

# 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 ośwoić 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 związane z tym podziały 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 macierz 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 macierz 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 konsultingowych.

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 (wgłębnij)		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	nieprowadzenie 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

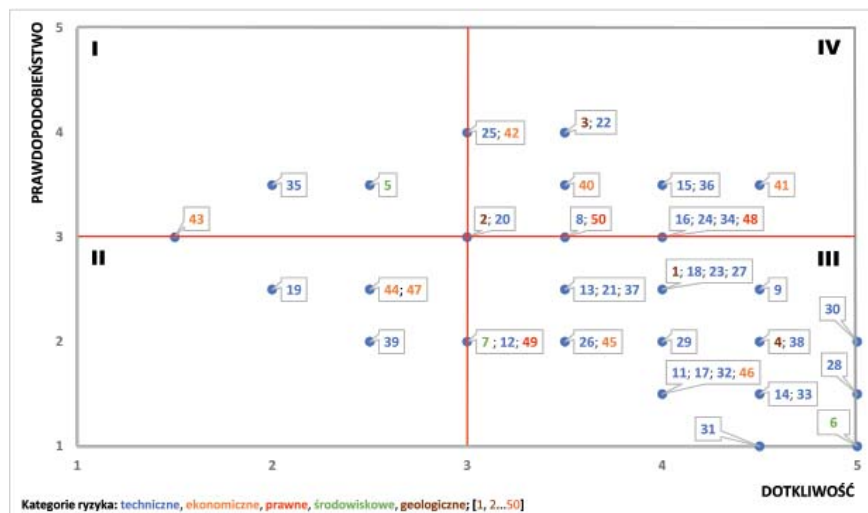
Tego typu model znajduje zastosowanie przy identyfikacji krytycznych ryzyk z punktu widzenia bezpieczeństwa projektu. Z zasady Pareto wynika, że 20% pozycji będących najwyżej w rze-

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 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] 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.