

Zbigniew Frankowski, Piotr Gałkowski

# Kartografia geologiczno-inżynierska w procesie GeoQ

## Engineering-geological cartography in GeoQ

**Streszczenie:** Powstające obecnie budowle są coraz bardziej wyszukane od strony technicznej i coraz kosztowniejsze, co powoduje, że właściwe zarządzanie ryzykiem w procesie realizacji projektu jest niezbędne dla jego technicznej i ekonomicznej wykonalności. W całym procesie zarządzania ryzykiem, od wczesnej oceny wykonalności inwestycji po fazę eksploatacji gotowego obiektu, zaczyna się przywiązywać szczególną wagę do szeroko pojętych warunków gruntowych jako źródła istotnego ryzyka. Zaproponowano ostatnio (na GeoDelft) wprowadzenie bardziej usystematyzowanego sposobu (nazwanego „GeoQ”) zarządzania ryzykiem związanym z warunkami gruntowymi.

Artykuł, po ogólnym wprowadzeniu w problematykę GeoQ, przedstawia rolę nowoczesnej kartografii geologiczno-inżynierskiej jako niezbędnego narzędzia dla tworzenia map ryzyka. W artykule wysunięto propozycję dostosowania warstw informacyjnych map cyfrowych i atlasów geologiczno-inżynierskich w taki sposób, aby dostarczały więcej danych przydatnych w zarządzaniu ryzykiem związanym z warunkami gruntowymi.

**Słowa kluczowe:** mapy ryzyka, kartografia geologiczno-inżynierska, zarządzanie ryzykiem

**Abstract:** As constructions become more and more technically and financially sophisticated, a proper risk management in the process of project realisation is essential for its feasibility at expected economic and technical level. In the whole process of risk management, starting from early stadium of feasibility and until exploitation phase, interest becomes focused especially at ground conditions as a source of significant risk. It has been proposed recently (at GeoDelft) to implement more systematic process (called „GeoQ”) of ground risk management.

Article, after brief look into GeoQ, presents the role of modern engineering-geological cartography in ground risk management as essential element for risk maps preparation. It is also put forward to adjust and sophisticate informative layers of digital engineering-geological maps and atlases in order to meet investors' expectations for ground risk data.

**Key words:** risk maps, engineering-geological cartography, ground risk management

---

Zbigniew Frankowski, Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa, e-mail: [zbigniew.frankowski@pgi.gov.pl](mailto:zbigniew.frankowski@pgi.gov.pl)

Piotr Gałkowski, Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa, e-mail: [piotr.galkowski@pgi.gov.pl](mailto:piotr.galkowski@pgi.gov.pl)

Ocena warunków szeroko pojętego środowiska gruntowego (przedstawiana zarówno jako wartość określonego parametru, jak i w postaci kartograficznej) nie ma nigdy charakteru absolutnego, ale jest obarczona niepewnością, która wynika z trzech zasadniczych czynników (van Staveren, 2006, za: Blockley, Godfrey, 2000): losowego charakteru składników środowiska (*randomness*), nieostrości rozpoznania ich właściwości (*fuzziness*) oraz niekompletności danych (*incompleteness*). Hau-rylkiewicz (2005) jako trzeci czynnik, zamiast niekompletności, wyróżnia błędy możliwe do popełnienia (*errors*). W procesie opisu warunków środowiska coraz większą wagę przywiązuje się do uwzględniania ich niepewności, do ocen probabilistycznych.

W związku z niepewnością opisu środowiska należy brać pod uwagę ryzyko, jakie z tego wynika. Ryzyko bywa różnie definiowane. Można o nim mówić za każdym razem, gdy niepewności towarzyszy jakieś prawdopodobieństwo (Carlsson i in., 2005) lub gdy mówi się o prawdopodobieństwie jakiegoś zagrożenia (van Staveren, 2006, za: Smallman, 2000). W Polsce, szczególnie na uczelniach technicznych, funkcjonuje bardziej pojęcie miary ryzyka (Szopa, 2006), która wynika z miary zawodności (prawdopodobieństwo jakiegoś zdarzenia) oraz miary zagrożenia (prawdopodobieństwo powstania określonych strat). Reasumując, można powiedzieć, że ryzyko to prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanych zdarzeń przynoszących określone straty (np. wystąpienie większych niż zakładano nierównomiernych osiadań, które ograniczą użytkowanie lub spowodują zamknięcie obiektu).

W całym procesie zarządzania ryzykiem w okresie realizacji inwestycji, poczynając od wstępnego studium jej wykonalności aż po etap eksploatacji gotowego obiektu, zaczyna się od kilku lat postulować bardziej systemowe uwzględnianie ryzyka, którego źródłem jest środowisko gruntowe (*Ground risk management*) (ryc. 1). GeoQ oznacza „**Geo Quality – Geo-Jakość**” – jest to określenie opartego na zarządzaniu ryzykiem systemowego podejścia do rozpoznawania warunków szero-

#### Typ ryzyka:

- Geologiczno-inżynierskie
  - odkształcenie (duże bądź nierównomierne osiadania)
  - wytrzymałość (niestateczność, zapadanie, upłynnienie)
- Hydrogeologiczne
  - ciśnienie piezometryczne
  - szybkie wahania poziomu zwierciadła wód podziemnych
  - niespodziewane nawadnienie warstw
- Środowiskowe
  - zanieczyszczenia wody
  - zanieczyszczenia gruntu
- Antropogeniczne
  - grunty nasypowe
  - pozostałości starych fundamentów
  - obecność podziemnej infrastruktury
  - znaleziska archeologiczne

Ryc. 1. Schematyczne przedstawienie typów i źródeł ryzyka związanego ze środowiskiem gruntowym

Fig. 1. Scheme of ground risk types and sources

ko pojętego środowiska gruntowego w celu efektywnej (technicznie i ekonomicznie) realizacji inwestycji (van Staveren, 2006). Koncepcja takiego systemowego ujęcia powstała w 2000 r. w GeoDelft (The Dutch National Institute for GeoEngineering in The Netherlands).

Wyróżnia się sześć zasadniczych faz GeoQ (van Staveren, 2006), wychodząc od wstępnie określonego projektu inwestycji:

### **Faza 1. Zbieranie danych o projekcie**

**Dane obiektywne**, dotyczące rodzaju budowli i jej funkcji oraz szeroko pojętego środowiska gruntowego, w którym realizowana byłaby inwestycja, oraz **subiektywne**, dotyczące woli inwestora, grup interesów, opinii społecznej, doświadczenia wykonawcy i ekspertów.

### **Faza 2. Identyfikacja ryzyka**

Przewidywanie możliwości wystąpienia ryzyka związanego z danymi zebranymi w fazie 1, a nawet tymi, które nie zostały tam ujęte (chodzi o bardzo szerokie spektrum zagadnień, np. ryzyko nadmiernych osiadań gruntu, ale i możliwość oprostowania inwestycji); niezwykle ważna faza, często ważniejsza od następnych.

### **Faza 3. Opis (klasyfikacja) ryzyka**

**Jakościowy** – określenie priorytetów poszczególnych grup ryzyka (np. w jednym przypadku najważniejsze będzie ryzyko wynikające z czynników finansowych, a w innym wynikające z czynników wodno-gruntowych) i wstępne, ogólne określenie prawdopodobieństwa i ewentualnych strat.

**Ilościowy** – określenie procentowego prawdopodobieństwa oraz konsekwencji wyrażonych jako straty ludzkie, finansowe, czasowe.

### **Faza 4. Przeciwdziałanie ryzyku**

Przeprowadzanie analiz ryzyka (metody FTA, FMEA, FMECA i in.<sup>1</sup>, ISO/TS 14798:2000) i na ich podstawie określenie możliwych do zastosowania środków zapobiegawczych dla zmniejszenia lub całkowitego wyeliminowania opisanych w fazie 3 grup ryzyka (np. wzmocnienie gruntu w celu zabezpieczenia na wypadek wystąpienia większych osiadań lub gotowość do ewentualnego wybudowania parku w ramach rekompensaty dla protestującej społeczności).

### **Faza 5. Oszacowanie ryzyka**

Sprawdzenie, czy na pewno zostały określone wszystkie grupy ryzyka (faza 2 – identyfikacja)? Czy właściwie opisano zidentyfikowane grupy ryzyka (faza 3 – m.in. określenie prawdopodobieństwa i ewentualnych strat)? Czy dla każdego opisanego ryzyka określono sposób przeciwdziałania mu (faza 4)?

### **Faza 6. Wykorzystanie wszystkich danych dotyczących ryzyka w realizacji projektu**

Określanie ryzyka, jak opisano wcześniej, powinno być ponawiane i weryfikowane w kolejnych etapach realizacji inwestycji – etap studium wykonalności, etap przedprojektowy, etap projektowy, etap wykonawstwa oraz eksploatacji. Jest to istotne,

<sup>1</sup> FTA (Fault Tree Analysis) – analiza drzewa błędów (wad); FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) – analiza przyczyn i skutków błędów (wad); FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) – analiza błędów, skutków i sytuacji krytycznych.

gdyż z każdym etapem przybywa informacji o środowisku gruntowo-wodnym i można, poprzez bieżącą identyfikację i klasyfikację ryzyka oraz przeciwdziałanie mu, zmniejszać zagrożenie dla inwestycji ze strony tego środowiska.

Model warunków geologiczno-inżynierskich (zaprezentowany jako mapa czy przekrój), sam w sobie jest hipotetycznym, prawdopodobnym lub wiarygodnym (Kowalski, 1988) obrazem rzeczywistości. Problematyka związana z procesem GeoQ stwarza jednak potrzebę wykorzystania odpowiednich danych geologiczno-inżynierskich oraz zapotrzebowanie na „nowy” rodzaj map – zawierających warstwy informacyjne jeszcze bardziej dające możliwość szacowania ryzyka, jakie będzie chciał uwzględnić inwestor lub projektant obiektu.

Przykładem takiego podejścia do kartografii geologiczno-inżynierskiej w Polsce jest opracowanie w Państwowym Instytucie Geologicznym metodyki przygotowania map ryzyka na podstawie analizy map podatności na osuwanie i ryzyka ekonomicznego dla obszarów osuwiskowych (Piątkowska i in., 2005).

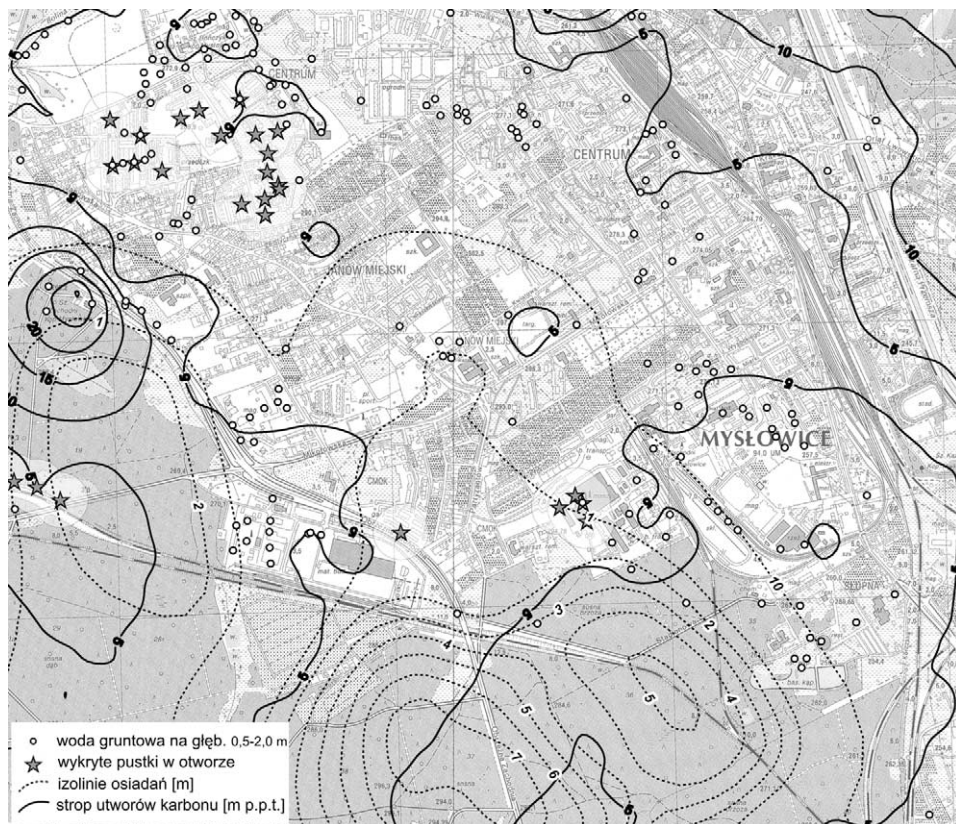
Wykorzystanie dostępnych danych geologiczno-inżynierskich (razem z poszerzonymi danymi hydrogeologicznymi i środowiskowymi) jest podstawą wstępnej oceny wykonalności inwestycji (etap studium wykonalności). Na tym etapie przedstawiony powyżej proces GeoQ koncentruje się głównie na dwóch pierwszych fazach: zbierania danych (faza 1) oraz identyfikacji ryzyka (faza 2). Dla zebrania informacji o środowisku gruntowo-wodnym oraz identyfikacji ryzyka szczególnie istotne są dane w postaci map geologicznych, a zwłaszcza geologiczno-inżynierskich. Nie bez znaczenia jest cyfrowa postać takich danych, zważywszy na fakt, że profesjonalne biura projektowe pracują m.in. w środowisku GIS (Geograficzny System Informacji), stosując różne technologie. Ważną rolę w sprawnym dostarczaniu przestrzennych danych geologiczno-inżynierskich mogą odegrać informacje zawarte w cyfrowych atlasach geologiczno-inżynierskich dużych aglomeracji. Dotychczas, na zamówienie Ministerstwa Środowiska, wykonano atlasy aglomeracji Warszawy i Katowic, a obecnie trwają prace nad opracowaniami kolejnych: Poznania, Krakowa, Trójmiasta i Wrocławia. Atlasy z bazami danych geologiczno-inżynierskich są szczególnie przydatne dla omawianych zagadnień, ze względu na szeroki zakres informacji, łatwość operowania nimi oraz opis terenów silnie zurbanizowanych, gdzie, jak wiadomo, analiza ryzyka dla inwestycji będzie wymagała większej wnikliwości niż dla inwestycji realizowanej poza obszarem miejskim. Na rycinie 2 przedstawiono fragment mapy cyfrowej. Wywołane z bazy danych geologiczno-inżynierskich aglomeracji katowickiej (Dubaj-Nawrot i in., 2005) warstwy informacyjne (głębokość do stropu utworów karbonu, wielkość przewidywanych przez kopalnie osiadań terenu, płytkie występowanie wody oraz obecność pustek w otworach) mogłyby posłużyć np. do opracowania mapy ryzyka dla lokalizacji budynków czy infrastruktury podziemnej.

Należy rozważyć, czy oprócz klasycznych warstw informacyjnych (rodzaj gruntów, głębokość do pierwszego zwierciadła wód podziemnych, procesy geodynamiczne itp.), których logiczny ciąg prowadzi do wygenerowania mapy warunków budowlanych, nie należałoby wzbogacać cyfrowych atlasów o dodatkowe warstwy o charakterze geologiczno-inżynierskim. Te „nowe” warstwy byłyby przydatne do sporządzania map ryzyka dla różnych funkcji terenu, np.:

- pod zabudowę osiedlową,
- dla poprowadzenia podziemnej infrastruktury,
- dla usytuowania parków lub terenów rekreacyjnych,
- dla zastosowania określonej techniki fundamentowania (która może decydować o finansowym „go-no-go” planowanej inwestycji).

Takimi przykładowymi „nowymi” warstwami w opracowaniach kartograficznych mogłyby być m.in.:

- głębokość do warstwy stanowiącej korzystny poziom posadowienia,
- obszary, gdzie fundamentem (dla określonych grup obiektów) musiałaby być płyta lub pale z uwagi na dużą miąższość nienośnych gruntów występujących od powierzchni terenu,
- obszary występowania gruntów mogących ulec upłynnieniu (kurzawki),
- obszary dużych wahań zwierciadła wody czy z podejrzeniem wysokich ciśnień piezometrycznych,



Ryc. 2. Fragment mapy (rejon Mysłowice) wygenerowanej z cyfrowego atlasu geologiczno-inżynierskiego aglomeracji katowickiej

Fig. 2. Map (Mysłowice area) generated with the use of digital engineering-geological atlas of Katowice agglomeration

- obszary zagrożone podtopieniami,
- obszary możliwych zmian w składzie chemicznym wody gruntowej,
- obszary występowania starych fundamentów po dawnych obiektach.

Opcją optymalną byłoby dołączanie do warstw przybliżonej waloryzacji prawdopodobieństwa zajścia niekorzystnych zdarzeń. Oczywiście trudno byłoby o konkretne wyliczenia prawdopodobieństwa, ale mogłyby to być takie dane, jak np.:

- dokładność, z jaką sporządzono daną warstwę,
- wiarygodność informacji geologicznej na danym obszarze wyrażona w postaci liczby otworów na kilometr kwadratowy,
- częstotliwość i zakres wahań zwierciadła wód podziemnych.

Na podstawie dużego zakresu informacji można przejść do fazy identyfikowania ryzyka. Następnie, po oszacowaniu prawdopodobieństwa zajścia poszczególnych niekorzystnych zdarzeń oraz możliwych strat, a więc po sklasyfikowaniu ryzyka, możliwe byłoby wykonanie map ryzyka (technicznej i finansowej wykonalności). Dotyczyłyby one warunków korzystnych i niekorzystnych, jeśli chodzi o ryzyko (finansowe, dodatkowego czasu realizacji, technicznej wykonalności) dla poszczególnych funkcji terenu (osobna mapa ryzyka dla lokalizacji budynków, osobna dla poprowadzenia infrastruktury podziemnej itd.).

Przedstawione propozycje jak najlepszego dostosowania danych geologiczno-inżynierskich do sporządzania na ich podstawie map ryzyka miałyby istotne znaczenie zwłaszcza przy realizacji przedsięwzięć na etapie sporządzania planów zagospodarowania przestrzennego. W wyniku nałożenia na siebie map ryzyka dla poszczególnych funkcji terenu powstanie przybliżony plan zagospodarowania przestrzeni, najbardziej korzystny z punktu widzenia finansowej i technicznej wykonalności oraz dalszej bezpiecznej eksploatacji.

W związku z tym, że fazy „GeoQ” są cykliczne (tzn. powinny być powtarzane dla każdego etapu powstawania inwestycji w miarę, jak przybywa nowych informacji o środowisku powstawania obiektu), uszczegóławiane będą również dane kartograficzne geologiczno-inżynierskie, które posłużą do sporządzenia map ryzyka dla poszczególnych funkcji terenu w kolejnym etapie, np. projektowym.

Opis środowiska gruntowego jest obarczony dużą niepewnością. Koniecznością jest uwzględnienie w realizacji inwestycji systemowego zarządzania ryzykiem związanego ze środowiskiem gruntowym (GeoQ). Stwarza to oczywisty wymóg uczestnictwa we wszystkich etapach realizacji inwestycji doświadczonych geologów inżynierskich. Ich współpraca z projektantami i wykonawcami gwarantuje zarządzanie ryzykiem najbliższe złożonej rzeczywistości środowiska gruntowego, które jest podłożem, otoczeniem, a niekiedy składnikiem powstającego obiektu. Natomiast ze swojej strony, uczestnicząc w takiej współpracy, geolodzy powinni pamiętać, że niepewność opisu podłoża gruntowego, którą oni najlepiej potrafią uwzględnić, przekłada się na konkretne ryzyko techniczne i finansowe wykonalności obiektu, jakie ponosi inwestor.

## Literatura

- Carlsson M., Hintze S., Stille H., 2005. On risk management in large infrastructure projects. Proceedings 16<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 12-16 September, Osaka, Japan. Millpress, Rotterdam, s. 2785–2788.
- Dubaj-Nawrot J., Frankowski Z., Goldsztejn J. i in., 2005. Baza danych geologiczno-inżynierskich wraz z opracowaniem atlasu geologiczno-inżynierskiego aglomeracji katowickiej. Ministerstwo Środowiska, Arch. CAG.
- Hauryńkiewicz J., 2005. Probabilistyczna ocena warunków środowiskowych; zagadnienia metodologii. Przegląd Geologiczny 53: 516–521.
- ISO/TS 14798:2000. Risk analysis methodology.
- Kowalski W.C., 1988. Geologia inżynierska. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Piątkowska A. i in., 2005. Nowe metody badań i monitorowania osuwisk na wybranych obszarach Polski, Czech i Słowacji. Państwowy Instytut Geologiczny, Arch. PiG.
- Staveren van M., 2006. Uncertainty and ground conditions: A risk management approach. Butterworth-Heinemann, UK.
- Szopa T., 2006. Niezawodność i bezpieczeństwo. W: Dietrich M. (red.), Podstawy konstrukcji maszyn. T. 1. Wyd. Nauk.-Techn., Warszawa.

