

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 selekcjonuje czynniki, 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 wyznaczania 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 precyzyjniej 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 osiągnięte 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 osiągnięte 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.

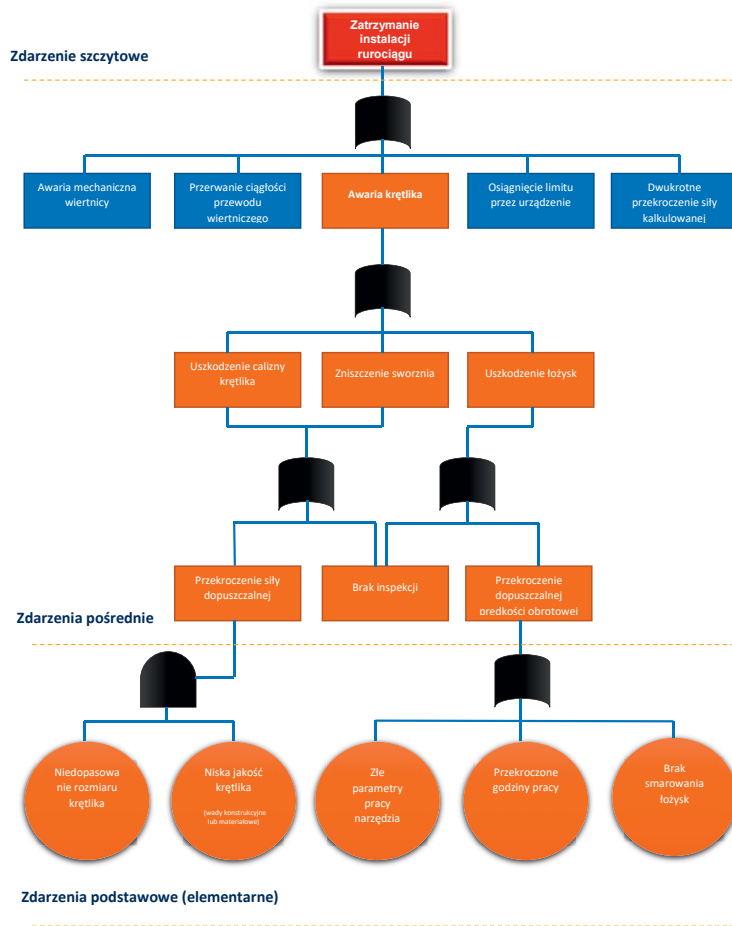
Metoda FTA służy do szacowania: częstości komplikacji i zdarzeń awaryjnych zarówno w obszarze sprzętu, jak i technologii. Ważnym aspektem analizy są potencjalne błędy ludzkie popełnione na etapie planowania i wykonawstwa. Brane są pod uwagę zdarzenia wynikające ze zmiennego środowiska geologicznego i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