo	wypadki przy pracy ryzyka militarne
	ubezpieczenie	wysoka składka brak podmiotu ubezpieczającego na rynku
	prawa autorskie	naruszenia
	licencje	naruszenia

TAB. 1. cd. Kategorie i obszary ryzyka definiowane dla HDD

ciągłości dostaw materiałów i części to kolejne potencjalne źródła ryzyka.

Uzupełniającym elementem całego układu niepewności są zdarzenia natury prawnej, politycznej, finansowej, makroekonomicznej i społecznej. Niepewności wynikają ze zmienności i niestabilności w tym obszarze i mogą mieć niebagatelny wpływ na losy długoterminowych projektów. W zakresie ryzyka prawnego i instytucjonalnego mieszczą się np. nieuregulowane kwestie własności gruntów, na których ma powstać nowa infrastruktura, kwestia wyłonienia wykonawcy w drodze przeprowadzenia procedury przetargowej oraz formuła kontraktu zawieranego pomiędzy klientem a wykonawcą. W zakresie ryzyka finansowego mieszczą się wszystkie działania zmierzające do oszacowania budżetu projektu oraz sporządzenia prawidłowego rachunku kosztów i korzyści.

Wiertnictwo rurociągowo jest jedną z kosztowniejszych metod budowy instalacji podziemnych. Należy zadbać z jednej strony o bezpieczną formułę kontraktu, a z drugiej o odpowiednie zasoby i znalezienie źródeł finansowania dla zaplanowanego przedsięwzięcia.

Przyczyna – zdarzenie – konsekwencje

Tak określona sekwencja wydarzeń znana jest nie tylko z projektów wiertniczych, ale przede wszystkim z życia codziennego. Odnosi się także przy tym do możliwie najbardziej obiektywnego opisywania procesów technicznych, ekonomicznych i prawnych. Jeśli po wydarzeniu nr 1 następuje wydarzenie nr 2, to uważamy, że wydarzenie nr 2 zostało spowodowane przez nr 1. W wiertnictwie wydarzenie

nr 2 (zdarzenie) może mieć więcej niż jedną przyczynę. Również może mieć więcej niż jeden skutek. Rozważmy przykład takiego ciągu zdarzeń. Fakt, jakim jest brak profesjonalnej dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, mógł zaistnieć na skutek braku wiedzy o jej konieczności, zaniechania ze strony inwestora lub projektanta, braku dobrych praktyk czy braku budżetu na jej przygotowanie. Skutkiem (konsekwencją) tego braku może być jedno lub wiele wydarzeń o raczej negatywnym wydźwięku. Wydarzenia te mogą być ze sobą powiązane lub być całkowicie niezależne. Dotkliwość tych zdarzeń dla przejrzystości rozumowania została rozlokowana w obszarze czasu (harmonogram), obszarze kosztu (budżet), obszarze jakości i w końcu obszarze zakresu realizacji projektu. Załóżmy przy tym, że planujemy wykonać instalację sześciu rurociągów DN200 mm w jednym otworze pod dnem

Zdarzenie	Przyczyna (potencjalne czynniki wpływu – maks. 3 pozycje)	Kategoria ryzyka	Potencjalne konsekwencje (maks. 2 pozycje)			
			Harmonogram (czas)	Budżet (koszt)	Zakres realizacji	Jakość projektu
Brak rozpoznania geologicznego	Wady projektowe Brak kompetencji Niski budżet inwestora	ryzyko geologiczne			x	x
Osiadanie gruntu	pusty otwór penetracja wody gruntowej geologia	ryzyko geologiczne			x	x
Niesprzyjające warunki pogodowe	błędne rozpoznanie lokalnego klimatu błędne założenia projektowe niezrozumienie dla wymagań technologicznych	ryzyko środowiskowe	x	x		
Brak możliwości zrealizowania założonej trajektorii	nierealistyczny projekt zakłócenia w pracy systemów nawigacji konfiguracja BHA kompetencje wiertacza	ryzyko techniczne			x	x
Niewystarczająca dokładność systemu nawigacji	nierealistyczny projekt błąd w wyborze systemu nawigacji geologia	ryzyko techniczne			x	x
Silne zakłócenia pracy systemów nawigacji	infrastruktura podziemna i napowierzchniowa sieci energetyczne ruch jednostek pływających	ryzyko techniczne	x			x
Niski postęp poszerzania otworu	brak rozpoznania geologicznego konfiguracja BHA niewłaściwa hydraulika	ryzyko techniczne	x	x		
Utykanie narzędzi	geologia konfiguracja BHA niedopasowanie urządzenia wiertniczego hydraulika otworowa	ryzyko techniczne	x			x
Przechwycenie przewodu wiertniczego	dłuższy czas braku ruchomości przewodu hydraulika otworowa niewłaściwe oczyszczanie otworu deformacje ściany	ryzyko techniczne	x	x		
Rozkręcenie połączeń gwintowych pod ziemią	niewłaściwy moment skręcający połączenie gwintowe wibracje i udary procedura niekontrolowanego kręcenia „w lewo”	ryzyko techniczne	x	x		
Wysokie tarcie w otworze	niewłaściwa geometria otworu niewłaściwe oczyszczanie otworu płyn wiertniczy	ryzyko techniczne			x	x
Tworzenie się kawern	zmiennie warunki geologiczne niski postęp wiercenia konfiguracja BHA hydraulika otworowa	ryzyko techniczne			x	x
Wręby (przewód w ścianie otworu)	zmiennie warunki geologiczne zmiana azymutu i/lub inklinacji w miękkich warstwach konfiguracja BHA	ryzyko techniczne			x	x
Szczelinowanie hydrauliczne nadkładu	przekroczenie ciśnienia dopuszczalnego geologia trajektoria otworu niewłaściwe oczyszczanie otworu	ryzyko techniczne	x			x
Zaniki prawidłowego obiegu płuczki (zaniki wgłębne)	geologia niewłaściwe oczyszczanie otworu trajektoria otworu	ryzyko techniczne		x		x
Problemy z transportem zwiercin	płyn wiertniczy brak nadzoru firm serwisowych geologia	ryzyko techniczne	x			x
Niewłaściwa hydraulika otworowa	niedopasowanie sprzętu płuczkowego geologia konfiguracja BHA	ryzyko techniczne	x			x
Przerwanie ciągłości przewodu wiertniczego (bez rozkręcenia połączenia gwintowego)	złożony stan naprężeń przekroczenie dopuszczalnego momentu obrotowego geometria otworu praktyki wiertnicze	ryzyko techniczne	x	x		
Niewłaściwa konfiguracja narzędzi	geologia brak kompetencji niedopasowanie sprzętu wiertniczego	ryzyko techniczne	x		x	

TAB. 2. Zestawienie 30 wybranych potencjalnych zdarzeń negatywnych w procesie planowania, kontraktowania i realizacji projektów HDD. Pokazane przykłady mają charakter wyłącznie poglądowy

Zdarzenie	Przyczyna (potencjalne czynniki wpływu – maks. 3 pozycje)	Kategoria ryzyka	Potencjalne konsekwencje (maks. 2 pozycje)			
			Harmonogram (czas)	Budżet (koszt)	Zakres realizacji	Jakość projektu
Utrata otworu wiertniczego	marszowanie w niestabilnym otworze trwale zakleszczenie narzędzi lub przychwycenie przewodu wiertniczego brak procedury dokręcania przewodu za narzędziem	ryzyko techniczne		x	x	
Nadmierne siły instalacyjne	niska jakość otworu wiertniczego niewłaściwe balastowanie rurociągu geologia	ryzyko techniczne			x	x
Uszkodzenie izolacji rury stalowej	niska jakość izolacji wysokie tarcie w otworze (niska jakość otworu) geologia (obiekty)	ryzyko techniczne		x		x
Uszkodzenie rurociągu HDPE	przekroczenie dopuszczalnych naprężeń przekroczenie dopuszczalnego ciśnienia różnicowego brak balastowania rurociągu	ryzyko techniczne			x	x
Wysokie koszty utylizacji odpadów	brak zamkniętego obiegu płuczki geologia regulacje prawne	ryzyko techniczne		x		x
Brak wymaganych referencji	wadliwe kryteria przetargowe brak kompetencji	ryzyko techniczne	x			x
Oczekiwanie na dostawę (sprzętu lub materiałów)	błędy w logistyce brak lokalnej dystrybucji brak kompetencji	ryzyko techniczne	x	x		
Przekroczenie budżetu	brak rzetelnej analizy projektu brak doświadczenia i kompetencji niedopasowanie urządzeń i technologii geologia	ryzyko ekonomiczne		x	x	
Brak rezerwy na zdarzenia nadzwyczajne	brak analizy ryzyka brak kompetencji geologia	ryzyko ekonomiczne		x	x	
Zmienność kursu walut	niestabilna sytuacja makroekonomiczna polityka rządu	ryzyko ekonomiczne		x		
Wadliwa dokumentacja projektowa	brak kompetencji projektanta brak nadzoru inwestorskiego niedostateczna jakość dokumentacji geologiczno-inżynierskiej	ryzyko prawne			x	x

TAB. 2. cd. Zestawienie 30 wybranych potencjalnych zdarzeń negatywnych w procesie planowania, kontraktowania i realizacji projektów HDD. Pokazane przykłady mają charakter wyłącznie poglądowy

rzeki na dystansie 350 m urządzeniem klasy 450 kN. Zakładane przez wykonawcę prac piaski drobne o średnim stopniu zagęszczenia okazują się w rzeczywistości skomplikowanym układem iłowo-iłowcowym, z sekcją pospółek i żwirów zalegających tuż przy powierzchni terenu. Konsekwencją braku rozpoznania w obszarze czasu są opóźnienia będące wynikiem niższego niż zakładano postępu prac. Konsekwencją w obszarze kosztów będzie wzrost nakładów na nadmiernie zużywające się narzędzia i narastające koszty operacyjne (ilość zmian roboczych). Konsekwencją zakresu realizacji jest konieczność wywiercenia dwóch otworów równoległych o mniejszej średnicy zamiast jednego o średnicy większej. Konsekwencją w obszarze jakości projektu będą wyższe od zakładanych obciążenia instalacyjne (wyższe naprężenia powstające w rurociągach), mogące ograniczyć użyteczność instalacji w przyszłości.

Ryzyka związane z projektami HDD w skrajnych przypadkach mogą doprowadzić do nieukończenia prac wiertniczych, negatywnego oddziaływania na środowisko, uszkodzenia infrastruktury powierzchniowej i podziemnej

Podobne konsekwencje może mieć co najmniej kilkadziesiąt zdarzeń, które da się wyodrębnić dla każdego projektu wiertniczego. Zdarzenia negatywne mogą zachodzić na każdym z etapów projektu, tj. w przygotowaniu, realiza-

cji czy finalizacji. Zdarzenia te mogą mieć swoje następstwa w postaci komplikacji (mniej dotkliwe) i awarii wiertniczych (bardziej dotkliwe).

Akceptowalny poziom ryzyka

Potencjalne ryzyka nieodłącznie towarzyszą projektom HDD. W skrajnych przypadkach mogą doprowadzić do nieukończenia prac wiertniczych, negatywnego oddziaływania na środowisko, uszkodzenia infrastruktury powierzchniowej i podziemnej. Zarządzanie ryzykiem polega na jego identyfikacji na etapie planowania i projektowania zadania. Wówczas najłatwiej je wyeliminować lub, jeśli nie jest to niemożliwe – ograniczyć. Doświadczony i wykwalifikowany personel jest jednym z najważniejszych aktywów służących bezpiecznej i ekonomicznej realizacji przedsięwzięcia. Kiedy nieprzewidziane problemy narastają w trakcie realizacji projektu, okazuje się, że mają one źród-

dła w nieprawidłowym planowaniu i przyjęciu wadliwych założeń technicznych na wstępnym jego etapie lub też, co równie prawdopodobne, w braku wystarczających kompetencji projektanta i/lub wykonawcy. Jak w każdej szybko rozwijającej się dziedzinie, także i w HDD można spotkać podmioty o niewystarczających umiejętnościach. Rozstrzygnięcie, czy dany wykonawca posiada wystarczające doświadczenie techniczno-technologiczne do realizacji złożonego zadania, należy do właściciela kontraktu (inwestora) i jego inżynierów. To oni są odpowiedzialni za sformułowanie dokumentów przetargowych oraz specyfikacji technicznej w taki sposób, aby kryteria oceny oferty były zrównoważone i obejmowały cenę, referencje, zaproponowany przez wykonawcę sposób działania oraz deklarację zaangażowanych środków intelektualnych i materialnych. Waga przyznawana poszczególnym elementom będzie zależna od stopnia oryginalności danego projektu, co jest równoważne ze stopniem jego ryzyka.

Mając świadomość istnienia ryzyka, należy nim zarządzać. W przeciwnym razie to ryzyko może zarządzać projektem i decydować o jego powodzeniu

Poziom ryzyka rośnie wraz ze stopniem złożoności projektu. Dla projektów niestandardowych, rekordowych lub bardzo innowacyjnych ryzyko może być znaczące. Wynika to z konieczności podejmowania wielu decyzji przy ograniczonym zasobie informacji. W takich projektach przyjmowane są pewne założenia techniczno-technologiczne, których skuteczność weryfikowana jest dopiero w czasie realizacji zadania. Warty podkreślenia wydaje się fakt, że traktowanie ryzyka w sposób tradycyjny, wyłącznie jako potencjalne zagrożenie, może być błędem. Tracimy wówczas z pola widzenia szanse, które pozwalają na osiągnięcie wyższego zysku jako nagrody za podjęcie się ryzykownego przedsięwzięcia. Dobrze przygotowana firma może akceptować wyższy poziom ryzyka, ponieważ ma opracowany szeroki wachlarz

działań zaradczych na wypadek jego materializacji. Trwanie w pasywnych działaniach rzadko kiedy przynosi oczekiwane korzyści. Odważnym krokiem w dziedzinie innowacyjnych (nietypowych) projektów musi towarzyszyć przemyślany plan wariantowego działania.

Podsumowanie

Jak już zostało wspomniane wcześniej, nie ma projektu wiertniczego, który byłby całkowicie pozbawiony niepewności (ryzyka, szansy). Nie ma też metody gwarantującej całkowite zabezpieczenie się przed skutkami ryzyka. Warto podkreślić, że niemal każda metoda zabezpieczenia się kosztuje. I na to musi być przewidziana stosowna kwota w budżecie. Możemy ją jednak wydać z korzyścią dla projektu lub ją roztrwonić bez gwarantowanego rezultatu. Dlatego celem powinna być profesjonalizacja w zakresie kompleksowej obsługi ryzyka, poczynając od identyfikacji, oceny, szczegółowej analizy, a kończąc na wypracowaniu metody postępowania i realnych działaniach. Odwaga i przełamywanie naturalnej niechęci do podejmowania ryzyka powinny być równoważone przez umiejętne wdrażanie skutecznych narzędzi. Mając świadomość istnienia ryzyka, należy nim zarządzać. W przeciwnym razie to ryzyko może zarządzać projektem i decydować o jego powodzeniu. To, co jest przewidywalne i oswojone, zdarza się rzadko. To, czego nie uwzględnimy w naszych analizach, może mieć miejsce.

W kolejnej części rozpoczętego tym artykułem cyklu zostaną poddane przeglądowi dostępne metody kwantyfikacji ryzyka, w tym zwłaszcza oceny jego prawdopodobieństwa i konsekwencji. ◀

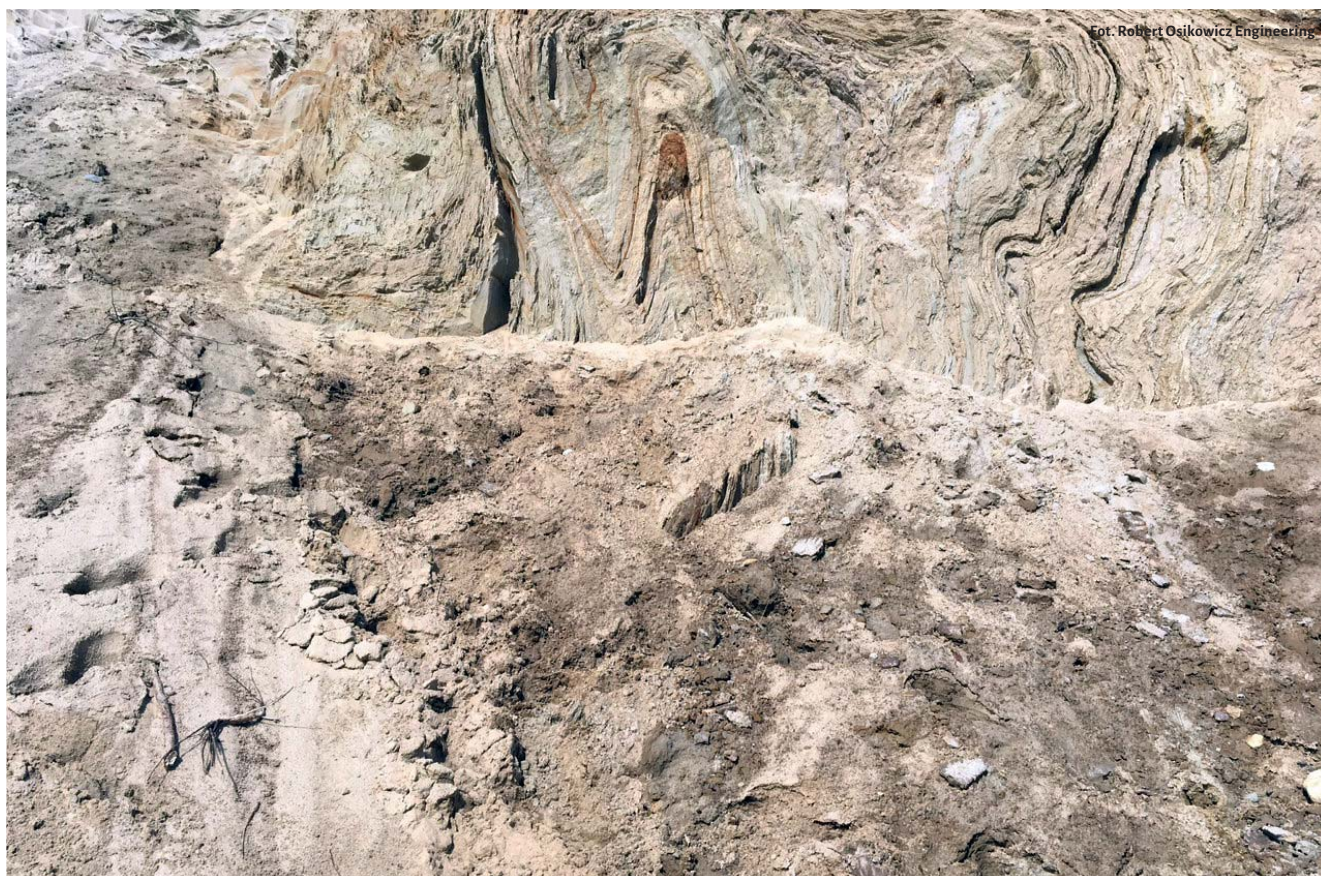
Literatura

- [1] Ch. Donnelly: The Role of the 'Value for Money' Assessment Process in the Curtis Island, Australia, Multiple 2.1 km HDD Project. NASTT No-Dig Conference, Orlando, 2014.
- [2] G. Duyvestyn, M. Gelinas: Pushing the Limits. When Does It make Sense to Attempt a Longer and Larger HDD Installations. NASTT No-Dig Conference, Denver, 2015.
- [3] Europe Direct: Analiza ryzyka w projektach. Białystok, 2012.
- [4] Federation of European Risk Management

Associations: Standard zarządzania ryzykiem. Bruksela, 2003.

- [5] M. Kowalczyk, M. Wrześniewski: Zarządzanie ryzykiem w projekcie. Mandarin Project Partners, 2011.
- [6] B. Keulen: Maximum Allowable Pressures During HDD Focused on Sand. Delft, 2001.
- [7] H. Kruse: Risk Reduction for Trenchless Technologies in Soft Soil Conditions. Delft, 2015.
- [8] H. Kruse: Risk During Pullback Operation of Horizontal Directional Drilling. Delft, 2008.
- [9] P.Y. Moganti: Safety Risks Investigation of Horizontal Directional Drilling Projects. Clemson University, 2016.
- [10] L. Onsarigo: Analysis of Horizontal Directional Drilling Construction Risks Using the Probability – Impact Model. Bowling Green State University, 2014.
- [11] M. Osbak, C. Murray: The Economics of Risk Absorption and Risk Transfer Strategies in Horizontal Directional Drilling. NASTT No-Dig Conference, Sacramento, 2012.
- [12] R. Osikowicz: Koszty – Jakość – Ryzyko. Artykuł wygłoszony w trakcie III Seminarium Technicznego ROE w Krakowie. Grudzień, 2016.
- [13] R. Osikowicz: Zarządzanie jakością otworu wiertniczego. Inżynieria Bezwykopowa, 1/2015.
- [14] R. Osikowicz: Zamknięty obieg płuczkowy, cz. I–IV, Inżynieria Bezwykopowa, 1/2016, 2/2016, 3/2016, 4/2016. Project Management Institute: Practice Standard for Project Risk Management. Pennsylvania, USA, 2009.
- [15] D. Patrick: Identifying Key Risks in Construction Projects. Life Cycle and Stakeholder Perspective. Sydney, 2009.
- [16] B. Peters: Can You See it Coming? Examine and Mitigation Common Causes of HDD Failures. NASTT No-Dig Conference, Orlando, 2014.
- [17] K. Staheli: Effectiveness of Hydrofracture Prediction for HDD Design. NASTT No-Dig Conference, Chicago, 2010. B. Telfer: Determining the Optimum Level of Investigation for a Trenchless Installation Project. 2012.
- [18] X. Wang, R. Sterling: Stability Analysis of a Borehole Wall During Horizontal Directional Drilling. Tunnelling and Underground Space Technology, 2007.

Zarządzanie ryzykiem w projektach wiertniczych



CZĘŚĆ II: JAKOŚCIOWA OCENA RYZYKA



Robert Osikowicz

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Ponadto w kręgu zainteresowań autora znajdują się: analizy wykonalności, ryzyka, jakości i kosztów dla projektów bezwykopowych. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem branżowej organizacji wiertniczej DCA-Europe.

Zarządzanie ryzykiem powinno być tak samo naturalne, jak jego występowanie. Naiwnością jest przekonanie, że istnieją zadania pozbawione szans i zagrożeń. Jak wynika z pierwszej części artykułu, zarządzanie ryzykiem w projektach polega na kompleksowym działaniu, zmierzającym do jego identyfikacji, oceny prawdopodobieństwa zaistnienia, oszacowania skutków, monitorowania, przygotowania planów postępowania z ryzykiem (jego neutralizacji) oraz zaplanowania wystarczających rezerw w obszarze harmonogramu i budżetu. W każdym przypadku naszym celem jest niedopuszczenie do sytuacji, w której istotne ryzyko osiąga poziom nieakceptowalny, a dotkliwość jego materializacji ma krytyczne znaczenie dla projektu

Jak oswoić ryzyko?

Proces zarządzania ryzykiem powinien być dobrze przygotowany i zorganizowany. Dzięki właściwym procedurom możliwe będzie podjęcie działań polegających na izolowaniu, zmniejszeniu lub eliminowaniu ryzyka. Nie wszystkie działania są możliwe czy ekonomicznie uzasadnione. Ale niezbędna wydaje się umiejętność przygotowywania alternatywnych metod działania, kalkulacji kosztów oraz szacowania wpływu na harmonogram projektu. Plan działania okaże się realny, jeśli będzie bazował na prawdziwych lub przynajmniej na bardzo prawdopodobnych danych. Role i związany z tym podział pracy dla poszczególnych udziałowców projektów powinny być czytelne i rozdzielone na etapie planowania. Znana i w pełni zrozumiała powinna być metodyka określająca preferowane narzędzia i źródła danych. Powinno panować pełne zrozumienie dla wybranego systemu identyfikacji, interpretacji i oceny negatywnych zdarzeń. Konieczne jest wprowadzenie ustandaryzowanej dokumentacji procesu zarządzania, obejmującej m.in. rejestr ryzyka, jego wycenę oraz zaplanowane działania prewencyjne i zaradcze. Należy określić budżet przeznaczony na zarządzanie ryzykiem.

Co oceniać i monitorować?

Stworzenie kompetentnej i wyczerpującej listy ryzyk nie jest zadaniem łatwym. W poprzednim odcinku niniejszego artykułu wyodrębnionych zostało kilkadziesiąt potencjalnych zdarzeń wywołanych przez jedną lub kilka przyczyn. Zostały one podzielone na cztery kategorie:

ryzyka geologiczne i środowiskowe, techniczne, prawne i finansowe. Sformułowana ostatecznie lista ryzyk zależna będzie od typu projektu, jego założeń i otoczenia, w jakim jest realizowany. Decydujący wpływ na przygotowywany rejestr będą mieli ludzie, ich umiejętności i doświadczenie. Jeśli ryzyka nie zidentyfikujemy, to nie poddamy go ocenie, a w konsekwencji nie przygotujemy reakcji na jego potencjalne wystąpienie. Dlatego nie powinno się zamykać rejestru na etapie planowania, ale uzupełniać go także na etapie realizacji. Powtarzanie procesu identyfikacji na każdym z etapów projektów pozwala na uzupełnianie rejestru o specyficzne (nietypowe) zdarzenia, które nie były na początku etapu planowania brane pod uwagę bądź doceniane. Najbardziej polecane techniki identyfikacyjne to: statystyczna analiza negatywnych zdarzeń z przeszłości odnotowanych na projektach podobnej klasy, szczegółowa analiza dostępnej dokumentacji geologicznej, technicznej i technologicznej, listy kontrolne, burze mózgów, dociekanie i szukanie mocnych lub słabych stron w proponowanych rozwiązaniach, techniki oparte na diagramach przyczynowo-skutkowych.

Czy wszystkie projekty są jednakowo ryzykowne?

O tym, czy projekt wart jest szczegółowej analizy, decyduje jego wartość i pozycja na tle innych projektów znajdujących się aktualnie w portfelu spółki. Projekty trudne technicznie, innowacyjne, o wysokim stopniu niepewności co do skuteczności zastosowanych procedur, powinny być traktowane specjalnie. Projekty o dużej wartości materialnej lub o wyższym potencjale do wy-

nerowania strat powinny być estymowane (szacowane) bardziej pesymistycznie. Należy na nie nałożyć wyższe współczynniki bezpieczeństwa wyrażane najczęściej w rezerwie budżetowej na zdarzenia nadzwyczajne lub w większej rezerwie czasowej (bardziej elastycznym harmonogramie). Dla spółki wiertniczej wyższe ryzyka notowane na projektach niestandardowych powinny być skompensowane potencjalnie wyższym zyskiem. Ponadto w portfelu zamówień projekty złożone muszą być równoważone projektami standardowymi. Wówczas niepowodzenie lub komplikacje projektu trudnego nie zachwieją pozycją spółki, która realizuje jednocześnie projekty bardziej przewidywalne. Projekty o mniejszym stopniu komplikacji i o niższej wartości kontraktu powinny być szacowane bardziej optymistycznie w oparciu o scenariusze najbardziej prawdopodobne.

Analiza jakościowa

Jest to etap, na którym dochodzi do oszacowania co najmniej dwóch parametrów: prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia (materializacji ryzyka) oraz skutków zaistnienia ryzyka. Dodatkowymi parametrami mogą być: ekspozycja (czas trwania zagrożenia) lub prawdopodobieństwo wykrycia ryzyka. Z analizy tej wynika hierarchia, czyli lista ryzyk uszeregowanych od potencjalnie najbardziej dotkliwego do najmniej istotnego w kontekście osiągnięcia celu projektu. Podstawowym narzędziem w analizie jakościowej są techniki macierzowe. Macierz o dwóch zmiennych (prawdopodobieństwo x skutek) nazywana jest często macierzą ryzyka. Dla oceny ryzyka można stosować skalę trójstopniową, pięciostop-

niową lub siedmiostopniową. Skala może mieć charakter liniowy lub logarytmiczny. Iloczyn zmiennych daje podstawę do oszacowania poziomu ryzyka. Dzięki zastosowaniu tych samych narzędzi na różnych etapach projektu można zaobserwować trendy, jakim podlegają poszczególne ryzyka (grupy ryzyk). Z tych obserwacji wynikają podejmowane decyzje o wzmożeniu działań lub ograniczeniu działań związanych z konkretnym zagrożeniem. Ocenia się, że podstawowymi danymi do analizy jakościowej powinny być: lista zidentyfikowanych ryzyk z podziałem na kategorie, ocena projektu pod względem jego oryginalności (na tle dotychczas zrealizowanych zadań), ocena jakości, wiarygodności i dokładności danych służących identyfikacji, przyjęcie obowiązującej skali prawdopodobieństwa i mierników skutków zagrożeń.

Zaproponowane skale mogą mieć charakter opisowy, a przypisana im wartość liczbową nie jest bezwzględnie precyzyjna. Ocena oryginalności (złożoności) projektu powinna uwzględniać takie cechy, jak poprawność techniczna, prawidłowość (stabilność) założeń oraz kompetencje (referencje) partnerów realizujących zadanie.

W wyniku przeprowadzonej analizy powinien powstać ranking, który pozwoli na porównanie poziomu szacowanego ryzyka z ryzykiem stwierdzonym i zmierzonym w praktyce w zrealizowanych projektach o podobnej skali. Zwykle określa się metody jakościowe jako wstępne (zgrubne) metody oceny. Jest to wynikiem subiektywnej oceny wynikającej z praktyki i doświadczenia. Im większe doświadczenie osoby oceniającej, tym większe prawdopodobieństwo prawidłowej estymacji. Ranking ryzyk będzie mieć zawsze charakter relatywny.

Efektem finalnym analizy jakościowej powinno być uaktualnienie dokumentów projektu, w tym zwłaszcza rejestru ryzyka, wskazującego najważniejsze (priorytetowe) czynniki ryzyka. W przypadku, gdyby firma prowadziła kilka projektów jednocześnie, ranking taki pozwoliłby porównać między sobą poziomy ryzyka poszczególnych zadań i podejmować na przykład decyzje w zakresie rozdziału środków (zasobów).

Metoda Wstępnej Analizy Zagrożeń (PHA – Preliminary Hazard Analysis)

Metoda PHA jest najlepszym przykładem jakościowej metody oceny ryzyka. Jest z powo-

dzeniem wykorzystywana w szacowaniu ryzyka i tworzeniu różnych klas zagrożeń. W metodzie tej prawdopodobieństwo zdarzenia, jak i potencjalne skutki, prezentowane są opisowo. Metoda nie uwzględnia kalkulacji probabilistycznych, choć wyznaczenie poziomu ryzyka może mieć charakter liczbowy. Metoda pozwala określić nie tylko względny poziom ryzyka w odniesieniu do podobnych projektów, ale daje możliwość wyodrębnienia różnych poziomów jego akceptacji.

Jeśli ryzyka nie zidentyfikujemy, to nie poddamy go ocenie, a w konsekwencji nie przygotujemy reakcji na jego potencjalne wystąpienie

Rdzeniem metody jest matryca ryzyka, która zawiera 9, 16, 25 lub 49 pól. Ilość pól wynika z przyjętej skali szacowania ryzyka. Hierarchia zostaje zilustrowana w sposób graficzny lub też w postaci rankingu (uporządkowanego rejestru). Kategorie prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia negatywnego zestawione są z wagą częstości, natomiast konsekwencje zdarzenia stowarzyszone są z wagą skutków. Poziom ryzyka jest iloczynem dwóch wyżej opisanych wag. Każde zdefiniowane (pojedyncze) ryzyko ma przypisane współrzędne określone przez oszacowane

prawdopodobieństwo i estymowane skutki. Wartości parametrów powinny być wyznaczane przez ekspertów albo osoby o niekwestionowanym doświadczeniu w analizie projektów. Poniżej zaprezentowano przykładową terminologię związaną z macierzami o różnej ilości pól.

Jak widać z załączonych przykładów, bardziej uniwersalna i precyzyjna wydaje się matryca 25-polowa, gdzie wprowadza się po pięć stopni prawdopodobieństwa i dotkliwości. Autor sugeruje, aby przyjąć pięć zakresów poziomu ryzyka: niskie (do 20% oceny maksymalnej), średnie – umiarkowane (do 40%), wysokie – znaczące (do 60%), bardzo wysokie (do 80%) i ekstremalne (ponad 80%). Dla ocen powyżej 60% wartości maksymalnej (>15 punktów) ryzyko uznaje się za nieakceptowalne i musi zostać wobec niego uruchomione działanie (reakcja). W przypadku zakresu 10–15 punktów sugeruje się wprowadzenie stałego monitoringu i planu działań.

W powyższym przypadku skala dotkliwości (uciążliwości) narasta w podwójnym tempie w stosunku do liniowej skali prawdopodobieństwa. Dzięki takiemu podejściu ryzyko o wysokim prawdopodobieństwie i łagodnych skutkach będzie oceniane niż niż ryzyko o niskim prawdopodobieństwie, lecz dotkliwych skutkach. Modyfikacja wartości skutków może mieć uzasadnienie w szczególnych przypadkach dotyczących projektów o dużych budżetach. Tak, jak w poprzednich przykładach macryc, punktacją ryzyka powoduje zakwalifikowanie danego, niepożądanego zdarzenia (sytuacji awaryjnej) do określonej kategorii akceptacji ryzyka. W przypadku, gdy poziom ryzyka nie mieści się w zakresie akceptowalnym, wymagane jest wskazanie (opracowanie) działań dotyczących prewencji, monitoringu, bieżącej analizy oraz przygotowa-

	Dotkliwość/konsekwencje dla projektu				
	Ocena		Łagodne skutki	Umiarkowane skutki	Dotkliwe skutki
			1	2	3
Prawdopodobieństwo wystąpienia w trakcie projektu	wysokie	3	3	6	9
	średnie	2	2	4	6
	niskie	1	1	2	3
Punktacja ryzyka			1–2	3–5	6–9
Ocena ryzyka			małe 22%	średnie 55%	duże > 55%
Tolerancja wobec ryzyka			zakres akceptowalny	zakres tolerowany	zakres nietolerowany

TAB. 1. Matryca 9-polowa (liniowa skala prawdopodobieństwa i konsekwencji)

	Dotkliwość/konsekwencje dla projektu						
	Ocena		Nieistotne (nieznaczące)	Mały wpływ (małe)	Umiarkowany wpływ (średnie)	Duży wpływ (poważne)	Bardzo duży wpływ (katastrofalne)
			1	2	3	4	5
Prawdopodobieństwo wystąpienia w trakcie projektu	bardzo prawdopodobne (prawie pewne)	5	5	10	15	20	25
	prawdopodobne	4	4	8	12	16	20
	może się zdarzyć (średnie)	3	3	6	9	12	15
	mało prawdopodobne	2	2	4	6	8	10
	nikłe prawdopodobieństwo (rzadkie)	1	1	2	3	4	5
Punktacja ryzyka			1-5	6-10	11-15	16-20	> 20
Ocena ryzyka			niskie < 20%	średnie (umiarkowane) 40%	wysokie (znaczące) 60%	bardzo wysokie 80%	ekstremalne >80%
Tolerancja wobec ryzyka			akceptowalne	tolerowane	tolerowane warunkowo	nieakceptowalne	

TAB. 2. Matryca 25-polowa (liniowa skala prawdopodobieństwa i konsekwencji)

	Dotkliwość/konsekwencje dla projektu					
	Ocena	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80
Prawdopodobieństwo wystąpienia w trakcie projektu	0,9	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72
	0,7	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56
	0,5	0,03	0,05	0,10	0,20	0,40
	0,3	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24
	0,1	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08
Punktacja ryzyka		0,01-0,08	0,09-0,15	0,16-0,30	0,30-0,50	> 0,50
Ocena ryzyka		niskie 11%	średnie (umiarkowane) 20%	wysokie (znaczące) 41%	bardzo wysokie 70%	ekstremalne > 70%
Tolerancja wobec ryzyka		akceptowalne	tolerowane	tolerowane warunkowo	nieakceptowalne	

TAB. 3. Matryca 25-polowa (nieliniowa skala dotkliwości/konsekwencji)

nie środków pozwalających na zmniejszenie ryzyka dotkliwych zdarzeń.

Proces oceny przeprowadzany jest poprzez systematyczny przegląd dostępnej dokumentacji projektowej. Na podstawie zebranych informacji konstruowana jest tabela, w której podawane jest oszacowane prawdopodobieństwo wystąpienia skutków oraz ich skala. Ranking ryzyka ma na celu określenie, czy zdarzenie jest dopuszczalne, czy niedopuszczalne. Ocena zagrożenia, przeprowadzana na etapie projektu wstępnego, daje możliwość identyfikacji obszarów zagrożeń, dzięki czemu już we wczesnym etapie projektu można przewidywać określone działania zapobiegawcze. W miarę rozwoju projektu pojawiają się jednak nowe czynniki, nieuwzględnione w ocenie PHA, mogące w istotny sposób zagrażać bezpieczeństwu. Konieczne sta-

Ocena zagrożenia, przeprowadzana na etapie projektu wstępnego, daje możliwość identyfikacji obszarów zagrożeń, dzięki czemu już we wczesnym etapie projektu można przewidywać określone działania zapobiegawcze

je się wówczas kolejne rozważenie niebezpiecznych obszarów z uwzględnieniem tych właśnie czynników. Dodatkowo weryfikacji podlegają także już wprowadzone środki zaradcze.

Wyniki analizy PHA mogą być wykorzystane do porównania różnych koncepcji projektowych lub jako wstęp do bardziej szczegółowej analizy ryzyka.

Metoda oceny ryzyka przy pomocy wskaźnika ROE Risk Score

Jakościowa metoda została opracowana na potrzeby oceny ryzyka zawodowego. Można ją po pewnych modyfikacjach zastosować także dla szacowania ryzyka strat materialnych. Istotną różnicą pomiędzy nią a omówioną wcześniej

Skutki zagrożenia (strata)			Prawdopodobieństwo			Ekspozycja		
10	katastrofalne	25% wartości projektu	10	prawie pewne	50% szans	10	stała	permanentnie
7	bardzo duże	10%	7	bardzo prawdopodobne	10%	7	częsta	codziennie
5	duże	5%	5	średnio prawdopodobne	5%	5	sporadyczna	raz na tydzień
3	średnie	2%	3	mało prawdopodobne	2%	3	okazyjnie	raz na miesiąc
2	małe	1%	2	sporadycznie możliwe	1%	2	minimalna	kilka razy w roku
1	nieistotne	0,5%	1	teoretycznie możliwe	0,5%	1	znikoma	raz w roku

TAB. 4. Ocena parametrów ryzyka wg wskaźnika ROE Risk Score

Wartościowanie wskaźnika ryzyka R	Kategoria ryzyka	Ocena ryzyka
< 20	znikome	akceptowalne
20–50	małe	akceptowalne
50–100	średnie	tolerowane
100–200	istotne	tolerowane warunkowo
200–400	duże	nieakceptowalne
> 400	bardzo duże	nieakceptowalne

TAB. 5. Ocena i wartościowanie ryzyka dla metody ROE Risk Score

metodą PHA, jest włączenie do oceny, poza prawdopodobieństwem wystąpienia zdarzenia i jego skutkami, także czasu ekspozycji (narażenia). Poszczególne parametry wyrażone są za pomocą umownych skali liczbowych. Ryzyko określane jest jako iloczyn trzech analizowanych parametrów, a jego poziom ocenia się na podstawie umownej skali odniesienia. W metodzie tej zakłada się, że wskaźnik ryzyka mniejszy niż 50 punktów świadczy o ryzyku akceptowalnym, a powyżej 200 punktów – nieakceptowalnym.

Wzór stosowany dla oceny wskaźnika ryzyka:

$$R = S \times P \times E,$$

gdzie: S – skutki zajścia zdarzenia (zagrożenia),

P – prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia,

E – czas ekspozycji na zagrożenie.

Ryzyko a kontekst wielkości projektu

Ze względu na fakt, że mamy do czynienia z projektami wiertniczymi różnego przeznaczenia, jak i różnego stopnia złożoności, ważna wydaje się ocena dopasowania zgromadzonych środków technicznych do klasy projektu. Środki techniczne są łatwe do wyspecyfikowania. Za najważniejsze z nich powszechnie uznaje się: urządzenie wiertnicze, system płuczkowy, przewód wiertniczy oraz system nawigacji. Lepsze lub gorsze dopasowanie do wymagań projektu

rodzić będzie niższe lub wyższe ryzyko związane z niedotrzymaniem harmonogramu, niezyskaniem wymaganej jakości czy przekroczeniem założonego budżetu. Poza czynnikami materiałowymi i technicznymi bardzo ważny jest obszar związany z posiadanymi kompetencjami oraz doświadczeniem. Dotyczy to zarówno samej spółki wiertniczej, jak i kluczowego personelu kontraktora oraz personelu wynajętego przez firmę serwisowe. Klasa projektu determinuje (a przynajmniej powinna) jakość przygotowanej dokumentacji projektu, szczegółowość i zakres stowarzyszonej z nią dokumentacji geologicznej. Braki w tym zakresie podwyższają poziom ryzyka i poszerzają obszar niepewności co do osiągnięcia strategicznych celów.

Symulacja analizy jakościowej projektu

Jak wskazano wcześniej, ryzyko może zostać zobjektywizowane poprzez iloczyn prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia niepożądanego i wartości oczekiwanych strat wynikających z jego materializacji. Z tak przyjętego założenia manipulacja ryzykiem dotyczy zmniejszania prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia i ograniczania jego dotkliwości. Łatwiejszym zabiegiem wydaje się przy tym ograniczenie częstotliwości zdarzeń negatywnych. Poniżej zaprezentowano przykład oceny ryzyka dla skomplikowanego projektu wiertniczego. Podano klu-

Z zasady Pareto wynika, że 20% pozycji będących najwyżej w rzeczywistej hierarchii ryzyk, będzie odpowiadało za 80% potencjalnych kosztów (strat)

czowe założenia projektowe i na tej podstawie wstępnie oszacowano poziom ryzyka metodą analizy jakościowej PHA. Zakłada się, że dane do analizy pochodzą z bazy będącej w posiadaniu firmy wiertniczej i wspomagających ją firm consultingowych.

Parametry hipotetycznego projektu:

- długość otworu MD: 1500 m;
- rurociąg: stal DN700 (711 mm @ 17,5 mm);
- wskaźnik HDI: 42 000;
- inwestor: spółka Skarbu Państwa;
- typ przeszkody: rzeka, dwa wały przeciwpowodziowe, droga powiatowa;
- rozciągłość przeszkody wodnej: 900 m;
- głębokość otworu TVD: 45 m;
- średni promień krzywizny (łuki pionowe): 1250 m;
- zmiana azymutu: brak krzywizn horyzontalnych;
- kąty: wejście 10°, wyjście 6°;
- przykrycie pod dnem rzek: 32 m;
- różnica elewacji pomiędzy wyjściem i wejściem: 6 m;
- średnica otworu pilotowego: 12 ¼";
- technika wiercenia: hydromonitorowa (jetting assembly);
- metoda wiercenia pilotowego: Intersect;
- system nawigacji: Paratrack 2 + solenoid (AC Beacon);
- pomiary ciśnienia dennego w otworze pilotowym: tak (APWD);

Klasa projektu wg wskaźnika HDI		< 2000	2000–5000	5000–10 000	10 000–20 000	20 000–40 000	> 40 000
Klasa urządzenia wiertniczego (siła ciągnięcia/moment obrotowy)	< 100 kN < 5 kNm						
	100–200 kN 5–12 kNm						
	200–450 kN 12–25 kNm						
	450–1000 kN 25–60 kNm						
	1000–2000 kN 60–90 kNm						
	2000–3500 kN 90–120 kNm						
	> 3500 kN > 120 kNm						
Klasa projektu wg wskaźnika HDI		< 2000	2000–5000	5000–10 000	10 000–20 000	20 000–40 000	> 40 000
Przepustowość systemu płuczkowego	do 250 l/min						
	250–500 l/min						
	500–1000 l/min						
	1000–1500 l/min						
	1500–2000 l/min						
	2000–3000 l/min						
	ponad 3000 l/min						
Klasa projektu wg wskaźnika HDI		< 2000	2000–5000	5000–10 000	10 000–20 000	20 000–40 000	> 40 000
Średnica nominalna przewodu wiertniczego	2 3/8"						
	2 7/8"						
	3 1/2"						
	4"						
	5"						
	5 1/2"						
	6 5/8"						
Klasa projektu wg wskaźnika HDI		< 2000	2000–5000	5000–10 000	10 000–20 000	20 000–40 000	> 40 000
System pomiarowy	radiowy (Walk over)						
	MGS Tensor						
	MGS Paratrack						
	GST						
Legenda	niedostateczne	dostateczne	dobrze	bardzo dobre			

TAB. 6. Dopasowanie instrumentów technicznych do klasy projektu

- docelowa średnica otworu: 40" (1016 mm);
 - ilość marszy poszerzających: 2 (28"/40");
 - ilość marszy kalibrujących: 1;
 - zarurowanie techniczne: casing z dwóch stron przekroczenia (2 x 60 m);
 - urządzenia wiertnicze: główne (2500 kN), wspomagające (1000 kN);
 - przepustowość systemu płuczkowego: 2500 l/min;
 - geologia: piaski, pospółki, żwiry do głębokości 15 m;
 - pyły, gliny pylaste: 15–25 m;
 - ility: 25–45 m;
 - realizacja projektu: październik–grudzień;
 - budżet: 1,8 mln EUR;
 - zakładany czas realizacji zadania: 80 dni (wg harmonogramu);
 - udokumentowane referencje firmy: tak (doświadczenie: 5 lat).
- Z tab. 7 wynika, że tylko jedno ryzyko zostało ocenione jako bardzo wysokie (2%),

15 ryzyk jako wysokie (30%), 29 ryzyk jako średnie (58%), a pięć ryzyk jako niskie (10%). Najwyższą średnią wartość w tym przypadku mają ryzyka: geologiczne (10,5), prawne (9,5) oraz techniczne (9,0). Ryzyka o wynikowym wskaźniku powyżej 10 powinny być szczególnie rozpoznane i monitorowane. W każdym przypadku należy opracować plan działania (procedury techniczne) dla sytuacji przewidywalnych (zidentyfikowanych), wyjątkowych i zdarzeń losowych.

Numer ryzyka	Zdarzenie Typ ryzyka	Kategoria ryzyka	Ocena jakościowa ryzyka wg		
			Kryterium prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia R1 (skala od 1 do 5)	Kryterium dotkliwości zajścia zdarzenia R2 (skala od 1 do 5)	Ocena wypadkowa R1 x R2 (max. 25)
1	brak prawidłowego rozpoznania geologicznego	geologiczne średnia wartość dla wyodrębnionych ryzyk: 10,5	2,5	4,0	10,0
2	osiadanie gruntu		3,0	3,0	9,0
3	zmienne warunki geologiczne		4,0	3,5	14,0
4	kolizja z dużymi naturalnymi obiektami (kamienie, głazy)		2,0	4,5	9,0
5	niesprzyjające warunki pogodowe	środowiskowe średnia wartość dla wyodrębnionych ryzyk: 6,6	3,5	2,5	8,75
6	brak możliwości zaopatrzenia w wodę		1,0	5,0	5,0
7	skażenie wrażliwego środowiska		2,0	3,0	6,0
8	brak możliwości zrealizowania założonej trajektorii	techniczne średnia wartość dla wyodrębnionych ryzyk: 9,0	3,0	3,5	10,5
9	niewystarczająca dokładność systemu nawigacji		2,5	4,5	11,25
10	kolizja z podziemną infrastrukturą		2,0	4,0	8,0
11	niewystarczająca dokładność systemu nawigacji		1,5	4,0	6,0
12	silne zakłócenia pracy systemów nawigacji		2,0	3,0	6,0
13	niski postęp wiercenia		3,0	3,5	10,5
14	uszkodzenie narzędzi (utrata rolek)		1,5	4,5	6,75
15	utykanie (klinowanie się) narzędzi w otworze		3,5	4,0	14,0
16	przechwycenie przewodu wiertniczego		3,0	4,0	12,0
17	rozkręcenie połączeń gwintowych pod ziemią		1,5	4,0	6,0
18	przerwanie ciągłości przewodu wiertniczego (bez rozkręcenia połączenia gwintowego)		2,5	4,0	10,0
19	tworzenie się kawern		2,5	2,0	5,0
20	wręby (przewód w ścianie otworu)		3,0	3,0	9,0
21	niestabilny, zapadnięty otwór		2,5	3,5	8,75
22	uszczelnianie hydrauliczne nadkładu		4,0	3,5	14,0
23	zanik prawidłowego obiegu płuczki (wgłębny)		2,5	4,0	10,0
24	problemy z transportem zwiercin		3,0	4,0	12,0
25	problemy z przewiercaniem sekcji iłowych		4,0	3,0	12,0
26	niewłaściwa hydraulika otworowa		2,0	3,5	7,0
27	niewłaściwa konfiguracja narzędzi (selekcja BHA)		2,5	4,0	10,0
28	utrata otworu wiertniczego		1,5	5,0	7,5
29	nadmierne siły instalacyjne		2,0	4,0	8,0
30	zatrzymanie rurociągu (zakleszczenie)		2,0	5,0	10,0
31	zniszczenie rury produktowej (materiał)		1,0	4,5	4,5
32	uszkodzenie izolacji rury stalowej		1,5	4,0	6,0
33	uszkodzenie krętlika w trakcie instalacji		1,5	4,5	6,75
34	brak wymaganych kompetencji		3,0	4,0	12,0
35	oczekiwanie na dostawę (sprzętu lub materiałów)		3,5	2,0	7,0
36	wydłużenie czasu operacyjnego (opóźnienia w harmonogramie)		3,5	4,0	14,0
37	istotna awaria sprzętu w fazie wiertniczej		2,5	3,5	8,75
38	istotna awaria sprzętu w fazie instalacyjnej	2,0	4,5	9,0	
39	uszkodzenie wałów przeciwpowodziowych	2,0	2,5	5,0	

TAB. 7. Ocena ryzyka wg metody PHA (przedstawiony przykład ma charakter wyłącznie poglądowy)

Numer ryzyka	Zdarzenie Typ ryzyka	Kategoria ryzyka	Ocena jakościowa ryzyka wg		
			Kryterium prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia R1 (skala od 1 do 5)	Kryterium dotkliwości zajścia zdarzenia R2 (skala od 1 do 5)	Ocena wypadkowa R1 x R2 (max. 25)
40	wysokie koszty utylizacji odpadów	ekonomiczne średnia wartość dla wyodrębnionych ryzyk: 8,8	3,5	3,5	12,25
41	przekroczenie budżetu		3,5	4,5	15,75
42	brak rezerwy na zdarzenia nadzwyczajne		4,0	3,0	12,0
43	zmienność kursu walut		3,0	1,5	4,5
44	ryzyko zmiany cen paliw, materiałów i usług		2,5	2,5	6,25
45	ryzyko braku finansowania po stronie wykonawcy		2,0	3,5	7,0
46	ryzyko braku finansowania po stronie inwestora		1,5	4,0	6,0
47	ryzyko mechanizmu płatności		2,5	2,5	6,25
48	wadliwa dokumentacja projektowa	prawne	3,0	4,0	12,0
49	ryzyko zmiany przepisów prawa mających wpływ na projekt	średnia wartość dla wyodrębnionych ryzyk: 9,5	2,0	3,0	6,0
50	podział ryzyka w kontrakcie		3,0	3,5	10,5
Ocena ryzyka		niskie	średnie	wysokie	bardzo wysokie

TAB. 7. cd. Ocena ryzyka wg metody PHA (przedstawiony przykład ma charakter wyłącznie poglądowy)

Pozycja w rankingu	Numer ryzyka	Zdarzenie typ ryzyka	Wartość R1 x R2	Ocena poziomu ryzyka
1	41	przekroczenie budżetu	15,75	nieakceptowalne
2	3	zmiennie warunki geologiczne	14,00	warunkowo tolerowane
	15	utykanie narzędzi w otworze	14,00	warunkowo tolerowane
	22	szczelinowanie hydrauliczne nadkładu	14,00	warunkowo tolerowane
	36	wydłużenie czasu operacyjnego (opóźnienia)	14,00	warunkowo tolerowane
6	40	wysokie koszty utylizacji odpadów	12,25	warunkowo tolerowane
7	16	przechwycenie przewodu wiertniczego	12,00	warunkowo tolerowane
	24	problemy z transportem zwiercin	12,00	warunkowo tolerowane
	25	problemy z przewiercaniem sekcji ilowych	12,00	warunkowo tolerowane
	34	brak wymaganych kompetencji	12,00	warunkowo tolerowane
	42	brak rezerwy na zdarzenia nadzwyczajne	12,00	warunkowo tolerowane
	48	wadliwa dokumentacja projektowa	12,00	warunkowo tolerowane
13	9	niepowodzenie procedury Intersect	11,25	warunkowo tolerowane
14	13	niski postęp wiercenia	10,50	warunkowo tolerowane
	8	brak możliwości zrealizowania trajektorii	10,50	warunkowo tolerowane
16	1	brak prawidłowego rozpoznania geologicznego	10,00	tolerowane
	18	przerwanie ciągłości przewodu wiertniczego	10,00	tolerowane
	23	zanik prawidłowego obiegu płuczki (wglębny)	10,00	tolerowane
	27	niewłaściwa konfiguracja narzędzi	10,00	tolerowane
	30	zatrzymanie (zakleszczenie) rurociągu	10,00	tolerowane

TAB. 8. Ranking 20 zdarzeń o najwyższym ryzyku wypadkowym R1 x R2 dla analizowanego projektu

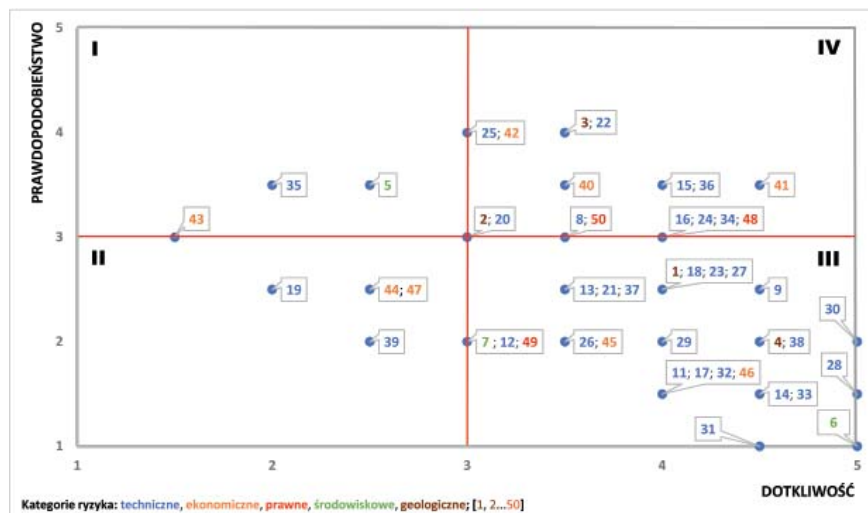
Model PRAWDOPODOBIENSTWO-DOTKLIWOŚĆ

Tego typu model znajduje zastosowanie przy identyfikacji krytycznych ryzyk z punktu widzenia bezpieczeństwa projektu. Z zasady Pareto wynika, że 20% pozycji będących najwyżej w rze-

czywistej hierarchii ryzyk, będzie odpowiadało za 80% potencjalnych kosztów (strat). Oznacza to, że dla analizowanego przez nas przypadku 50 potencjalnych zdarzeń istnieje konieczność bacznej obserwacji i analizy co najmniej 12 pozycji z rankingu o ocenie R1 x R2 równej lub wyższej niż 12 punktów. Nieco niższą rangę należy

przyznać kolejnym ośmiu pozycjom o ocenie z zakresu 10–12 punktów. Jest to, co prawda, zakres tolerowany ryzyka, ale również wymagający monitoringu i tworzenia planów naprawczych.

Na rys. 1 przedstawiony został diagram ryzyka z podziałem na cztery sektory. I sektor grupuje zdarzenia o wysokim stopniu prawdopodobień-



RYS. 1. Zbiorny diagram ryzyka z podziałem na sektory

stwa i niskiej uciążliwości; II sektor wskazuje na zdarzenia o niskim prawdopodobieństwie i tożsamym poziomie dotkliwości; III sektor to wysoka uciążliwość i niskie prawdopodobieństwo zdarzeń i wreszcie IV sektor – grupujący zdarzenia wysoce prawdopodobne i o wysokim koszcie ich zaistnienia. Większość istotnych dla nas ryzyk lokuje się, jak łatwo zauważyć, w IV ćwiartce, choć niektóre ryzyka zapisane w prawej górnej części ćwiartki III, również należy traktować jako istotne.

Podsumowanie

Każda firma wiertnicza, podejmując decyzję o realizacji określonego projektu HDD, powinna kierować się rzetelnymi prognozami warunków, w jakich przyjdzie jej działać. Prognoza powstaje na podstawie analizy szeregu danych. Należą do nich m.in.: dokumentacja techniczna, analiza geologiczna, wymagania techniczno-technologiczne nakładane przez inwestora. Każda prognoza, dotycząca zwłaszcza ponoszonych kosztów i przyjętego harmonogramu działania, obarczona jest pewną dozą niepewności. Nie można bowiem wykluczyć zdarzeń, okoliczności czy sytuacji, które utrudnią w znaczący sposób lub uniemożliwią osiągnięcie jednego z czterech fundamentalnych celów projektu.

Ocena jakościowa pozwala na stosunkowo precyzyjną selekcję i hierarchizację ryzyka. Część ze zidentyfikowanych i ocenionych zagrożeń może zostać zaakceptowana bez dalszych działań, część wymaga monitorowania z czasowym zawieszeniem planowania i realizacji reakcji na ryzyko, w końcu część powinna być przedmiotem natychmiastowej dogłębnej analizy i przygoto-

wania realistycznej reakcji na ryzyko.

Na podstawie doświadczenia autora stworzono symulację rzeczywistego projektu wiertniczego. W zakresie dotkliwości skutków oraz prawdopodobieństwa wystąpienia wskazano na 50 potencjalnych czynników ryzyka oraz stworzono ich listę rankingową, wydzielając cztery poziomy tolerancji na ryzyko. Uzyskane wyniki będą stanowiły podstawę do planowania reakcji na niekorzystne zjawiska. W kolejnej, trzeciej części artykułu prześlędzone zostaną możliwe warianty ilościowej oceny ryzyka. Materiałami wyjściowymi do analizy ilościowej będą: zhierarchizowana lista ryzyk, dane historyczne pozyskane z projektów, opinie ekspertów i rezultaty pokrewnych procesów planowania. Zaprezentowane będą też możliwości wykorzystania takich technik i narzędzi, jak: ankiety, analizy wrażliwości, analiza drzew decyzyjnych oraz symulacje. ◀

Literatura

[1] Agerberg J.N.: Risk Management in Tendering Process. Chalmers University of Technology. Goteborg, 2012.
 [2] Duyvestyn G., Gelinias M.: Pushing the Limits. When Does It make Sense to Attempt a Longer and Larger HDD Installations. NASTT No-Dig Conference, Denver, 2015.
 [3] Europe Direct: Analiza ryzyka w projektach. Białystok, 2012.
 [4] Federation of European Risk Management Associations: Standard zarządzania ryzykiem. Bruksela, 2003.
 [5] Gibson M.: Risk Analysis Significantly Reduces Drilling Project Costs. Society of Petro-

leum Engineers, 2015.

[6] Kowalczyk M., Wrześniewski M.: Zarządzanie ryzykiem w projekcie. Mandarin Project Partners, 2011.
 [7] Keulen B.: Maximum Allowable Pressures During HDD Focused on Sand. Delft, 2001.
 [8] Kruse H.: Risk Reduction for Trenchless Technologies in Soft Soil Conditions. Delft, 2015.
 [9] Kruse H.: Risk During Pullback Operation of Horizontal Directional Drilling. Delft, 2008.
 [10] Moganti P.Y.: Safety Risks Investigation of Horizontal Directional Drilling Projects. Clemson University, 2016.
 [11] Onsarigo L.: Analysis of Horizontal Directional Drilling Construction Risks Using the Probability – Impact Model. Bowling Green State University, 2014.
 [12] Osbak M., Murray C.: The Economics of Risk Absorption and Risk Transfer Strategies in Horizontal Directional Drilling. NASTT No-Dig Conference. Sacramento, 2012.
 [13] Osikowicz R.: Koszty – Jakość – Ryzyko. Artykuł wygłoszony w trakcie III Seminarium Technicznego ROE w Krakowie. Grudzień, 2016.
 [14] Osikowicz R.: Zarządzanie jakością otworu wiertniczego. Inżynieria Bezwykopowa, 1/2015.
 [15] Osikowicz R.: Zamknięty obieg płuczki cz. I-IV Inżynieria Bezwykopowa, 1/2016, 2/2016, 3/2016, 4/2016.
 [16] Osikowicz R.: Zarządzanie ryzykiem w projektach wiertniczych. Część I – identyfikacja i kategoryzacja zagrożeń. Inżynieria Bezwykopowa, 1/2017.
 [17] Project Management Institute: Practice Standard for Project Risk Management. Pennsylvania, USA, 2009.
 [18] Patrick D.: Identifying Key Risks in Construction Projects. Life Cycle and Stakeholder Perspective. Sydney, 2009.
 [19] Peters B.: Can You See it Coming? Examine and Mitigation Common Causes of HDD Failures. NASTT No-Dig Conference, Orlando, 2014.
 [20] Risk Assessment. Statistics in Practice. John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2011.
 [21] Skorupka D., Kuchta D.: Zarządzanie ryzykiem w projekcie. Wrocław, 2012.
 [22] Staheli K.: Effectiveness of Hydrofracture Prediction for HDD Design. NASTT No-Dig Conference, Chicago, 2010.
 [23] Telfer B.: Determining the Optimum Level of Investigation for a Trenchless Installation Project. 2012.

Zarządzanie ryzykiem w projektach wiertniczych

CZĘŚĆ III: ILOŚCIOWA OCENA RYZYKA



Fot. Robert Osikowicz Engineering



Robert Osikowicz

(ur. 1966) absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Ponadto w kręgu jego zainteresowań znajdują się: analizy wykonalności, ryzyka, jakości i kosztów dla projektów bezwykopowych. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem branżowej organizacji wiertniczej Drilling Contractors Association (DCA-Europe).

Jak wynika z poprzednich części artykułu, analiza ryzyka składa się z kilku dających się zdefiniować etapów. Na etapie wstępnym należy przeanalizować cele techniczne projektu, otoczenie geologiczne i środowiskowe, ograniczenia prawne i ekonomiczne. Na etapie kolejnym, dokonując selekcji sprzętu i osprzętu wiertniczego, uzgadniamy cele oceny ryzyka i ustalamy osoby odpowiedzialne za proces zarządzania ryzykiem. Spółka wiertnicza może współpracować z konsultantami i ekspertami technicznymi w celu identyfikacji głównych obszarów ryzyka. Użytecznym

i bardzo popularnym elementem jest jego jakościowa ocena, która wyłania i selekcyjnie czynnikami, na jakie należy zwrócić uwagę przy aktywnym zarządzaniu procesem. Pozwala też na przygotowanie reakcji (procedur) na skutki ewentualnej materializacji czynników wyzwalających i zdarzeń będących późniejszą ich konsekwencją. Szacunkowe metody jakościowe nie uwzględniają liczbowego wyznaczenia poziomu ryzyka z wykorzystaniem technik probabilistycznych. Uzupełnieniem, a zarazem rozwinięciem analizy podstawowej, jest ilościowa ocena ryzyka QRA (*Quantitative*

Risk Analysis). Bazuje ona na ogół na rachunku prawdopodobieństwa i statystyce matematycznej.

Cel analizy ilościowej

Analiza ilościowa służy do liczbowej wyceny zarówno kosztów zajścia zdarzeń niekorzystnych, odnoszących się do pojedynczych aspektów projektu, jak też do jego całości. Wymiernej ocenie podlega prawdopodobieństwo zdarzenia i jego skutek. Dzięki takiemu podejściu możemy precyzyjnie określić wy-

Uzupełnieniem, a zarazem rozwinięciem analizy podstawowej, jest ilościowa ocena ryzyka QRA (*Quantitative Risk Analysis*). Bazuje ona na ogół na rachunku prawdopodobieństwa i statystyce matematycznej. Analiza ilościowa służy do liczbowej wyceny zarówno kosztów zajścia zdarzeń niekorzystnych, odnoszących się do pojedynczych aspektów projektu, jak też do jego całości. Analiza powinna służyć też do określenia prawdopodobieństwa osiągnięcia założonych celów projektu przy określonych kosztach operacyjnych i w przewidywanym horyzoncie czasowym

magany budżet projektu, w tym rezerwę na zdarzenia objęte rejestrem ryzyka. Analiza powinna służyć też do określenia prawdopodobieństwa osiągnięcia założonych celów projektu przy określonych kosztach operacyjnych i w przewidywanym horyzoncie czasowym. Ponadto skutkiem analizy jest uzyskanie wartości odchyień od zakładanego budżetu i czasu zakończenia realizacji inwestycji. Ilościowa ocena bazuje na doświadczeniu wynikającym z zakończonych powodzeniem lub porażką historycznych projektów. Chociaż projekty HDD (ang. Horizontal Directional Drilling) mogą różnić się znacząco pomiędzy sobą, to jednak przy odpowiednio dużej próbie (liczbie) udokumentowanych przypadków można wyselekcjonować takie techniki modelowania, aby uzyskać miarodajne wyniki oceny zdarzeń w kontekście ich wpływu ma czas trwania przedsięwzięcia i jego koszt.

Dane wejściowe do analizy

Dla przeprowadzenia analizy przydatne są m.in. następujące informacje: lista zidentyfikowanych ryzyk (rejestr), lista hierarchii ryzyk, opinie niezależnych ekspertów, dane historyczne (studia przypadków) obejmujące m.in. osiąganą wydajność tworzenia otworu, czas spędzony na spodzie otworu w stosunku do czasu całkowitego. Analiza ilościowa korzysta więc częściowo z analizy jakościowej, która najczęściej ją poprzedza. Przy analizie ilościowej istotne jest, aby jakość wprowadzonych danych, wyrażonych w postaci liczbowej, była wysoka i jak najbardziej pewna. Najlepiej jest, gdy dysponujemy odpowiednio dużą, jednorodną i wiarygodną próbą danych, tak by rezultat obliczeń był jak najbardziej precyzyjny, obarczony możliwie najmniejszym błędem.

Narzędzia dla przeprowadzenia analizy

Istnieje szereg potencjalnie użytecznych narzędzi do skutecznego przeprowadzenia analizy ilościowej. Należą do nich m.in.: analiza opłacalności (wrażliwości) projektu, ankiety wypełniane przez branżowych ekspertów i profesjonalnych uczestników projektu, analiza probabilistyczna, analiza drzew dycyzyjnych oraz mniej lub bardziej skomplikowane symulacje. Im bardziej skomplikowany projekt (proces wiertniczy), tym bardziej złożone instrumenty należy zastosować dla uzyskania precyzyjnego wyniku.

Zamierzone efekty analizy. Zalety i ograniczenia procesu

Projekty wiertnicze wymagają ustalenia hierarchii zmierzonych ilościowo ryzyk. Same listy ryzyk powinny być tworzone według określonych priorytetów. Dzięki takiej metodyce i przeprowadzeniu analizy probabilistycznej możemy tworzyć prognozy dotyczące kosztów, harmonogramu i możliwości osiągnięcia celów technicznych przedsięwzięcia. W ujęciu probabilistycznym istotne jest określenie dwóch podstawowych parametrów: wartości prawdopodobieństwa wystąpienia ryzyka oraz skorelowanej z nim wartości skutku. Ponadto popularne jest dzielenie zdarzenia na mniejsze części (etapy), które po analizie cząstkowej łączy się ponownie dla zrozumienia całego zdarzenia (ciągu zdarzeń). Skutki zostają przy tym określone przez ocenę skutków zdarzeń.

Istnieje szereg bezpośrednich i pośrednich korzyści wynikających z użycia ilościowych metod analizy QRA. Do najważniejszych należy zaliczyć to, że szacowane i osiągnane wyniki są możliwie najbardziej obiektywne i dzięki temu

możemy porównywać projekty pomiędzy sobą. Ponadto dzięki analizie otrzymujemy wynik wyrażony w pieniądzu (PLN, EUR, USD itd.), co ma niebagatelne znaczenie dla podejmowania decyzji finansowych. Za wadę metod ilościowych można uznać fakt, że stosowanie ich jest nieefektywne i mniej praktyczne, jeśli nie stosujemy odpowiednich aplikacji informatycznych i narzędzi statystycznych.

Metoda probabilistycznej oceny

Tradycyjnie do modelowania ryzyka komplikacji czy też awarii jest stosowany rachunek prawdopodobieństwa, w którym niezbędny jest statystycznie reprezentatywny zbiór danych o podobnych zdarzeniach w przeszłości. Niejednokrotnie w praktyce warunek ten nie może być spełniony. Odnosi się to zwłaszcza do projektów przekraczających dotychczas osiągnane granice. W takim przypadku stosowanie rachunku prawdopodobieństwa i jego rozkładów może prowadzić do niewiarygodnych lub nieprecyzyjnych wyników.

Metoda drzewa zdarzeń (ang. *Event Tree Analysis*, ETA) polega na ocenie danego skutku jako wyniku ciągu zdarzeń. Analizę rozpoczyna się od zdarzenia inicjującego, a następnie przedstawia wszystkie możliwe ciągi zdarzeń (podążających od przyczyn do skutków). Drzewo zdarzeń opisuje konsekwencje zdarzeń, obrazując postępujący proces od zdarzenia początkowego do zdarzenia końcowego. Szczególnie ważne jest uwzględnienie i wyodrębnienie momentów krytycznych dla stanu bezpieczeństwa procesu. ETA może występować w dwóch formach: jako analiza przed zaistnieniem awarii lub po zajściu awarii. Jak w większości analiz ilościowych, procedura

ETA składa się z kilku etapów: identyfikacji zdarzenia inicjującego, identyfikacji funkcji łagodzenia skutków zdarzenia, konstrukcji drzewa zdarzeń, opisu sytuacji wynikającej z sekwencji zdarzeń wywołujących komplikacje lub awarie. Drzewo zdarzeń jest graficznym zobrazowaniem rozwoju komplikacji technicznych w czasie. Prawdopodobieństwo komplikacji lub awarii otrzymuje się w wyniku iloczynu prawdopodobieństw wszystkich wyodrębnionych na drzewie zdarzeń.

Metoda drzewa błędów (ang. *Fault Tree Analysis*, FTA) analizuje zdarzenia w kierunku przeciwnym niż ETA. Bierzemy pod uwagę najpierw skutek i budujemy drzewo w kierunku zdarzeń poprzedzających. Jest to metoda dedukcyjna, która zmierza do identyfikacji i analizy czynników wywołujących zdarzenia niepożądane. Drzewo błędów wskazuje na współzależności pomiędzy zdarzeniem głównym (szczytowym) i przyczynami tego zdarzenia. Zidentyfikowane czynniki wywołujące problemy można zaliczyć do następujących grup: błędy ludzkie, awarie maszynowe, awarie związane z zastosowanym osprzętem, warunki geologiczno-środowiskowe, inne zdarzenia inicjujące. Graficzny obraz modelu przedstawia zależności przyczynowo-skutkowe, gdzie skutek jest przedstawiany jako ryzyko.

Dzięki metodzie FTA można ustalić źródła zagrożeń będących przyczynami powstania

Jednym z najważniejszych problemów jest wycena finansowa głównych i najbardziej dotkliwych ryzyk

awarii wiertniczych. Na te wyodrębnione błędy w procedurach i usterki techniczne firma wiertnicza powinna zwrócić szczególną uwagę i podjąć działania zmniejszające prawdopodobieństwo powstania głównej (krytycznej) awarii. Metoda FTA składa się z kilku charakterystycznych etapów: identyfikacja zdarzenia szczytowego, identyfikacja zdarzeń pośrednich (zdarzeń zagrażających), ustalenie struktury drzewa, w której dokonuje się powiązania zdarzeń pośrednich logicznymi bramkami wyboru, wyselekcjonowanie zdarzeń podstawowych (elementarnych) jako źródłowych dla zdarzenia szczytowego. Zdarzenia (usterki) najniższego poziomu są uznawane za czynniki determinujące powstanie zdarzenia szczytowego. To one powinny stać się przedmiotem szczegółowej analizy w celu podjęcia działań zapobiegawczych lub eliminujących ryzyko zdarzenia awaryjnego. Na podstawie oceny

zdarzeń pośrednich oblicza się prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia szczytowego.

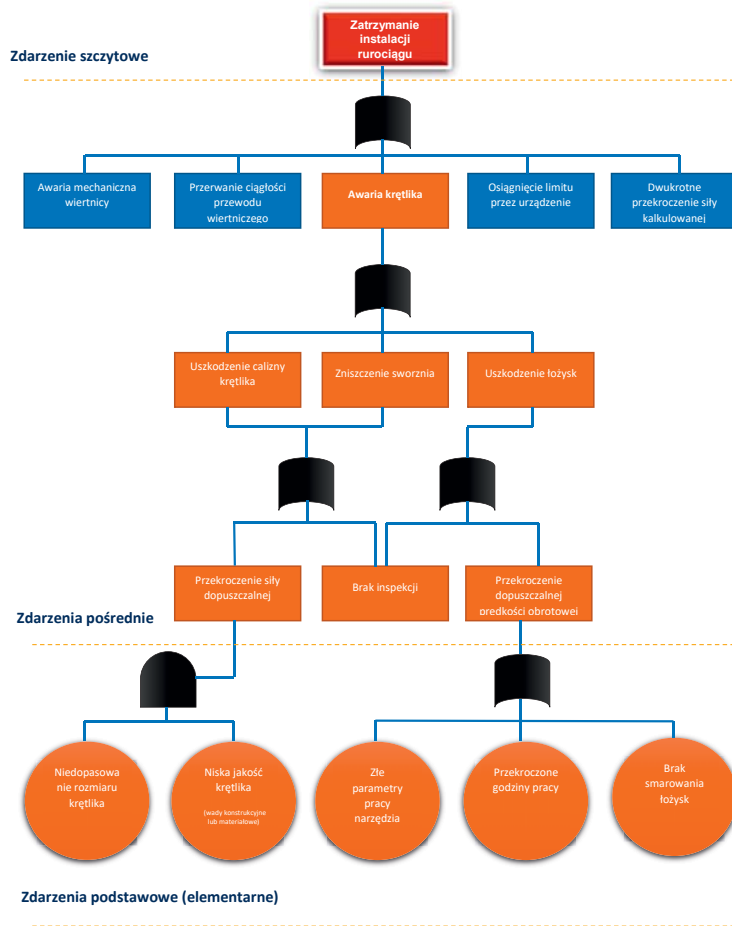
Metoda FTA służy do szacowania: częstości komplikacji i zdarzeń awaryjnych zarówno w obszarze sprzętu, jak i technologii. Ważnym aspektem analizy są potencjalne błędy ludzkie popełnione na etapie planowania i wykonawstwa. Brane są pod uwagę zdarzenia wynikające ze zmiennego środowiska geologicznego i naturalnych zjawisk przyrodniczych.

Działanie w ramach metody FTA polega kolejno na: określeniu zdarzenia szczytowego; ustaleniu struktury drzewa błędów; skonstruowaniu drzewa, w którym zdarzenia powiązane są logicznymi bramkami wyboru; określeniu typu i prawdopodobieństwa zdarzeń podstawowych i pośrednich; wyznaczeniu kombinacji zdarzeń pojedynczych, prowadzących w konsekwencji do wystąpienia zdarzenia szczytowego; wyznaczeniu prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia szczytowego.

Jak już wspomniano, poszczególne zdarzenia połączone są w schemacie za pomocą bramek logicznych. Bramka jest połączona z jednym zdarzeniem wyjściowym i jednym lub kilkoma zdarzeniami wejściowymi. W konstrukcji drzewa stosujemy bramki typu „LUB”, „I”, „NIE”. Dla bramki logicznej „LUB” prawdopodobieństwo zdarzenia wyjściowego ustalone jest jako suma prawdopodobieństwa zdarzeń wejściowych pomniejszona o ich iloczyn. Dla bramki logicznej „I” prawdopodobieństwo

Zdarzenie szczytowe	Zatrzymanie instalacji rurociągu metodą HDD				
Przyczyny główne	awaria maszynowa wiertnicy	przerwanie ciągłości przewodu wiertniczego	awaria krętlika	przekroczenie siły instalacyjnej możliwej do wywarcia przez urządzenie	przekroczenie dwukrotne siły kalkulowanej
Zdarzenia pośrednie	1) awaria układu mechanicznego 2) awaria układu hydraulicznego 3) awaria układu elektrycznego	1) przekroczenie dopuszczalnych naprężeń 2) bardzo wysoka siła ciągnięcia i moment obrotowy	1) przekroczenie dopuszczalnej siły osiowej 2) przekroczenie dopuszczalnej prędkości obrotowej przewodu	1) niedopasowanie urządzenia – brak rezerwy mocy (przyczyna złego wyboru) 2) nadmierne tarcie w otworze 3) przyklejenie rurociągu ciśnieniem różnicowym	1) niestabilny otwór 2) niewłaściwa trajektoria i geometria otworu 3) nieoczyszczony otwór 4) nieprawidłowe balastowanie rurociągu
Zdarzenia elementarne	1) niedopasowanie urządzenia 2) brak inspekcji urządzenia przed projektem 3) anomalnie wysokie obciążenia w zakresie sił osiowych i momentu obrotowego 4) udary i wibracje pochodzące od pracy przewodu wiertniczego i osprzętu wglębnego	1) brak inspekcji i aktualnej certyfikacji 2) brak historii przewodu (karty pracy na otworach) 3) deformacja – wyboczenie przewodu 4) wada materiałowa 5) przewód o niskiej jakości (poza kategorią premium) 6) niska jakość otworu	1) niedopasowanie rozmiaru krętlika do klasy instalacji 2) brak smarowania łożysk 3) niska jakość produktu (brak certyfikacji) 4) przekroczenie godzin pracy pomiędzy remontami 5) brak inspekcji technicznej	1) brak analizy Torque and Drag 2) brak zastosowanych współczynników bezpieczeństwa 3) niedopasowanie technologiczne 4) brak kompetencji w planowaniu projektów 5) brak wymaganego balastowania rurociągu	1) niewłaściwy program płuczkowy 2) niedopasowany system nawigacji 3) brak rozpoznania geologicznego 4) brak analizy technologicznej projektu 5) błędna konfiguracja BHA 6) niewystarczająca hydraulika otworowa

TAB. 1. Przykładowa analiza ryzyka FTA (przedstawiona lista zdarzeń ma charakter wyłącznie poglądowy)



LEGENDA

Symbol	Opis
	Analizowane zdarzenia szczytowe i pośrednie
	Bramka łącząca pojedyncze zdarzenia pośrednie ze zdarzeniem szczytowym. Zdarzenia muszą być prawdziwe i występować równocześnie (bramka logiczna "I")
	Bramka łącząca pojedyncze usterki ze zdarzeniem, które jest skutkiem przynajmniej jednego z nich (bramka logiczna "LUB")
	Zdarzenie podstawowe (elementarne), którego dalsza analiza jest niemożliwa – podstawowe źródło ryzyka

RYS.1. Graficzne drzewo błędów dla zdarzenia szczytowego – zatrzymanie instalacji rurociągu metodą HDD

zdarzenia wyjściowego jest iloczynem prawdopodobieństw zdarzeń wejściowych.

W tab. 1 przedstawiono analizę drzewa błędów dla zdarzenia szczytowego, jakim jest zatrzymanie rurociągu w trakcie instalacji HDD. Wskazano na pięć potencjalnych przyczyn głównych oraz na skojarzone z nimi zdarzenia pośrednie i potencjalne zdarzenia elementarne. Na etapie zdarzeń pośrednich i elementarnych może dochodzić do wzmacniania (łączenia się zdarzeń) lub osłabiania przyczyn i pośrednich skutków. Podobna analiza może zostać przeprowadzona dla każdego innego ciągu zdarzeń.

Na rys. 1 zaprezentowano drzewo błędów

przy założeniu, że przyczyną zatrzymania instalacji była awaria krętlika. Pozostałe potencjalne zdarzenia pośrednie zostały oznaczone kolorem niebieskim. Kolorem pomarańczowym oznaczono grupy zdarzeń pośrednich i podstawowych (elementarnych), których sekwencja mogła być przyczyną zdarzenia szczytowego. Należy zwrócić uwagę, że ilość poziomów zdarzeń poprzedzających zdarzenie szczytowe (awaryjne) zależy będzie od stopnia złożoności problemu. Na ogół jednak należy spodziewać się od dwóch do czterech poziomów połączonych bramkami logicznymi o znaczeniu objaśnionym w załączonej do drzewa błędów legendzie.

Metoda analizująca skutki potencjalnych błędów (ang. *Failure Mode and Effects Analysis*, FMEA) ocenia ryzyko (problem) pod kątem prawdopodobieństwa wystąpienia, możliwości jego niewykrucia oraz wpływu na przebieg robót wiertniczych. To jedna z metod, którą doświadczone firmy stosują w celu zapobiegania i niwelowania skutków wad, jakie potencjalnie mogą wystąpić w procesie konstrukcyjnym (budowa rurociągu metodą wiertniczą). FMEA to metoda analizowania potencjalnych problemów technicznych, oceny ich przyczyn i wypracowania wobec powyższego adekwatnych i skutecznych działań zapobiegawczych. Efektem dodatkowym może być opracowanie planu kontroli procesu wiertniczego, w którym określa się metody kierowania (nadzorowania) poszczególnymi etapami projektu.

Metoda Octave (ang. *Operationally Critical Threat, Asset and Vulnerability Evaluation*) polega na ocenie zasobów krytycznych, niezbędnych dla sprawnego i bezpiecznego przeprowadzenia projektu. W ramach analizy dokonuje się omówienia różnego rodzaju planów zabezpieczeń oraz określa się cele i strategię działania. Podnosi się też istotność wykrywania błędów i właściwego reagowania na incydenty oraz zdarzenia o charakterze ostrzegawczym. Wyróżnia się kilka etapów realizacji metody: analiza zasobów firmy wiertniczej, ocena aktualnych praktyk, identyfikacja luk technologicznych, wypracowanie strategii ochrony przed ryzykiem i planu postępowania wobec potencjalnych zdarzeń obarczonych niepewnością.

Metoda symulacyjna Monte Carlo

Bardzo popularna i powszechnie stosowana metoda wsparcia w ocenie ryzyka. Jest stosowana do modelowania procesów statystycznych zbyt złożonych, aby ich rezultaty były do ustalenia za pomocą podejścia analitycznego. Pozwala na określenie wartości najbardziej prawdopodobnych oraz skrajnych. Po przeprowadzeniu symulacji można stworzyć raport statystyczny dla wybranych zadań w harmonogramie. Kluczową rolę w metodzie odgrywa losowanie wielkości charakterystycznych dla procesu techniczno-technologicznego, przy czym dokonuje się go w oparciu o znany rozkład statystyczny.

Analiza Monte Carlo może pomóc wskazać, w ograniczanie których typów ryzyk należy naj-

Podstawowe parametry projektu		Sprzęt		Technologia (BHA)	
Typ przeszkody	rzeka (300 m szerokości)	wiertnica	2500 kN @ 90 kNm	wiercenie pilotowe	12 ¼" (311 mm) (jetting assembly)
Długość otworu Głębokość Promień krzywizny	700 m 32 m 1000 m	pompa płuczkowa	2500 l/min	poszerzanie I	FC 28" (711 mm)
Rurociąg HDI	stal 28" (711 mm) 19.600	system separacji	2500 l/min	poszerzanie II	FC 40" (1016 mm)
Średnica otworu Pojemność otworu	40" (1016 mm) 567 m³	przewód wiertniczy	6 5/8" (168 mm) FH	kalibracja	BR 40" (1016 mm)
Geologia	piasek 40% głina 40% ił 20%	nawigacja	Paratrack 2	instalacja	BR 32" (813 mm)
Budżet projektu: 1,9 mln zł Estymowane koszty wykonawcy: 1,4 mln zł przy zapisanym w kontrakcie czasie trwania Prognozowany zysk: 0,5 mln zł Zakładany koszt dzienny: 30 tys. zł na zmianę w trakcie wiercenia i 20 tys. zł na zmianę w trakcie mobilizacji i demobilizacji			Zapisany w kontrakcie czas trwania projektu: 40 zmian roboczych + 10 zmian na mobilizację i demobilizację		

TAB. 2. Parametry planowanego projektu

Typ projektu	Długość otworu	Średnica rurociągu	Wskaźnik trudności projektu HDI	Średnica otworu	Pojemność otworu	Główna formacja geologiczna	Czas trwania projektu (zmiany)	Wydajność wiercenia m³/godz.
Rzeka	750 m	stal DN500	15.000	26" (660 mm)	257 m³	piasek	11	2,00
Rzeka	900 m	stal DN500	18.000	28" (711 mm)	357 m³	ił	33	0,90
Tereny zielone	500 m	stal DN700	14.000	38" (965 mm)	366 m³	głina	25	1,20
Jezioro	550 m	stal DN700	15.400	40" (1016 mm)	446 m³	piasek	15	2,55
Droga	640 m	stal DN700	17.920	42" (1067 mm)	572 m³	głina	28	1,70
Tereny zielone	720 m	stal DN700	20.160	40" (1016 mm)	583 m³	ił	64	0,75
Rzeka	750 m	stal DN700	21.000	42" (1067 mm)	670 m³	głina	37	1,50
Rzeka	900 m	stal DN700	25.200	40" (1016 mm)	729 m³	piasek	27	2,30
Rzeka	520 m	stal DN800	16.000	44" (1118 mm)	510 m³	ił	53	0,80

TAB. 3. Dotychczasowe doświadczenie spółki wiertniczej

Rozkład statystyczny	Rurociągi DN500-800 (9 projektów)			Rurociągi DN700 (6 projektów)		
	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Wartość średnia
Piasek	2,00	2,55	2,28	2,30	2,55	2,42
Głina	1,20	1,70	1,47	1,20	1,70	1,47
İł	0,75	0,90	0,82	0,75	0,75	0,75
Wszystkie archiwalne projekty	0,75	2,55	1,52	0,75	2,55	1,66
Projekt aktualny 40% piasek 40% głina 20% İł	1,43	1,88	1,66	1,55	1,85	1,71

TAB. 4. Analiza wydajności wiercenia brutto w m³/godz.

Parametr	Spodziewany minimalny postęp	Spodziewany maksymalny postęp	Średni postęp
Wydajność wiercenia	1,43 m³/godz.	1,88 m³/godz.	1,71 m³/godz.
Pojemność otworu dla średnicy 40"	567 m³	567 m³	567 m³
Czas trwania projektu (bez mobilizacji i demobilizacji)	396 godz.	302 godz.	332 godz.
Ilość zmian roboczych	33 zmiany	26 zmian	28 zmian
Wiercenie pilotowe 54 m³	7	5	6
Poszerzanie I 224 m³	10	8	8,5
Poszerzanie II 289 m³	12	10	10,5
Kalibracja	3	2	2
Instalacja	1	1	1

TAB. 5. Prognozowany czas trwania planowanego projektu (bez mobilizacji i demobilizacji)

więcej zainwestować. Metoda pozwala na wyliczenie, o ile zwiększy się prawdopodobieństwo zamknięcia projektu w określonym terminie, jeśli ograniczymy lub wyeliminujemy dane ryzyko. Podobne symulacje można zastosować wobec problemu przekroczenia budżetu czy niedotrzymania wymaganej jakości. Powyżej wymienione symulacje mają jednak kilka słabości. Nie wiemy często, jakie ryzyka będą charakterystyczne dla przyszłego projektu i nie w pełni umiemy szacować zakres ich wpływu. Warto wiedzieć, że część ryzyk znosi się wzajemnie, a część potęguje i nie jest to proste sumowanie skutków (w obszarze harmonogramu i pieniędzy). Ponadto, nawet najlepsza identyfikacja i wycena ryzyka nie przyniesie właściwych korzyści, jeśli zarządzający projektem uznają, że ryzyko nie wystąpi i w związku z tym nie ma potrzeby się nim zajmować.

Metody oceny i symulacji a harmonogram projektu

W tab. 2–5 przedstawiono symulację związaną z planowanym przekroczeniem HDD na dystansie 700 m dla instalacji stalowego gazociągu DN700 o ścianie 17,5 mm. W celu przygotowania harmonogramu prac przeanalizowano dziewięć zakończonych powodzeniem projektów dotyczących instalacji rurociągów stalowych z zakresu średnic od DN500 do DN800. Przedział ten uznano za reprezentatywny dla estymacji nowego projektu. Również długości otworów zostały zaczerpnięte z przedziału od 500 do 900 m. Dla każdego z archiwalnych projektów ustalono dominującą formację geologiczną. Jak się okazało, po trzy otwory zostały wywiercone w piasku, glinie i ile. Przeanalizowano czas trwania z każdego projektów, wyrażając go w 12-godzinnych zmianach roboczych. Czas ten posłużył do wyznaczenia wydajności tworzenia otworu w m³ na każdą godzinę spędzoną przez załogę na wiertni. Czas wiertniczy nie zawiera przy tym czasu mobilizacji i demobilizacji związanego z każdym projektem.

Na podstawie przeprowadzonej analizy (tab. 3) ustalono, że średnia wydajność dla otworów wierconych w piasku wyniosła 2,28 m³/godz., w glinie 1,47 m³/godz., a w aktywnym ile zaledwie 0,82 m³/godz. Podobną rozpiętość wyników zauważono przy analizie projektów związanych tylko z instalacją rurociągów DN700. Oznacza to, że warunki geologiczne miały decydujący wpływ dla osiągniętej wydajności wierce-

nia i, co za tym idzie, na czas trwania projektu. Obserwowane podobieństwo pomiędzy projektami opiera się bardziej na geologii niż na geometrii instalowanego rurociągu.

W tab. 4 wskazano na spodziewane zakresy (przedziały) wydajności wiercenia. Ustalono też ponadto wartość średnią dla każdej z analizowanych formacji geologicznych. Z raportu geologicznego, przygotowanego dla nowego projektu, wydzielono proporcje pomiędzy sekcjami wierconymi w piasku (40% całkowitej długości otworu), w glinie (40%) oraz w ile (20%). Założono przy tym, że postęp wiercenia w poszczególnych sekcjach otworu będzie podobny, jak dla projektów historycznych, a użyte narzędzia wiertnicze

W przypadku bardzo skomplikowanych projektów potencjalne wystąpienie wielu kluczowych ryzyk może kosztować więcej niż założono w budżecie przedsięwzięcia

będą miały charakter uniwersalny i przydatny do drążenia otworu w formacjach mieszanych. Ze statystycznej analizy porównawczej wynika oczekiwana minimalna i maksymalna wydajność procesu dla planowanego projektu.

W tab. 5 dokonano estymacji czasu wiercenia i będącego jego konsekwencją harmonogramu. Wynikiem prowadzonych symulacji jest otrzymanie rozkładu prawdopodobieństwa dla całkowitego czasu realizacji przedsięwzięcia. Jak wynika z przedstawionych danych, czas wiercenia będzie zawierał się w przedziale od 26 do 33 zmian roboczych (12 godz.). Ustalono, że najbardziej prawdopodobny czas trwania projektu to 28 zmian. Wynika on ze średnich wydajności uzyskiwanych w projektach historycznych w trakcie sześciu instalacji rurociągów DN700. Symulacja pozostaje ważna przy założeniu zgromadzenia porównywalnych zasobów technicznych dla projektów zakończonych i planowanych oraz uniknięcia poważnych awarii trwających powyżej trzech zmian roboczych. Komplikacje techniczne, mające wpływ

na spowolnienie procesu o mniej niż jedną zmianę roboczą, zostały w kalkulowane w powyżej przedstawione szacunki. Istnieje ponadto domniemanie, że każdy kolejny projekt przynosi firmie doświadczenia mogące mieć wpływ na poprawę efektywności wiercenia.

Wartość graniczna optymistyczna wynosi 26 zmian, a więc różni się o 14 dni od wartości zakładanej w budżecie, czyli 40 zmian i jest to 65% zaplanowanego czasu trwania projektu wynikającego z kontraktu. Wartość graniczna pesymistyczna wynosi 33 zmiany, a więc różni się o siedem dni od wartości zakładanej, czyli 40 zmian i jest to 83% zaplanowanego czasu w harmonogramie projektu. Wartość z największym prawdopodobieństwem skorelowanym z wartością średnią uzyskiwaną dotąd w projektach klasy DN700 wynosi 28 zmian. Z powyższego wynika, że projekt został skalkulowany z rezerwą czasową wynoszącą w zależności od możliwego scenariusza od siedmiu do 14 dni. Oznacza to, że kontraktor może osiągnąć zysk większy od zakładanego. Opóźnienia o 24 dni w stosunku do scenariusza pesymistycznego mogą spowodować zredukowanie do zera zaplanowanego zysku. Większe opóźnienia mogą spowodować, że projekt zakończy się dla spółki wiertniczej stratą.

Jak już wcześniej wspomniano, przyczyny opóźnień mogą być złożone i zależą od wielu czynników (parametrów) procesu. Warto wspomnieć tutaj o błędach ludzkich jako o podstawowych zdarzeniach inicjujących wobec komplikacji i awarii. Do błędów ludzkich zaliczyć możemy: wadliwe planowanie, brak rozpoznania geologicznego, niewłaściwą selekcję sprzętu, nieskuteczną konfigurację osprzętu, brak programów technologicznych zgodnych ze standardami przemysłu, niedoskonałą logistykę, brak wymaganych kwalifikacji i kompetencji. Do zdarzeń losowych należeć będą niektóre typy awarii maszynowych i awarii wiertniczych wynikających z napotkania niezidentyfikowanych i trudnych do przewidzenia okoliczności. Również zdarzenia natury pogodowej, militarnej, prawnej i ekonomicznej nie są łatwe do przewidzenia na etapie analizy przedwstępnej projektu, tworzenia harmonogramu i jego wyceny.

Metody oceny i symulacji a koszt projektu

Z doświadczeń wielu spółek wiertniczych wynika, że jednym z najważniejszych proble-

Numer ryzyka	Zdarzenie Typ ryzyka	Kategoria ryzyka	Ocena jakościowa ryzyka według			Potencjalne opóźnienie robót wiertniczych [12 godz. zmiana robocza]
			prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia R1 (skala od 0 do 1)	wyceny dotkliwości zajścia zdarzenia R2 (zł)	wartości zdarzenia R1 x R2 (zł)	
1	osiadanie gruntu	geologiczne	0,15	20 000	3000	-
2	kolizja z dużymi naturalnymi obiektami (kamienie, głazy)		0,1	40 000	4000	-
3	niesprzyjające warunki pogodowe	środowiskowe	0,1	20 000	2000	-
4	brak możliwości zaopatrzenia w wodę w bliskiej okolicy		0,1	60 000	6000	1
5	kolizja z podziemną infrastrukturą	techniczne	0,02	200 000	4000	-
6	silne zakłócenia pracy systemów nawigacji w nurcie rzeki		0,15	40 000	6000	-
7	niski postęp wiercenia		0,2	300 000	60 000	2
8	utykanie (klinowanie się) narzędzi w otworze		0,1	50 000	5000	-
9	przechwycenie przewodu wiertniczego		0,05	200 000	10 000	1
10	rozkręcenie połączeń gwintowych pod ziemią		0,02	200 000	4000	-
11	przerwanie ciągłości przewodu wiertniczego (bez rozkręcenia połączenia gwintowego)		0,05	200 000	10 000	1
12	szczelinowanie hydrauliczne nadkładu		0,2	50 000	10 000	1
13	zanik prawidłowego obiegu płuczki (wglębny)		0,1	200 000	20 000	1
14	problemy z transportem zwiercin ilastych		0,2	50 000	10 000	1
15	niewłaściwa konfiguracja narzędzi (selekcja BHA)		0,1	50 000	5000	-
16	utrata otworu wiertniczego		0,01	500 000	5000	-
17	nadmierne siły instalacyjne		0,15	100 000	15 000	-
18	zatrzymanie rurociągu (zakleszczenie)		0,02	500 000	10 000	> 1
19	uszkodzenie izolacji rury stalowej		0,03	200 000	6000	-
20	uszkodzenie krętlika w trakcie instalacji		0,02	200 000	4000	> 1
21	oczekiwanie na dostawę (sprzętu lub materiałów)		0,1	30 000	3000	1
22	istotna awaria wiertnicy	0,1	150 000	15 000	1	
23	uszkodzenie wałów przeciwpowodziowych	0,05	200 000	10 000	-	
24	wysokie koszty utylizacji odpadów wiertniczych	ekonomiczne	0,1	50 000	5000	-
25	premia za przyspieszenie procesu wiertniczego o 10 dni		0,3	- 200 000	- 60 000	
Razem				3 410 000	172 000	12
% zakontraktowanego budżetu				179%	9%	
Ocena ryzyka pod względem potencjalnej dotkliwości finansowej		niskie do 5000 zł	umiarkowane > 5000 < 10 000 zł	średnie >10 000 < 20 000 zł	wysokie >20 000 <50 000 zł	bardzo wysokie > 50 000 zł

TAB. 6. Ocena ryzyka według metody ilościowej QRA. Pokazany przykład ma charakter wyłącznie poglądowy

mów jest wycena finansowa głównych i najbardziej dotkliwych ryzyk. Jedne ryzyka mogą mieć istotny wpływ na budżet projektu, inne na harmonogram i potencjalne opóźnienia. Straty spółki mogą wynikać nie tylko z ponoszonych kosztów operacyjnych (wynikających z utrzymania zasobów materialnych i ludzkich) na skutek przeciągającego się w czasie projektu, ale też z kar umownych za opóźnienia, jakie mogły zostać zapisane w kontrakcie na wykonanie robót wiertniczych. W takim przypadku należy podjąć się analizy wpływu poszczególnych ryzyk na budżet projektu, zakładając, że ewentualne opóźnienia są łatwo przeliczalne na konieczne dodatkowe do poniesienia wydatki.

Założmy, że w projekcie zidentyfikowano 26 ryzyk (tab. 6), w tym 25 zagrożeń i jedną szansę. Dla każdego zdarzenia ryzykownego określono prawdopodobieństwo i dotkliwość finansową. Dla szansy ujemna wartość oznacza mniejsze koszty projektu. Dla niektórych ryzyk wskazano możliwe opóźnienia, o ile wynoszą one co najmniej jedną zmianę roboczą. Wartość oczekiwana ryzyka jest sumą kwot wszystkich zidentyfikowanych ryzyk w projekcie. W naszym przykładzie wynosi 172 tys. zł. Jest to zarazem najprostszy sposób na wyliczenie budżetu rezerwowego dla ryzyka projektu. W niektórych przypadkach można go nazwać rezerwą na zdarzenia nadzwyczajne.

Można zauważyć, że jeśli zmaterializuje się tylko jedno z najpoważniejszych ryzyk, to kwota budżetu rezerwowego zostanie przekroczona (będzie niewystarczająca). W przypadku bardzo skomplikowanych projektów potencjalne wystąpienie wielu kluczowych ryzyk może kosztować więcej niż założono w budżecie przedsięwzięcia. Dlatego raz jeszcze warto podkreślić, że identyfikacja ryzyka, jego ocena jakościowa i ilościowa to zaledwie wstęp do kolejnego etapu zarządzania, jakim jest planowanie reakcji na ryzyko i realne działanie przeciwdziałające powstawaniu niekorzystnych zdarzeń i zjawisk (o tym będziemy mówić jednak w czwartej części naszego cyklu).

Podsumowanie

Z dotychczasowych rozważań wynika, że zarządzanie ryzykiem w procesie HDD to zaplanowane i skoordynowane działania nakierowane na przygotowanie procedur i praktyk w zakresie definiowania, identyfikacji, oceny, analizy i monitorowania najistotniejszych zagrożeń. Celem podstawowym jest nie tylko zidentyfikowanie

Identyfikacja ryzyka, jego ocena jakościowa i ilościowa to zaledwie wstęp do kolejnego etapu zarządzania, jakim jest planowanie reakcji na ryzyko i realne działanie przeciwdziałające powstawaniu niekorzystnych zdarzeń i zjawisk

kluczowych czynników ryzyka, ale też określenie priorytetów postępowania. Efektem zarządzania będzie obniżenie do akceptowalnego poziomu prawdopodobieństwa zaistnienia czynników ryzyka, a w razie jego wystąpienia przygotowanie się na skutki. Zarówno ilościowa, jak i jakościowa metoda wyznaczania miary ryzyka są poprawne i od oceny projektanta lub spółki wiertniczej zależy, która z nich zostanie zastosowana dla oceny konkretnego zadania. Należy uznać, że obie te metody wzajemnie uzupełniają się, tworząc pewną całość w procesie zarządzania ryzykiem projektu wiertniczego. <

Literatura

- [1] Agerberg J.N.: Risk Management in Tendering Process. Chalmers University of Technology, Goteborg, 2012.
- [2] Duyvestyn G., Gelinias M.: Pushing the Limits. When Does It make Sense to Attempt a Longer and Larger HDD Installations, NASTT No-Dig Conference, Denver, 2015.
- [3] Federation of European Risk Management Associations: Standard zarządzania ryzykiem, Bruksela, 2003.
- [4] Gibson M.: Risk Analysis Significantly Reduces Drilling Project Costs. Society of Petroleum Engineers, 2015.
- [5] Kowalczyk M., Wrześniewski M.: Zarządzanie ryzykiem w projekcie. Mandarin Project Partners, 2011.
- [6] Keulen B.: Maximum Allowable Pressures During HDD Focused on Sand, Delft, 2001.
- [7] Kruse H.: Risk Reduction for Trenchless Technologies in Soft Soil Conditions, Delft, 2015.
- [8] Kruse H.: Risk During Pullback Operation of Horizontal Directional Drilling, Delft, 2008.
- [9] Moganti P. Y.: Safety Risks Investigation of Horizontal Directional Drilling Projects, Clemson University, 2016.
- [10] Murray C.D., Osbak M.: Horizontal Directional Drilling—Construction Risk Management Strategies. Pipelines, 2013.
- [11] Onsarigo L.: Analysis of Horizontal Directional Drilling Construction Risks Using the Probability—Impact Model. Bowling Green State University, 2014.
- [12] Osbak M., Murray C.: The Economics of Risk Absorption and Risk Transfer Strategies in Horizontal Directional Drilling, NASTT No-Dig Conference, Sacramento, 2012.
- [13] Osikowicz R.: Koszty – Jakość – Ryzyko. Artykuł wygłoszony w trakcie III Seminarium Technicznego ROE w Krakowie, grudzień 2016.
- [14] Osikowicz R.: Zarządzanie jakością otworu wiertniczego, Inżynieria Bezwykopowa, 1/2015.
- [15] Osikowicz R.: Zamknięty obieg płuczkowy cz. I-IV, Inżynieria Bezwykopowa, 1/2016, 2/2016, 3/2016, 4/2016.
- [16] Osikowicz R.: Zarządzanie ryzykiem w projektach wiertniczych. Część I – identyfikacja i kategoryzacja zagrożeń, Inżynieria Bezwykopowa, 1/2017.
- [17] Osikowicz R.: Zarządzanie ryzykiem w projektach wiertniczych. Część II – Jakościowa analiza ryzyka, Inżynieria Bezwykopowa, 2/2017.
- [18] Patrick D.: Identifying Key Risks in Construction Projects. Life Cycle and Stakeholder Perspective, Sydney, 2009.
- [19] Peters B.: Can You See it Coming? Examine and Mitigation Common Causes of HDD Failures, NASTT No-Dig Conference, Orlando, 2014.
- [20] Project Management Institute: Practice Standard for Project Risk Management, Pennsylvania, USA, 2009.
- [21] Risk Assessment. Statistics in Practice. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2011.
- [22] Staheli K.: Effectiveness of Hydrofracture Prediction for HDD Design. NASTT No-Dig Conference, Chicago, 2010.
- [23] Telfer B.: Determining the Optimum Level of Investigation for a Trenchless Installation Project, 2012.
- [24] Wikipedia

Fot. Robert Osikowicz Engineering

Zarządzanie ryzykiem w projektach wiertniczych

CZĘŚĆ IV: PLANOWANIE I WDRAŻANIE REAKCJI NA RYZYKO

W aktywnym zarządzaniu procesem wiertniczym wykorzystuje się dane wynikające z identyfikacji i oceny ryzyka. Opisane w trzech pierwszych częściach artykułu metody postępowania pozwalają na przygotowanie planu reagowania na skutki ewentualnej materializacji czynników wyzwalających i zdarzeń będących późniejszą ich konsekwencją. W planie zarządzania ryzykiem projektu powinny znaleźć się m.in.: określenie stopnia komplikacji zadania pod kątem ryzyka, uszeregowana według wybranego priorytetu lista zdiagnozowanych i zmierzonych ilościowo ryzyk, oszacowanie prawdopodobieństwa osiągnięcia celów w postaci budżetu i harmonogramu



Robert Osikowicz

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Ponadto w kręgu zainteresowań autora znajdują się: analizy wykonalności, ryzyka, jakości i kosztów dla projektów bezwykopowych. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem branżowej organizacji wiertniczej DCA-Europe.

Z procesu planowania reakcji na ryzyko powinny wynikać zarówno działania zmniejszające zagrożenia, jak i zwiększające szanse. Częścią centralną planu jest opis najodpowiedniejszych dla danego typu projektu metod reakcji, wskazanie progów ryzyka oraz podmiotów będących jego dysponentami. Szczegółowa analiza pozwala na ustalenie niezbędnych rezerw po stronie czasu i kosztu, ustalenie poziomu ryzyka rezydualnego i ryzyka wtórnego, jakie mogą zaistnieć po wdrożeniu działań przewidzianych w planie.

Możliwe reakcje na ryzyko

Istnieje kilka (w tym wypadku wskazujemy siedem) instrumentów, którymi dysponują menedżerowie projektu, aby utrzymać poziom globalnego ryzyka na bezpiecznym poziomie. Powinny się one znaleźć w skonstruowanym planie reakcji na określony i przedłożony rejestr ryzyk. Przygotowanie określonych reakcji powierza się kierownictwu projektu. Wybiera się je spośród takich, które maksymalizują szanse i ograniczają do poziomu akceptowalnego zagrożenia.

Reakcja nr 1 – unikanie ryzyka (wykluczanie możliwych przyczyn)

Jest to metoda postępowania mająca na celu wyeliminowanie danego ryzyka (lub jego przyczyn) dla ochrony celów strategicznych projektu. Unikanie to doprowadzenie w praktyce do sytuacji, w której dany czynnik inicjujący ryzyko nie ma możliwości wystąpić. Istnieje wiele możliwości oddziaływania w ramach tej metody: zwiększenie ilości informacji niezbędnych do realizacji zadania (np. szczegółowe analizy geologiczne), doprecyzowanie wymagań i standardów technicznych, usprawnienie komunikacji w ramach spółki wiertniczej, jak i pomiędzy stronami procesu inwestycyjnego. Strony umowy mogą wprowadzić alternatywne sposoby działania, nienaruszające zakresu przedmiotowego projektu, aby wyeliminować te obciążone najwyższym ryzykiem. Ponadto można optować za sprawdzonymi i dobrze zaplanowanymi procedurami wiertniczymi oraz wybierać renomowanych wykonawców o udokumentowanych referencjach. Wszystkie opisane powyżej sposoby unikania ryzyka (podnoszenia jakości) będą nas kosztować.

Reakcja nr 2 – przeniesienie (transfer) skutków wystąpienia ryzyka

Jest to metoda, której celem nie jest usunięcie z przestrzeni projektu potencjalnego zagrożenia, ale przeniesienie całej lub częściowej odpowiedzialności za przygotowanie adekwatnego działania na inny podmiot (na stronę trzecią). Innymi słowy, zarządzanie określonym ryzykiem przekazane jest lepiej przygotowanej do tego celu firmie (np. spółce serwisowej lub innemu podwykonawcy). Włączenie do realizacji projektu specjalistycznych podmiotów zewnętrznych w celu ograniczenia i/lub rozłożenia ryzyka jest jedną z częściej spotykanych metod postępowania. Koszt transferu ryzyka ujmowany jest w budżecie projektu. Instrumentami stosowanymi do przeniesienia odpowiedzialności są m.in. kontrakty, ubezpieczenia i gwarancje.

Reakcja nr 3 – podział ryzyka

Stosunkowo popularna metoda, zakładająca podział danego ryzyka pomiędzy partnerów realizujących projekt. Przykładem może być rozłożenie ryzyka pomiędzy generalnym wykonawcą a spółką wiertniczą czy pomiędzy podmiotami biorącymi udział w konsorcjum wykonawczym. Partnerzy mogą dzielić pomiędzy siebie grupy ryzyk, ale też poszczególne ryzyka, biorąc za nie wzajemną odpowiedzialność.

Reakcja nr 4 – łagodzenie ryzyka (kontrolowanie, ograniczanie i wprowadzanie środków zaradczych)

Metoda ma na celu zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia negatywnego i/lub konsekwencji jego zajścia do poziomu uznanego za akceptowalny. Rekomenduje się przy tym, aby działania prewencyjne (zaradcze) były wdrażane na możliwie wczesnym etapie projektu. Ma to na celu niedopuszczenie do wystąpienia sytuacji skomplikowanych, awaryjnych czy krytycznych z punktu widzenia powodzenia głównych celów projektu. Pragmatyczne podejście do problemu wynika z analizy kosztowej: zapobieganie zdarzeniu jest po prostu znacznie tańsze niż ponoszenie kosztów wynikających z likwidacji skutków szkody (awarii). Ponadto warto mieć na uwadze, że niektóre awarie

mogą mieć charakter nieodwracalny, a naprawienie sytuacji może okazać się niemożliwe. Planowany poziom kosztów związanych z łagodzeniem poszczególnych ryzyk wynika z określonego w planie zarządzania ryzykiem wartości iloczynu prawdopodobieństwa i wyceny skutku. Podobnie jak w przypadku transferu ryzyka, także koszty łagodzenia zdarzeń ujmowane są w budżecie projektu.

Reakcja nr 5 – akceptacja ryzyka (pogodzenie się z ryzykiem)

Istotą tej strategii jest niewprowadzanie zmian w planach realizacji projektu. Decyzja taka może wynikać z faktu, że dane ryzyko nie jest oceniane jako specjalnie dotkliwe (lub jest mało prawdopodobne). Może także oznaczać, że w przypadku zidentyfikowanego ryzyka nie znaleziono odpowiedniej i skutecznej strategii reakcji wobec zagrożenia. W analizie przedmiotu wyróżnia się przy tym akceptację aktywną – na wypadek wystąpienia zdarzenia gotowy jest plan awaryjny, określający szczegółowo sposób postępowania, i jest on częścią planu zarządzania ryzykiem. Niejako w opozycji do niej sytuuje się akceptacja bierna – zakłada ona, że dopiero w momencie materializacji ryzyka zespół zarządzający projektem opracuje i wdroży plan adekwatny do zaistniałych zdarzeń i ich skutków.

Reakcja nr 6 – plan rezerwowy

Jest to opracowany zestaw działań, jakie należy wdrożyć, jeśli nie zostanie osiągnięty jeden lub kilka ze strategicznych celów projektu: cel techniczno-technologiczny, harmonogram, budżet. Plan taki należy przygotować na wypadek poważnych komplikacji technicznych lub zdarzeń awaryjnych. Brak takiego planu może skutkować chaosem kompetencyjnym i organizacyjnym w przypadku zmaterializowania się najgroźniejszych ryzyk. Alternatywne plany tworzy się także na wypadek, gdyby środowisko wokół projektu się zmieniło lub gdyby wyznaczone na początku cele okazały się zbyt trudne do osiągnięcia. Niektóre procesy mogą mieć charakter bardzo dynamiczny, oczywiste jest więc, że nie da się ich w pełni kontrolować, jednak należy stosować narzędzia i mechanizmy pozwalające na śledzenie zmian i wprowadzanie stosownych korekt w optymalnym czasie.

Reakcja nr 7 – wycofanie (rezygnacja)

Jest to strategia, którą można dopuścić w wstępnej fazie projektu. Można ją łączyć z przygotowaniem analizy wykonalności (projektant) lub planu wykonalności (spółka wiertnicza). Na tym etapie można zweryfikować, czy projekt ma szansę powodzenia (rezultat może spełnić założone wymagania klienta). Na ogół założenia techniczne (cel przedsięwzięcia) pozostają w ścisłej korelacji z takimi parametrami, jak budżet i harmonogram. Jeżeli przeprowadzona symulacja nie wskazuje na wysokie prawdopodobieństwo osiągnięcia celów strategicznych, projekt powinien zostać odroczone lub na nowo przeanalizowany. Zaplanowane modyfikacje odnoszą się na ogół do wymaganego czasu, jak i zasobów finansowych, które klient powinien zgromadzić. Może się też okazać, że inny wykonawca dysponujący nowocześniejszą technologią i większymi środkami będzie w stanie podjąć się zadania, z którego wycofała się pierwotna firma.

Jak wybierać właściwą reakcję?

Reakcja podmiotu realizującego zadanie będzie w praktyce uzależniona od poziomu zidentyfikowanego ryzyka i stopnia jego dotkliwości. Zdarzenia obarczone wysokim poziomem ryzyka wymagają przygotowania najobszerniejszych i kosztownych planów. Unikanie lub przeniesienie ryzyka będzie więc adekwatnym działaniem. Dla pozycji o średnim poziomie dotkliwości można spróbować stosować mniej skomplikowane, ale też tańsze metody oddziaływania: łagodzenie lub redukcję prawdopodobieństwa. Spotykane jest także wykorzystanie strategii podziału (współdzielenia wysokiego i średniego ryzyka). Partnerem w tym wypadku może być firma ubezpieczeniowa, partner w konsorcjum lub podwykonawca. Wybór kompetentnego partnera technicznego o nieopozłakowanej opinii może być dobrym sposobem nie tylko na ob-

niżenie prawdopodobieństwa materializacji zdarzeń negatywnych, ale, co nie mniej ważne, na zwiększenie prawdopodobieństwa wykorzystania szans (zdarzeń korzystnych). Selekcja partnerów na etapie wstępnym (przed rozpoczęciem projektu) pozwala na spełnienie wymogów kompetencyjnych, których sama spółka wiertnicza może nie posiadać. Chodzi tutaj nie tylko o dzielenie się referencjami, ale o realne wsparcie techniczne (sprzęt i know-how) w trakcie realizacji projektu. Dla najmniej wycenianych ryzyk powszechną strategią jest ich akceptacja. Jeśli zaistnieją, ponosimy ich skutki finansowe. Akceptacja ryzyka (pogodzenie się z prawdopodobieństwem jego materializacji) nie powinna być podstawową reakcją na ryzyka zajmujące najwyższe pozycje w rejestrze (rankingu), a jeśli już, to powinna być to akceptacja aktywna, zakładająca szczegółowy plan **działania na wypadek** i wykorzystująca przygotowane na tę okoliczność rezerwy budżetowe.

Lp.	Ryzyko	Reakcja	Typ reakcji
1	Brak rozpoznania geologicznego	zlecenie adekwatnych badań geologicznych ubezpieczenie od zdarzeń wywołanych warunkami geologicznymi umowa z generalnym wykonawcą lub inwestorem założenie wariantu pesymistycznego w trakcie planowania mobilizacja szerokiego spektrum narzędzi wglębnych wariantowe przygotowanie programów technologicznych badanie próbek okruchowych transportowanych przez płyn wiertniczy tworzenie rezerwy budżetowej i korekt harmonogramu	unikanie przeniesienie podział akceptacja łagodzenie łagodzenie łagodzenie plan rezerwowy
2	Szczelinowanie hydrauliczne nadkładu	analiza ciśnień dopuszczalnych i potencjalnych ciśnień dennych na etapie planowania przygotowanie prawidłowego programu płuczkowego zatrudnienie doświadczonego serwisu płuczkowego zastosowanie pomiaru APWD na etapie fazy wiercenia pilotowego kontrola zachowania fazy stałej i monitorowanie lepkości właściwe procedury wiertnicze uszczelnianie ściany otworu marszowanie w otworze w celu mechanicznego oczyszczenia ujmowanie płuczki w punkcie ekshalacji powierzchniowej	unikanie unikanie przeniesienie łagodzenie łagodzenie łagodzenie akceptacja akceptacja plan rezerwowy
3	Kolizja z infrastrukturą podziemną	dokładna analiza i weryfikacja posiadanych dokumentów i zasobów zwiększenie dystansu projektowanej trajektorii do udokumentowanej infrastruktury odkrycie instalacji w celu potwierdzenia położenia zatrudnienie specjalistycznego serwisu kierunkowego umowa z generalnym wykonawcą lub inwestorem dokładny, niewrażliwy na zakłócenia system nawigacji zmiana trajektorii na skutek zaistnienia kolizji – zmiany w projekcie naprawa uszkodzonej infrastruktury podziemnej	unikanie unikanie unikanie przeniesienie podział łagodzenie akceptacja plan rezerwowy
4	Odstępstwa od założonej trajektorii	weryfikacja założeń projektowych w kontekście geologii i planowanej technologii zatrudnienie doświadczonego inżyniera kierunkowego zatrudnienie doświadczonego wiertacza zastosowanie dokładnego systemu nawigacji właściwa konfiguracja BHA (motor) korekta założeń projektowych wykonanie odejścia z pierwotnego otworu (side track)	unikanie przeniesienie przeniesienie łagodzenie łagodzenie akceptacja plan rezerwowy

TAB. 1. Zestawienie 10 wybranych potencjalnych kluczowych ryzyk. Wskazano na możliwe typy reakcji na ryzyko (przedstawione przykłady mają charakter wyłącznie poglądowy)

Lp.	Ryzyko	Reakcja	Typ reakcji
5	Przerwanie ciągłości przewodu wiertniczego	selekcja przewodu według geometrii, klasy i materiału aktualna inspekcja i certyfikacja elementów przewodu według standardów API wysokie kwalifikacje personelu ubezpieczenie firmy od zdarzeń awaryjnych eksploatacja przewodu poniżej obciążeń dopuszczalnych planowanie trajektorii o długich promieniach krzywizny stosowanie prawidłowych procedur eksploatacyjnych obserwacja tendencji zmian parametrów mechanicznych (T&D) unikanie procedury PUSH (pchania narzędzi) w otworze o dużej średnicy szczegółowe rozpoznanie geologiczne	unikanie unikanie unikanie przeniesienie łagodzenie łagodzenie łagodzenie łagodzenie łagodzenie
6	Niski postęp wiercenia	właściwy dobór urządzenia wiertniczego właściwy dobór techniki wiercenia (motor) właściwy dobór typu narzędzi właściwy dobór parametrów pracy narzędzi (nacisk, obroty, przepływ płuczki) rejestrowanie czasu pracy narzędzia w kontekście jego limitów rozpoznanie parametrów i cech formacji geologicznej wycofanie z otworu i zmiana narzędzia tworzenie rezerwy budżetowej i korekt harmonogramu	unikanie unikanie unikanie unikanie akceptacja łagodzenie plan rezerwowy plan rezerwowy
7	Utykanie narzędzi wiertniczych	zmobilizowanie adekwatnego sprzętu do klasy przekroczenia i warunków geologicznych właściwa konfiguracja BHA zmobilizowanie drugiej wiertnicy przed wystąpieniem komplikacji stosowanie adekwatnej do wymagań hydrauliki otworowej stosowanie optymalnego postępu wiercenia bieżąca kontrola jakości otworu obserwowanie tendencji T&D – wycofanie narzędzi przy rejestrowanych wysokich obciążeniach na przewodzie zmobilizowanie drugiej wiertnicy po wystąpieniu komplikacji	unikanie unikanie unikanie łagodzenie łagodzenie łagodzenie akceptacja plan rezerwowy
8	Wysokie obciążenia instalacyjne	prawidłowy dobór urządzenia wiertniczego do klasy instalacji kontrola jakości otworu wiertniczego prawidłowe procedury dotyczące balastowania kontrola trajektorii otworu stosowanie marszy czyszcząco-kalibracyjnych prowadzenie bilansu masy i bilansu objętości mechaniczne usuwanie z otworu kamieni o znacznych rozmiarach stosowanie środków obniżających poziom tarcia posuwistego wykonanie prawidłowego overbendu zastosowanie stacji pchającej po stronie rurociągowej wycofanie rurociągu z otworu przed ukończeniem instalacji zastosowanie większego urządzenia wiertniczego	unikanie unikanie unikanie unikanie łagodzenie łagodzenie łagodzenie łagodzenie łagodzenie plan rezerwowy akceptacja plan rezerwowy
9	Uszkodzenie (deformacja) rurociągu z HDPE	prawidłowe określenie warunków zabudowy (długość, głębokość) kontrola jakości otworu wiertniczego wdrożenie procedury balastowania rurociągu prawidłowy dobór grubości ścianki materiału monitoring sił instalacyjnych monitoring jakości cyrkulacji w otworze monitoring dopuszczalnego ciśnienia różnicowego w trakcie instalacji wycofanie rurociągu z otworu przed wystąpieniem deformacji	unikanie unikanie unikanie łagodzenie łagodzenie łagodzenie łagodzenie plan rezerwowy
10	Wypadki personelu na budowie	prawidłowe zaplanowanie placu budowy (nawierzchnia, rozplanowanie sprzętu, oświetlenie) stosowanie skutecznych środków ochrony osobistej angażowanie doświadczonego personelu prawidłowe i bezpieczne środki komunikacji pomiędzy członkami załóg utrzymywanie sprzętu w dobrej kondycji ubezpieczenie personelu od zdarzeń losowych i wypadków w pracy stosowanie barier ochronnych przy wykopach i zbiornikach płuczkowych przeprowadzenie okresowych badań zdolności do pracy w warunkach projektu wiertniczego okresowe szkolenia w zakresie instrukcji stanowiskowych okresowe szkolenia BHP obecność przeszkolonych ratowników na wiertni dostęp do profesjonalnej pomocy medycznej	unikanie unikanie unikanie unikanie unikanie przeniesienie łagodzenie łagodzenie łagodzenie łagodzenie akceptacja plan rezerwowy

TAB. 1. cd. Zestawienie 10 wybranych potencjalnych kluczowych ryzyk. Wskazano na możliwe typy reakcji na ryzyko (przedstawione przykłady mają charakter wyłącznie poglądowy)

Dobry plan jest najważniejszy

Dokument w formie pisemnej powinien zawierać, oprócz rejestru najważniejszych ryzyk, poddanych uprzednio analizie jakościowej i ilościowej, także wyselekcjonowanie metody postępowania z ryzykiem. Czasem będzie to jedna z siedmiu opisanych w poprzednim rozdziale reakcji, czasem rekomendacja będzie bardziej złożona. W planie powinny zostać określone role i obowiązki poszczególnych członków zespołu realizującego projekt. Aktywność zespołu koncentruje się na działaniach zapobiegawczych. Ponadto do kompetencji tej grupy fachowców należy śledzenie rozpoznanych ryzyk, bieżące opracowywanie odpowiedzi na ryzyko, w tym ustalanie planów awaryjnych oraz monitorowanie i kontrola zmieniających się czynników ryzyka. Dynamika procesu wiertniczego jest wyższa niż w innych działach przemysłu konstrukcyjnego. Stąd często potrzebna jest specjalistyczna, ekspercka wiedza służąca do rozwiązywania specyficznych problemów technicznych. Bez zaangażowania osób o niekwestionowanych kompetencjach w zakresie realizacji tego typu zadań rozwiązywanie problemów może okazać się niemożliwe albo bardzo kosztowne.

Monitorowanie i kontrola wdrożonego planu

Każdy, nawet najlepszy plan wymaga okresowego przeglądu i weryfikacji, czy działania przebiegają prawidłowo i zgodnie z intencją menedżera projektu. Przeglądowi i kontroli podlegają m.in. wdrożone strategie reakcji na ryzyko, procedury, zalecenia i rezultaty, jakie przyniosą one dla samego projektu. Nie jest wykluczone, że będzie konieczne opracowanie nowych strategii postępowania wobec niektórych zidentyfikowanych pierwotnie ryzyk, jeśli dotychczas zastosowane zawiodą. Może się też okazać, że pojawiły się nowe, wcześniej nieujawnione ryzyka. Ryzyko występuje na każdym etapie realizacji projektu wiertniczego, ale jego negatywne czynniki stwarzają większe niebezpieczeństwo pod koniec przedsięwzięcia.

Do najbardziej powszechnych instrumentów weryfikujących należą audyty reakcji na ryzyko. Na podstawie regularnych przeglądów formułuje się zalecenia co do działań

korygujących, żądania dokonania mniej lub bardziej istotnych zmian w sposobie realizacji projektu. Badana jest tworzona na bieżąco dokumentacja techniczna projektu, analizuje się trendy rejestrowanych parametrów technicznych, w końcu oceniana jest skuteczność dotychczasowych działań w kontekście harmonogramu i budżetu.

Istnieje kilka instrumentów, którymi dysponują menedżerowie projektu, aby utrzymać poziom globalnego ryzyka na bezpiecznym poziomie. Powinny się one znaleźć w skonstruowanym planie reakcji na określony i przedłożony rejestr ryzyk

Przedmiotem analizy będzie ocena ogólnego postępu prowadzonych prac w kontekście planów podstawowych (bazowych). Im większe rejestrowane odchylenia od pierwotnych założeń projektowych, tym większe niebezpieczeństwo wystąpienia istotnych zaburzeń co do możliwości osiągnięcia celów strategicznych. Regularny audyt (kilka razy w trakcie trwania projektu) może być przeprowadzany przez wewnętrznych inspektorów wykonawcy robót wiertniczych, inspektorów nadzoru inwestorskiego lub specjalnie powołanych do tego celu niezależnych ekspertów. Regularny audyt przyczynia się do ustalenia trendu w monitorowanym ryzyku (rośnie, utrzymuje się na podobnym poziomie, maleje).

Wyniki audytu mogą być ujawniane w formie raportów pisemnych lub w trakcie dyskusji i debat, jakie toczy się podczas formalnych lub nieformalnych spotkań zespołu prowadzącego projekt. Głównym miejscem spotkań wszystkich zainteresowanych stron są cyklicznie odbywające się rady budowy. W ramach agendy takich spotkań powinno się znaleźć miejsce dla okresowej oceny ryzyka operacyjnego projektu. Dobrym zwyczajem jest włączenie okresowych przeglądów ryzyka do

harmonogramu i budżetu. Gdy jednak zespół ludzi jest duży, a jego członkowie pochodzą z różnych firm, trudno jest ustalić priorytety i metody działania zrozumiałe dla wszystkich.

Komunikacja działań

Jest to proces, w którym dochodzi do wymiany istotnych informacji dotyczących ryzyka realizowanego projektu pomiędzy stronami procesu inwestycyjnego: inwestorem (klientem), inspektorem nadzoru, generalnym wykonawcą, wykonawcą robót wiertniczych oraz kluczowymi firmami serwisowymi. Daje on możliwość wglądu w procesy decyzyjne i przyjęte strategie postępowania. Pozwala też ocenić sytuację (stan) projektu po osiągnięciu każdego z kamieni milowych. Z prawidłową komunikacją wiąże się nadzieje na możliwość dostrzeżenia i usunięcia błędów w planowaniu i realizacji. Wykrywanie punktów krytycznych (zapalnych) na odpowiednio wczesnym etapie inwestycji umożliwia ich eliminację lub łagodzenie skutków przy akceptowanych kosztach. Nie należy traktować komunikacji ryzyka jako elementu wzniesającego wątpliwości, niepokój czy panikę. Wręcz przeciwnie, umiejętna komunikacja pozwala na budowanie zaufania pomiędzy stronami i opanowanie kryzysu. Użytecznymi instrumentami stają się: rzetelna informacja, edukowanie partnerów, zaangażowanie stron w prace nad strategiami, prowadzenie dyskusji oraz pomoc w zrozumieniu złożonych problemów.

Zarządzać intuicyjnie czy profesjonalnie?

Zarządzanie ryzykiem wymaga od menedżera doświadczenia, interdyscyplinarnej wiedzy wynikającej ze specyfiki zastosowanej technologii, determinacji i konsekwencji we wdrażaniu planów reakcji. Aktywne działanie to nie tylko monitoring, ale planowanie dodatkowych działań, uaktualnianie rejestru ryzyka. W selekcji, ocenie i wdrażaniu odpowiedniej reakcji intuicja może być użyteczna jedynie na poziomie podstawowym. Jednak w przypadku projektów złożonych, wykraczających poza dotychczasowe osiągnięcia technologii lub w przypadku projektów niedoskonale przygotowanych może okazać się, że intuicja będzie nas zawodzić. Powierzenie obszaru zarządzania ryzykiem specjalistom, dla których

działania prewencyjne i zaradcze będą miały wysoki priorytet, jest jednym z możliwych sensownych rozwiązań tego problemu. Konieczne jest ustalenie racjonalnego poziomu tolerancji ryzyka w projekcie, by wiedzieć, w stosunku do których elementów ryzyka konieczne jest podejmowanie odpowiednich działań.

Aktywne planowanie i monitorowanie przyjętych strategii zarządzania ryzykiem zawsze się opłaca. Jak każda aktywność kosztuje, ale są to jedne z najlepiej wydanych pieniędzy w budżecie projektu

Podsumowanie cyklu artykułów

Nie ulega wątpliwości, że działanie zaradcze wobec zidentyfikowanego rejestru ryzyk oznacza wybór i wdrożenie takich środków, które zmodyfikują ryzyka. W przypadku projektów wiertniczych podstawowym działaniem jest unikanie, kontrolowanie i/lub ograniczanie ryzyka, które prowadzi do łągodzenia potencjalnych skutków jego materializacji. Pozostałe dostępne instrumenty, takie jak: przenoszenie, podział lub pogodzenie się z ryzykiem, są także dostępne, ale w praktyce stosowane w mniejszym zakresie. Jak wynika z obserwacji projektów wiertniczych o różnej skali i o różnym przeznaczeniu, ryzyko pojawia się wszędzie. Najczęściej związane jest z błędnymi założeniami technicznymi, wadliwą lub niedoskonałą dokumentacją geologiczną, zbyt napiętym harmonogramem, zbyt niskim budżetem lub błędami w samym zarządzaniu projektem. Im projekt jest bardziej zaawansowany, tym więcej środków w niego zostaje zaangażowane, a więc z upływem czasu koszty komplikacji (niepowodzeń) stają się coraz wyższe. Aktywne planowanie i monitorowanie przyjętych strategii zarządzania ryzykiem zawsze się opłaca. Jak każda aktywność kosztuje (bo musi kosztować), ale są to jedne z najlepiej wydanych pieniędzy w budżecie projektu.

Warto w tym miejscu poruszyć sprawę finansowania projektów złożonych i wykraczających znacząco poza doświadczenie branży. Dla takich projektów należy stworzyć taką formułę kontraktową, która pozwoli sfinansować znacznie wyższy od standardowego poziom ryzyka. Nie oznacza to, że należy bagatelizować pilnowanie harmonogramu i budżetu. Rekomenduje się zwiększyć elastyczność w stosunku do tych dwóch parametrów projektu (czas i koszt). Celem nadrzędnym bowiem jest osiągnięcie sukcesu technicznego. Dzięki temu, że mamy środowisko dopuszczające do podejmowania ryzyka, jesteśmy w stanie realizować ambitne i innowacyjne projekty instalacyjne. <

Literatura

- [1] Agerberg J.N.: Risk Management in Tendering Process. Chalmers University of Technology. Goteborg, 2012.
- [2] Carlin M.C.: A Comparative Analysis of Horizontal Directional Drilling Construction Methods in Mainland China. Arizona State University, 2014.
- [3] Duyvestyn G., Gelinas M.: Pushing the Limits. When Does It make Sense to Attempt a Longer and Larger HDD Installations. NASTT No-Dig Conference, Denver, 2015.
- [4] Federation of European Risk Management Associations: Standard zarządzania ryzykiem. Bruksela, 2003.
- [5] Gibson M.: Risk Analysis Significantly Reduces Drilling Project Costs. Society of Petroleum Engineers, 2015.
- [6] Kowalczyk M., Wrześniewski M.: Zarządzanie ryzykiem w projekcie. Mandarine Project Partners, 2011.
- [7] Keulen B.: Maximum Allowable Pressures During HDD Focused on Sand. Delft, 2001.
- [8] Kruse H.: Risk Reduction for Trenchless Technologies in Soft Soil Conditions. Delft, 2015.
- [9] Kruse H.: Risk During Pullback Operation of Horizontal Directional Drilling. Delft, 2008.
- [10] Moganti P.Y.: Safety Risks Investigation of Horizontal Directional Drilling Projects. Clemson University, 2016.
- [11] Murray C.D., Osbak M.: Horizontal Directional Drilling – Construction Risk Management Strategies. Pipelines, 2013.
- [12] Onsarigo L.: Analysis of Horizontal Directional Drilling Construction Risks Using the Probability – Impact Model. Bowling Green State University, 2014.
- [13] Osbak M., Murray C.: The Economics of Risk Absorption and Risk Transfer Strategies in Horizontal Directional Drilling. NASTT No-Dig Conference, Sacramento, 2012.
- [14] Osikowicz R.: Koszty – Jakość – Ryzyko. Referat wygłoszony w trakcie III Seminarium Technicznego ROE w Krakowie, grudzień 2016.
- [15] Osikowicz R.: Zarządzanie jakością otworu wiertniczego. Inżynieria Bezwykopowa 1/2015.
- [16] Osikowicz R.: Zamknięty obieg płuczkowy cz. I-IV Inżynieria Bezwykopowa 1/2016, 2/2016, 3/2016, 4/2016.
- [17] Osikowicz R.: Zarządzanie ryzykiem w projektach wiertniczych. Część I – Identyfikacja i kategoryzacja zagrożeń. Inżynieria Bezwykopowa 1/2017.
- [18] Osikowicz R.: Zarządzanie ryzykiem w projektach wiertniczych. Część II – Jakościowa analiza ryzyka. Inżynieria Bezwykopowa 2/2017.
- [19] Osikowicz R.: Zarządzanie ryzykiem w projektach wiertniczych. Część III – Illościowa analiza ryzyka. Inżynieria Bezwykopowa 3/2017.
- [20] Project Management Institute: Practice Standard for Project Risk Management. Pennsylvania, USA, 2009.
- [21] Patrick D.: Identifying Key Risks in Construction Projects. Life Cycle and Stakeholder Perspective. Sydney, 2009.
- [22] Peters B.: Can You See it Coming? Examine and Mitigation Common Causes of HDD Failures. NASTT No-Dig Conference, Orlando, 2014.
- [23] Risk Assessment. Statistics in Practice. John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2011.
- [24] Staheli K.: Effectiveness of Hydrofracture Prediction for HDD Design. NASTT No-Dig Conference, Chicago, 2010.
- [25] Telfer B.: Determining the Optimum Level of Investigation for a Trenchless Installation Project, 2012.
- [26] Wikipedia.
- [27] Woodroffe W., Ariaratnam S.: Cost and Risk Evaluation for Horizontal Directional Drilling versus Open Cut in an Urban Environment. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 2008.