

Problemy projektowania w inżynierii skalnej

Joanna Pinińska*

W projektowaniu i dokumentowaniu inżynierskich badań geologicznych pogłębia się rozdział między stanem wiedzy i stosowanymi rozwiązaniami. Wynika to w dużej mierze z przeniesienia kompetencji organów zatwierdzających projekty badań i dokumentacje na niższe szczeble administracji państwowej bez kontroli ich poziomu, lecz nie tylko. Nie docenia się również roli ekonomicznej projektowania i nie uwzględnia korzyści płynących z zawartego w projekcie zasobu wiedzy naukowej i zastosowania nowoczesnych technik badawczych. Wpływa na to także brak odpowiedniej edukacji akademickiej w zakresie geologicznych nauk stosowanych. Te bowiem jako zbyt kosztochłonne stanowią łatwą ofiarę niewłaściwie rozumianej „oszczędności”. Zatem błędne decyzje, ograniczanie rozpoznania geologicznego, katastrofy inżynierskie i środowiskowe są prostą konsekwencją tego stanu.

Projektowanie jest niezbędnym składnikiem decyzyjnym w każdym ciągu inwestycyjnym. W jego rezultacie zostaje stworzony nowy produkt naukowy, technologiczny lub obiekt inżynierski służący społeczeństwu. Od inwencji twórczej i doświadczenia zawodowego projektanta zależy w jakim stopniu produkt finalny będzie spełniał założone cele, będzie bezpieczny, ekonomiczny i nowoczesny. Zgodnie z badaniami amerykańskimi (National ..., 1991) ponad 70% kosztów inwestycji jest określone w procesie projektowania.

Decyzje projektowe wymagają szerokiego spektrum wiedzy, doświadczenia zawodowego oraz zrozumienia roli nowoczesnych technik badawczych i technologii we wprowadzaniu nowych innowacyjnych rozwiązań. Wydaje się zatem na czasie, przypomnienie istotnych elementów projektowania, zawartych w pracy Bieniawskiego (1992), w której przedstawiono iteracyjny system kreatywnego dochodzenia do optymalnego rozwiązania projektowego.

W inżynierii skalnej doświadczenie zawodowe i kreatywność są szczególnej natury, gdyż opierają się na umiejętności przekładania syntetycznego opisu złożonych warunków geologicznych na formę teoretycznych praw i symboli matematycznych. Prawa te odnoszą się one jednak do materiałów o zdeterminowanych technologicznie cechach, a są mniej jednoznaczne dla zmiennych losowo materiałów przyrodniczych. Z tego względu Fairhurst (1976), jeden z klasyków światowej inżynierii skalnej uważa, że projektowanie inżynierskie jest to ... *bardziej sztuka inżynierska niż tylko wiedza teoretyczna, gdyż prawa w niej stosowane, o ile istnieją, są natury empirycznej*. Stworzenie, zweryfikowanie i zastosowanie zasad empirycznych w projektowaniu wymaga z jednej strony znaczącego transferu osiągnięć nauki do praktyki, a z drugiej strony poznania filozoficznej natury projektowania, dzięki której łatwiej zrozumieć jak trudne są aplikacje wiedzy teoretycznej do skalnej praktyki inżynierskiej.

Podstawy filozoficzne

Z filozoficznego punktu widzenia istotą projektowania jest spójność trzech sfer postrzegania świata: sfery rzeczywistej (R), sfery konceptualnej — opisującej wirtualnie model rzeczywistości (K), który wyraża pogląd na istniejący świat rzeczywisty (np. na ośrodek skalny jako kruchy, spękany, niejednorodny), oraz sfery logicznej (L), w której złożony opis świata rzeczywistego zostaje wyrażony symbolami, prawami logiki, matematyki i filozofii (np. zasadami teorii sprężystości, plastyczności lub kruchej pęknięcia). Współzależność tych trzech sfer postrzegania świata obrazuje model Yoshikawy (1987), w którym projekt jako rezultat finalny połączenia tych trzech sfer percepcji jest procesem przechodzenia od sfery Świata Koncepcji do sfery Świata Rzeczywistego poprzez sferę Świat Logiki (ryc. 1).

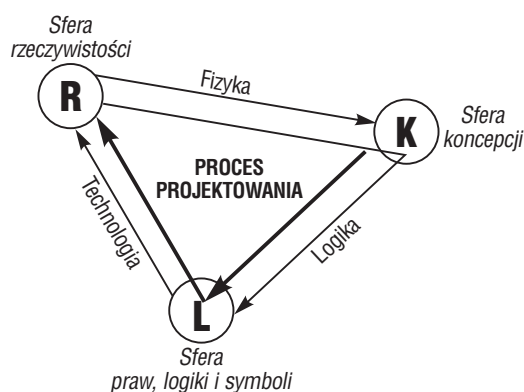
Każda ze sfer percepcji przedstawionych na modelu Yoshikawy jest zbiorem odwzorowań wielu różnych dyscyplin wiedzy, niezbędnych dla zaprojektowania danego obiektu, procesu bądź systemu.

Zgodnie z poglądami Suha (1990) projektowanie jest procesem, w którym odpowiedzi na pytanie „co chcemy osiągnąć” należy szukać w określeniu niezbędnej liczby wymagań **funkcjonalnych inwestycji (FR)**, a odpowiedzi na pytanie „jak chcemy to osiągnąć” w określeniu **rzeczywistych** możliwości realizacji tych wymagań w oparciu o odpowiadające im niezbędne minimum rozwiązań **projektowych (DP)**. Jest to więc kompleksowa synteza, na podstawie której zostaje wykreowany nowy nie istniejący dotychczas produkt, proces technologiczny lub system, którego cele funkcjonalne są zobrazowane przez niezależne wymagania funkcjonalne (FR), a sposoby ich realizacji są zobrazowane przez składowe projektu (DP), dobrane do nadrzędnie ustalonych potrzeb inwestycji.

W inżynierii skalnej podejmowanie właściwych, kreatywnych decyzji prowadzących do innowacyjnych a równocześnie najmniej kosztochłonnych rozwiązań jest bardzo silnie związane z elementem niepewności geologicznej. Podstawą projektowania jest zatem **umiejętne sformułowanie koncepcji rzeczy „nie istniejących”** (np. liczbowo ujętych, parametrycznych cech masywu skalnego) na **podstawie wiedzy o świecie „istniejącym”** czyli o rzeczywistych cechach geologicznych skał, ich historii, litologii, warunkach ciśnienia i temperatury otoczenia. Powodzenie w wypełnieniu potrzeb funkcjonalnych oraz bezpieczeństwo efektu finalnego zależy więc w głównej mierze od stanu rozpoznania geologicznego i poprawności zastosowanej empirycznej wiedzy o cechach masywu skalnego.

Z obserwacji światowych trendów wynika (Van der Merve, 1999), że przedmiotem wyzwań inżynierii skalnej, w obecnym wieku, będą zagrożenia stateczności zbroczy wyrobisk naturalnych i sztucznych, bezpieczeństwo podziemnych komór i magazynów, tuneli oraz wyrobisk górniczych na dużych głębokościach. Tym bardziej istotne jest zatem umacnianie w inżynierii skalnej więzi nauki, edukacji i praktyki w nawiązaniu do nowoczesnych i jasno spre-

*Wydział Geologii, Uniwersytetu Warszawskiego, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; joanna.pininska@uw.edu.pl



Ryc. 1. Proces projektowania wg koncepcji Yoshikawy ([W:] Tomiyama & Yoshikawa (1987))

cyzowanych zasad i procedur projektowania. Jest to proces bardzo powolny.

Według Hooda i Browna (1999) główny proces zbliżania teorii i praktyki w inżynierii skalnej miał miejsce w latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia, jako wynik „renesansowego” rozwoju światowej geomechaniki w latach od 1960 do 1983. Powstały wtedy podstawy obecnej klasyfikacji skał, a wprowadzone przez Hoecka (1974) opisy nieciągłości masywu skalnego zaczerpnięte z geologii strukturalnej oraz wskaźnikowe oceny masywów skalnych (Bieniawski, 1974; Barton, 1974) stanowią milowy krok na drodze postrzegania rzeczywistego masywu skalnego w sferze koncepcyjnej (K) oraz praw logiki (L) przedstawionych w modelu Yoshikawy.

Obecnie, szczególnie w warunkach polskich, gdy w budownictwie naziemnym i podziemnym wprowadza się lawinowo nowoczesne techniki konstrukcyjne, a ekspansja urbanistyczna wkracza na tereny o bardzo trudnych warunkach geologicznych, np. osuwiskowe stoki Karpat fliszowych lub obszary krasowe jury krakowsko-częstochowskiej, czy tereny zagrożone powodzią, niezbędne staje się stosowanie zasad rozsądnego, kreatywnego projektowania, opartego o rzeczywisty rachunek ekonomiczny a nie o nadużywaną zasadę „tym lepsze im tańsze”.

Tab. 1. Przykłady negatywnych reakcji na nowe wdrożenia

Według Bieniawskiego (1992)	Według Smalleya (1986)
To nigdy się nie uda	Próbowaliśmy wcześniej
Nigdy tego wcześniej nie stosowaliśmy	Jesteśmy na to za mali (lub za duzi)
Bardzo dobrze działamy bez tego	Mamy obecnie zbyt wiele pracy z innymi projektami
Nie możemy sobie na to pozwolić finansowo	Nie każda nowa myśl musi być pochwyciona
Nie jesteśmy na to przygotowani	Trzeba poczekać i zobaczyć
To nie leży w zakresie naszych działań i odpowiedzialności	Co jest złego w tym, jak robimy to teraz
To nie zostało tutaj zainicjowane	To by oznaczało więcej pracy
	Wygląda dobrze, ale jest zbyt ryzykowne
	Interesująca idea, ale to nie będzie tu działać
	Mnie się podoba, ale prawdopodobnie nikomu innemu
	Dlaczego teraz wprowadzać coś nowego, jeśli wszystko jest tak dobre?
	Bylibyśmy wyśmiani

Bariery na drodze kreatywnego projektowania

Wdrażanie nowych technologii, które w zasadniczy sposób mogą zmniejszyć koszty oraz zwiększyć efektywność inwestycji przy minimum ryzyka, musi być prowadzone metodycznie i przebiegać etapowo. Ogólne zasady procesu projektowania łączącego teorię z praktyką w inżynierii skalnej sformułował Brown (1985) wyróżniając w nim 5 niezbędnych etapów:

1. Charakteryzowanie masywu skalnego w rzeczywistych warunkach terenowych i określenie jego parametrów geomechanicznych.
2. Stworzenie conceptualnego modelu warunków geotechnicznych wynikającego z danych rzeczywistych.
3. Proces projektowania.
4. Monitoring zachowania się masywu skalnego w warunkach rzeczywistych, w trakcie oraz po wykonaniu obiektu.
5. Analiza retrospektywna zastosowanych ocen masywu skalnego i identyfikacja dominujących czynników reakcji masywu skalnego na zaistniałe zmiany.

Pod tymi, ogólnymi i powszechnie znanymi pojęciami sformułowanymi przez Browna, kryją się w inżynierii skalnej złożone zadania wymagające znaczącej interdyscyplinarnej wiedzy o przedmiocie projektowania w sferze rzeczywistej, pochodzące z wielu odległych od siebie dyscyplin — od inżynierii i mechaniki, przez geologię, aż do zagadnień prawnych. Wiedzę tę należy wykorzystać kreatywnie tak na etapie tworzenia autorskiej koncepcji ich ujęcia logicznego, jak i na etapie rozwiązań technicznych. Zasady Browna zobowiązują jednakże projektanta również do monitorowania uzyskanych wyników i ich retrospektywnej analizy tak, aby uzyskane doświadczenia mogły stanowić wkład w dalsze poszerzenie wiedzy empirycznej.

Przekonanie otoczenia, a zwłaszcza inwestora o potrzebie wprowadzania nowych technologii oraz o konieczności analizy retrospektywnej przyjętego rozwiązania nie jest proste. Wymaga od projektanta umiejętności jasnego sformułowania przyjętych koncepcji i zrelacjonowania zasad procesu rozumowania iteracyjnego, który doprowadza do optymalnego, innowacyjnego rozwiązania złożonych zadań. Bez takiej umiejętności, innowacyjne idee projektanta nie będą przez odbiorców zrozumiane. Bieniawski (1992) przytacza przykłady najczęstszych odpowiedzi na propozycje inżynierskich innowacji (tab. 1). Jeszcze bogatsza jest lista komentarzy słownych utrudniających wprowadzania nowych idei przedstawiana przez Smalleya (1986, [W:] Bieniawski, 1992) (tab. 1).

Najważniejszym elementem kreatywności w projektowaniu jest niezależność projektanta, która może być osiągnięta dzięki wysokiemu poziomowi edukacji zawodowej. Edukacji, w której znaczącą rolę odgrywa bliski kontakt studenta z wykonawstwem, a zatem element *learning by doing* w czasie praktyki zawodowej. Zdaniem Bieniawskiego (1992) ... *jeżeli pieniądze są jedyną nadzieją na niezależność, to nie zostanie ona nigdy osiągnięta. Jedyńym realnym jej zabezpieczeniem jest rezerwa wiedzy i doświadczenia osobistego, a rozwiązaniem o znaczeniu uniwersalnym, pomagającym przełamać bariery na drodze*

transferu nauki do praktyki jest preferowanie **syntez** naukowych kosztem **analiz**.

Specyfika wdrożenia nowych technologii w Polsce

W Polsce jedną z poważniejszych barier na drodze transferu wiedzy naukowej do przemysłu jest rozdrobnienie badań i brak dużych syntez naukowych. To niekorzystne zjawisko jest często wymuszane istniejącą parametryczną strukturą finansowania nauki. Z analizy efektów finansowania nauki w ostatnich latach wynika, że ... *makroskopowo widziany dorobek nauki polskiej jest głównie niematerialny*, a ... *skumulowany efekt czteroletniej działalności całej nauki polskiej może być jedynie w ok. 14% bezpośrednio przysługujący dla praktyki gospodarczej* (Bartosik, 2003).

Ilustracją przyczyn takiego stanu, może być zwierzenie dyrektora jednej z wielu jednostek badawczo-rozwojowych (JBR), powołanej do praktycznego realizowania naukowych koncepcji w przemyśle: ... *odkąd finansowane są indywidualne naukowe projekty badawcze, nie jestem w stanie zmobilizować załogi do realizacji jakiegokolwiek wspólnego ważnego projektu przemysłowego*. Zatem już sama struktura organizacyjna nauki w Polsce utrudnia jej promocję, a ograniczenia edukacyjne i brak praktyk przemysłowych nie sprzyjają szkoleniu fachowców umiejętnie tłumaczących język wiedzy na język aplikacji.

W inżynierii skalnej poza brakiem syntez i zminimalizowaniem praktyk edukacyjnych odczuwa się także brak jednolitej klasyfikacji skał. Dotychczas nie są np. sprecyzowane pojęcia „grunt”, „skała”, „masyw skalny” (Pinińska, 2000, 2001).

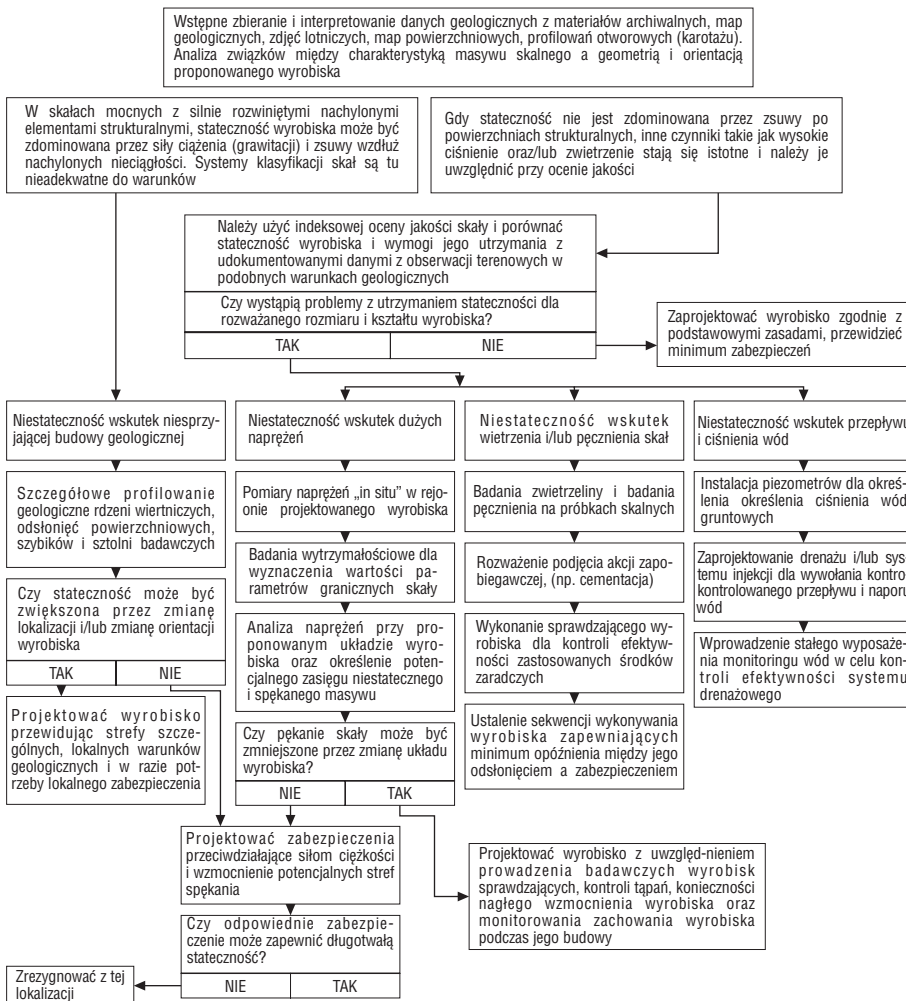
Nic zatem dziwnego, że Kowalski (2003) na podstawie analizy 1200 opracowań przedłożonych w latach 1970 do 2000, do akceptacji Komisji Dokumentacji Geologiczno-Inżynierskich (KDGI), stwierdza że zaledwie 45,7% z nich było poprawne, a jedynie 8,2% można uznać za twórcze — wzorcowe.

Metodologia projektowania Bieniawskiego

Metodologia projektowania Bieniawskiego (1992) jest iteracyjnym systemem dochodzenia do kreatywnego i optymalnego w danych warunkach rozwiązania projektowego. Po syntezie naukowej jaką jest wskaźnikowa klasyfikacja cech masywów skalnych (1974), w której Bieniawski przetworzył na język **formuły** matematycznej (w ujęciu Yokishawy sfera postrzegania symbolicznego — L) **złożoną analizę in situ masywu** skalnego (sfera postrzegania rzeczywistego — R) jest to kolejny, porządkujący system transferujący wiedzę do praktyki. Mimo upływu przeszło 10 lat od czasu opublikowania tak sam system, jak i zawarta w nim filozofia projektowania nie utraciły swej aktualności, także i w Polsce.

Punktem wyjścia stosowanej metodologii jest przypomnienie, że proces projektowania w inżynierii skalnej nie jest prostym rozwiązaniem problemu, lecz procesem stopniowego modyfikowania koncepcji roboczych aż do podjęcia ostatecznej decyzji projektowej, na którą składa się skumulowany zasób wiedzy wielu projektantów, analityków, inspektorów, doraźnych ekspertów i specjalistów, dzięki którym zaprojektowane rozwiązanie może być bezpieczne, ekonomiczne i nowoczesne. Decyzje te rozpoczynają się wyborem lokalizacji i zależą od poprawnego stworzenia koncepcji budowy geologicznej, a następnie jej transformacji na sferę zapisów i symboli logicznych i matematycznych. Skalę tych decyzji i ich znaczenie dla koncepcji projektowej obrazuje diagram projektowania wyrobiska podziemnego w masywie skalnym wg Hoecka i Browna (1980 [W:] Bieniawski, 1992) przedstawiony na ryc. 2. Diagram ten wskazuje jak na drodze stopniowej kompleksowej iteracji zjawisk geologicznych, projektant może bądź zrezygnować z lokalizacji bądź wprowadzić niezbędne zabezpieczenia.

Bieniawski w swej metodologii wprowadza elementy filozofii projektowania Suha, zaznacza



Ryc. 2. Projektowanie wyrobiska podziemnego w skałach wg Hoecka i Browna (1980 [W:] Bieniawski, 1992)

Tab. 2. Elementy współpracy podstawowych składowych projektowania

Zadanie projektowe (FR)	→	Rozwiązanie projektowe (DC)	→	Sposób realizacji (CP)
	Kreowanie		Optymalizacja	
Wymogi funkcjonalne	→	Składowe projektu	→	Procedury wykonawcze

jednak, że w projektowaniu dla celów inżynierii skalnej, prosta zależność doboru składowych projektu (DP) do wymagań funkcjonalnych (FR) proponowana przez Suha jest warunkiem koniecznym lecz nie wystarczającym. W inżynierii skalnej występuje bowiem dodatkowy czynnik wpływu warunków geologicznych, który nie ma miejsca w innych gałęziach inżynierii. **Zachowanie się masywu skalnego nie jest zatem jednoznacznie zdeterminowane lecz losowo zależne od czynników geologicznych, co stwarza element niepewności.** Nie może on zagrażać spełnieniu wymogów funkcjonalnych inwestycji. Stąd metodologia projektowania Bieniawskiego (1992) zakłada, że trzy domeny: funkcjonalna, projektowa i wykonawcza rozważane muszą być wieloparametrowo i wielowariantowo.

Na każdym etapie projektowania, w każdym wariantcie z osobna musi być przeprowadzony proces iteracji (tab. 2). W **fazie koncepcji** ustalonym wymaganiom funkcjonalnym (FR) zostają przyporządkowane odpowiednie rozwiązania projektowe (DC), a do obranych rozwiązań (DC) **w fazie realizacji** muszą być poprawnie dobrane optymalne procedury wykonawcze (CP).

Ta filozofia projektowania umożliwia podejmowanie decyzji ulepszających projekt na każdym etapie dzięki elastycznej iteracji tych trzech elementów w każdym wariantcie z osobna.

Ze względu na niepewność czynników geologicznych zachowanie się masywu skalnego nie może być i nie jest jednoznacznie określone w czasie projektowania, dlatego

Bieniawski proponuje dla celów inżynierii skalnej, stosowanie następujących sześciu zasad projektowania:

1. Zasada niezależności — niezbędne jest respektowanie wymagań funkcjonalnych obiektu.

Zasada ta przypomina, że wymagania funkcjonalne inwestycji są nadrzędne i niezależne. Muszą być jednak jasno zdefiniowane, sprowadzone do niezbędnego minimum i odpowiednio usystematyzowane hierarchicznie. W drodze iteracji wymagania te mogą być przenoszone do niższych poziomów hierarchicznych o ile nie zagraża to generalnemu celowi inwestycji.

2. Zasada minimum niepewności — zebrana musi być możliwie największa ilość danych określających warunki geologiczne.

Stan geologicznej niepewności winien być sprowadzony do minimum zgodnie z zasadą „nigdy za mało informacji”, **ponieważ masyw skalny nie jest w sposób prosty i jednoznaczny opisany prawami fizyki matematyki i logiki**, tak jak inne materiały konstrukcyjne np. stal lub beton, a całość warunków inżyniersko-geologicznych ma nie tylko wymiar lokalny, lecz zależy także od specyfiki regionalnej i losowych zdarzeń globalnych.

3. Zasada prostoty — każde kompleksowe rozwiązanie musi być opisane możliwie najmniejszą liczbą rozwiązań odpowiadających poszczególnym wymaganiom funkcjonalnym.

Zasada ta ułatwia analizę wariantów projektowych i wybór najkorzystniejszego rozwiązania, gdyż jeżeli cele projektowania są związane i prosto zdefiniowane, a przypisane im elementy rozwiązań projektowych prosto i jednoznacznie sprecyzowane to podjęcie takiej decyzji na zasadzie *tylko lepsze im prostsze* jest łatwiejsze.

4. Zasada *State-of-the-Art* — wykorzystany jest istniejący stan wiedzy i najlepsze technologie.

Zasada ta zobowiązuje do maksymalnego wykorzystania istniejących nowoczesnych technologii oraz wiedzy z zakresu geomechaniki, która w inżynierii skalnej ciągle jest zbyt wolno transferowana do praktyki, a jej wpływ na kreatywność projektowania jest znacznie mniejszy niż na innych polach inżynierii.

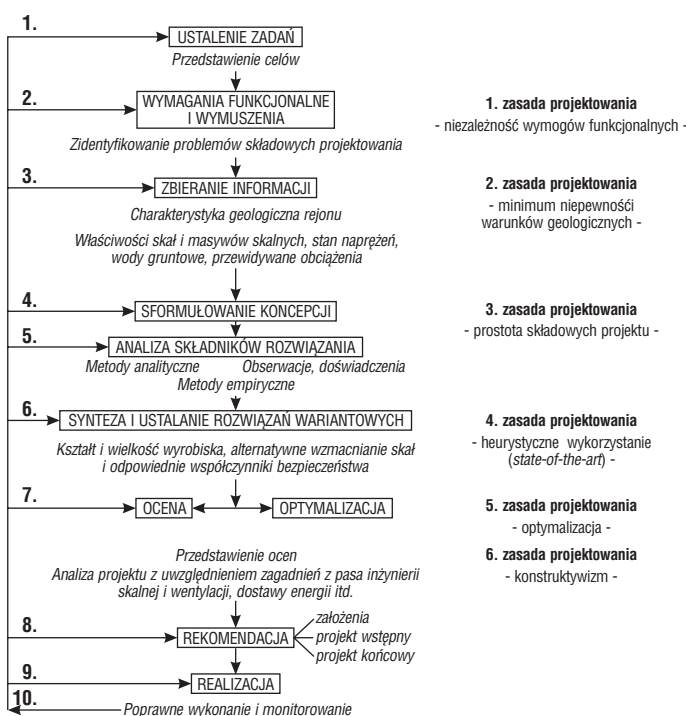
5. Zasada optymalizacji — efektem projektowania jest wybór optymalnej jakościowo alternatywy.

Zasada ta zobowiązuje do wyboru właściwego rozwiązania z pośród wielu wariantów projektowych na drodze oceny jakościowej przeprowadzonej zgodnie z zasadami teorii optymalizacji i uwzględnieniem elementów efektywności. Często może być to konfliktowny kompromis między wymaganiami funkcjonalnymi a kosztami.

6. Zasada poprawnej realizacji — sekwencje realizacji inwestycji są dobrane w sposób najbardziej korzystny i efektywny.

Zasada ta wymusza optymalizację procesu realizacji inwestycji dzięki zastosowaniu najlepszej w danych warunkach technologii oraz najlepszej sekwencji wykonania i scalania jej elementów składowych.

Przedstawione zasady mają gwarantować wysoką jakość i wybór właściwego rozwiązania. Ich wprowa-



Ryc. 3. Etapy projektowania w inżynierii skalnej wg Bieniawskiego (1992)

dzenia zgodnie z metodologią Bieniawskiego następuje stopniowo, w 10 etapach projektowania (ryc. 3).

Projektowanie rozpoczyna się od jednoznacznego ustalenia celu projektu (etap 1). Następnie muszą być sformułowane wymagania funkcjonalne inwestycji oraz niezależnie istniejące ograniczenia lub wymagania dodatkowe (etap 2). Po ich ustaleniu są zbierane kompleksowe dane przy których gromadzeniu obowiązują kierunkowe procedury profesjonalne, zależne od celów sformułowanych w poszczególnych zadaniach (etap 3). Tu w odniesieniu do inżynierii skalnej szczególnie istotne jest przestrzeganie zasady o minimum niepewności geologicznej. Następne etapy to sformułowanie koncepcji ogólnej (etap 4), a następnie analiza jej poszczególnych składników (etap 5) przy zastosowaniu metod analitycznych, doświadczalnych i empirycznych. Na tej podstawie powstają syntezy (etap 6), specyfikujące rozwiązania alternatywne. Rozwiązania alternatywne należy oceniać niezależnie (etap 7) i przez **wartościowanie** około **6 alternatyw** dokonać wyboru **dwóch lub trzech rozwiązań**. Dopiero wybrane na tej drodze rozwiązania stają się przedmiotem **optymalizacji** (etap 8), na podstawie której wybrane zostaje rozwiązanie najbardziej korzystne.

Bieniawski w swej metodologii wykazuje również potrzebę sporządzenia **rekomendacji** (etap 9), którą jest podsumowujący, syntetyczny raport końcowy. Dzięki niemu umożliwiony jest przepływ informacji między zainteresowanymi stronami. Zawarte tam winny być między innymi informacje o zastosowanych specjalnych innowacjach oraz dokumentacja stosowanej interpretacji danych geotechnicznych (*Geotechnical Design Summary and Geotechnical Data Interpretation*). Ta ostatnia, pozwala na dzielenie ryzyka niepewności geologicznej z inwestorem.

W metodologii projektowania Bieniawskiego **realizacja** jest 10. i ostatnim etapem projektowania, gdyż w związku z niepewnością co do zachowania się masywu skalnego, w inżynierii skalnej projektowanie jest zakończone dopiero **po** wykonaniu obiektu. Z powodu niemożności jednoznacznego określenia zachowania się masywu skalnego i jego współpracy z obiektem konieczne jest bowiem, w miarę postępu prac i rozpoznania geologicznego stałe monitorowane i ewentualne korygowania projektu, a nawet zmiana zadań. Także wszelkie wnioski wykonawcze i wszystkie doświadczenia realizacyjne winny być rejestrowane, aby służyć dalszej aktualizacji wiedzy.

Podsumowanie

Metodologia projektowania Bieniawskiego wskazuje, że projektujący winien mieć na uwadze współzależność trzech sfer projektowania: **zadaniowej** gdzie ustalane są wymogi funkcjonalne obiektu, **rozwiązania projektowego** gdzie powstają składowe projektu odpowiadające poszczególnym wymaganiom funkcjonalnym oraz **realizacyjnej**, gdzie prezentowane są procedury wykonawcze. Systemowo, realizacji tego procesu służy jednoznaczne przyporządkowanie określonym wymaganiom funkcjonalnym (FR), parametrom projektowych (DP) oraz procedur wykonawczych (DC). Dane te rozważane w wielu wariantach metodą iteracji i odpowiednio optymalizowane składają się na złożony, interdyscyplinarny proces decy-

zyjny na podstawie którego wyłoniony zostaje wariant ostateczny. Kluczem do zwiększenia komunikatywności na tej drodze jest **nie analiza** lecz **synteza** oraz **prostota**.

Precyzowanie odpowiednich syntez wymaga wielu decyzji, które poprzez proces projektowania prowadzą do wyboru właściwego, innowacyjnego i najmniej kosztownego rozwiązania. Poprawność tych decyzji zależy od poziomu wiedzy, którą projektant stosował dla przejścia od opisu świata rzeczywistego do świata symboli i praw logiki. Wymaga to ciągłego, świadomego transferu osiągnięć nauki do praktyki, gdyż zgodnie z mottem von Karmana (1911 [W:] Bieniawski, 1992) ... *naukowcy odkrywają to co istnieje, a inżynierowie tworzą to czego nigdy nie było*.

Filozoficznym, nadrzędnym przesłaniem zaproponowanej metodologii projektowania jest wykazanie, jak znaczącą rolę w tym procesie decyzyjnym, na drodze przechodzenia od opisu świata rzeczywistego do technologicznego zrealizowania inwestycji, odgrywa w inżynierii skalnej autorska koncepcja przetwarzania informacji tak na język teorii, jak i praktyki, szczególnie istotna w odniesieniu do interpretacji danych geologicznych.

Należy zaznaczyć, że ryzyko niepewności geologicznej, nie występujące w innych gałęziach inżynierii, w inżynierii skalnej dotyczy na ogół obiektów o znaczących kubaturach. Elementy zagrożenia mają zatem rozległy zasięg społeczny i środowiskowy. Zadaniem projektu jest zmniejszenie do minimum wpływu tej niepewności na realizację obiektu, co jest możliwe na drodze bezwzględnego przestrzegania zasad projektowania i kreatywnego stosowania transferu osiągnięć naukowych do praktyki.

Opracowano na podstawie referatu wygłoszonego na Sesji Jubileuszowej XXVI Szkoły Mechaniki Górniczej. Łądek Zdrój. 2003.

Literatura

- BARTOSIK M. 2003 — Nauka — pieniądze — efekty. Spr. Nauki, 3(88). KBN: 8–9.
- BIENIAWSKI Z.T. 1992 — Design Methodology in rock engineering. Theory, Education & Practice, Rotterdam, Balkema.
- BROWN E. T. 1985 — From theory to practice in rock Engineering. Trans. Inst. Min. Metall., 94: A-67–A-83.
- FAIRHURST C. 1976 — The application of mechanics to rock engineering. Balkema, Rotterdam: 1–22.
- HOOD M. & BROWN E.T. 1999 — Mining rock mechanics, yesterday, today and tomorrow, Proc. 9th Inter. Congr. Rock. Mech. Paris: 26–51.
- KOEN B.V. 1986 — The engineering method and the state-of-the-art. Engineering Education, 77: 670–674.
- KOWALSKI W.C. 2003 — Badania procesów geologicznych w opracowaniach inżyniersko-geologicznych i geotechnicznych. Prz. Geol., 51: 147–150.
- National Research Council, 1991 — Improving Engineering Design. Washington DC. National Academy Press.
- PINIŃSKA J. 2000 — Od skały do gruntu — mechanizmy pęknięcia w skałach. Wyd. Politech. Warsz., Warszawa: 201–210.
- PINIŃSKA J. 2001 — Systemy geologiczno-inżynierskiej oceny skał i masywów skalnych. Prz. Geol., 49: 804–814.
- SMALLEY B. 1986 — Creativity at the work place. US Air Magazine, March: 31–36.
- SUH N.P. 1990 — Principles of Design., Oxford University Press.
- TOMIYAMA T. & YOSHIKAWA H. 1987 — Extentional general designs Theory. Design Theory for CSAD. Amsterdam: 95–130.
- Van der MERWE J.N. 1999 — Summary analyses of papers submitted for theme 1: Rock engineering, environmental safety and control. Johannesburg, CSIR, Miningtek.