



Marek Tarnawski, Tomasz Tarnawski

## Przyszłość map geologiczno-inżynierskich

### The future of geological-engineering maps

**Streszczenie:** Druga połowa XX w. była okresem szybkiego rozwoju map geologiczno-inżynierskich. Dzięki postępowi technik komputerowych otrzymaliśmy pierwsze tego typu mapy cyfrowe. Te ciekawe opracowania nie różnią się jednak wiele od swych papierowych poprzedników. To powinno i może się zmienić. Należy stworzyć otwarty system cyfrowych map geologiczno-inżynierskich wsparty znanymi już narzędziami, takimi jak GIS, język zapytań i serwery aplikacji. System taki zawierający odpowiednie bazy danych pozwalałby przeprowadzać zindywidualizowane analizy geologiczno-inżynierskie.

**Słowa kluczowe:** mapy geologiczno-inżynierskie, kwantyfikacja, mapy trójwymiarowe, dane przestrzenne, zindywidualizowane analizy danych, język zapytań, serwery aplikacji

**Abstract:** The second half of XX century was the period of a remarkable development of geological-engineering maps. Thanks to a rapid progress in computer techniques we have obtained lately first digital maps in this particular field. These interesting achievements do not differ much, however, from their paper precursors. It should and can change. An open, digital, geological-engineering map system should be created with help of such already known devices like GIS, query language and WebServices. Individualized geological-engineering analyses could be carried out by means of such a system, supported by appropriate data bases.

**Key words:** geological-engineering maps, quantification, three-dimensional maps, spatial data, individualized data analyses, query language, WebServices

---

Marek Tarnawski, Przedsiębiorstwo Geologiczne „Geoprojekt Szczecin” Sp. z o.o., ul. Tartaczna 9, 70-893 Szczecin, e-mail: m.tarnawski@geoprojekt.szczecin.pl

Tomasz Tarnawski, Wojskowa Akademia Techniczna, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: tomasz.tarnawski@wat.edu.pl

## Mapy geologiczno-inżynierskie dawniej i dziś<sup>1</sup>

Realizacja badań geologiczno-inżynierskich czy też geotechnicznych w celu *ustalenia geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych*<sup>2</sup> ma miejsce zazwyczaj po podjęciu decyzji o konkretnej lokalizacji danej inwestycji. Decyzję taką poprzedzają przedprojektowe studia wykonalności. Ich elementem, bardziej lub mniej istotnym zależnie od charakteru inwestycji i spodziewanych warunków gruntowych, jest wstępna ocena tych ostatnich. Jest ona również niezbędna przy pracach planistycznych nad zagospodarowaniem przestrzennym terenów. Ocena taką umożliwia analiza istniejących danych geologicznych. Mogą to być dane rozproszone zawarte we wcześniejszych opracowaniach szczegółowych (dokumentacjach) lub też ich synteza w formie kartograficznej. Mowa o mapach geologicznych w ogóle<sup>3</sup>, zwłaszcza jednak o wydawnictwach wyspecjalizowanych w tematyce geologiczno-inżynierskiej.

Punktem wyjścia do opracowania mapy geologiczno-inżynierskiej są dane o budowie geologicznej rozpatrywanego terenu. Wypełnienie jej odpowiednią treścią wymaga wykorzystania dostępnych wyników wierceń i innych badań geotechnicznych. Badania takie wykonuje się też specjalnie dla potrzeb mapy, uzupełniając dotychczasowe rozpoznanie. Współcześnie dąży się do pewnej formalizacji liczby punktów badawczych wymaganej w celu udokumentowania zjawisk wglębnych (nie obserwowanych na powierzchni), aby jakość (dokładność) różnych map była porównywalna (Kłosiński i in., 1998; Instrukcja... 1999).

Nowoczesne mapy o charakterze geotechnicznym pojawiły się w Niemczech na początku XX w. (Peter, 1966) i dotyczyły większych miast, takich jak Lipsk, Erfurt czy Gdańsk, bo w miastach zapotrzebowanie na ten rodzaj informacji jest największe (Legget, 1973). Pokazywano na nich np. obszary zagrożone powodzią i z płytko występującą wodą gruntową. Dysponując wynikami dość już licznych wierceń geotechnicznych i studziennych, konstruowano obraz warunków gruntowych podłoża na różnych głębokościach, który to pomysł przetrwał do dziś. Podobnie jak zasada sporządzania analitycznych map tematycznych i syntetycznej mapy przydatności terenów do celów budowlanych.

W drugiej połowie XX w. zauważalny postęp w tej dziedzinie dokonał się m.in. w Europie Środkowej, gdzie spopularyzowano trzystopniową (teren korzystny – przeciętny – niekorzystny) lub czterostopniową ocenę terenów (Malinowski, 1961; Pasek, Rybar, 1961; Różycka, 1965; Łozińska-Stępień, Stochlak, 1970; Stala, 1978).

W ostatnim dwudziestoleciu XX w. nowym impulsem rozszerzającym możliwości kartografii, w tym na potrzeby geologii inżynierskiej, stał się zapis cyfrowy. Kłopotliwą do niedawna potrzebę okresowego uaktualniania takich opracowań w związku z napływem nowych danych wyeliminowały komputerowe bazy danych,

<sup>1</sup> W tym i następnym rozdziale wykorzystano m.in. fragmenty rozdziału 4 książki „Zastosowanie przesjometru w badaniach gruntu” (Tarnawski, 2007).

<sup>2</sup> Sformułowanie polskiego prawa geologicznego.

<sup>3</sup> W warunkach polskich przede wszystkim „Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski” w skali 1:50 000, którą przykryte są już znaczne obszary kraju.

które uzupełniać można na bieżąco. Generalne zasady nie zmieniły się jednak istotnie. Dawne nakładki czy też arkusze tematyczne zastąpiono modułami dzielącymi się na zawierające różne treści warstwy informacyjne. Technika komputerowa i doświadczenia w jej stosowaniu rozwinęły się na tyle, że dopracowano się już pewnych zasad konstruowania cyfrowych map tematycznych i syntetycznych w systemie GIS, których zbiór tworzy „Mapę warunków geologiczno-inżynierskich”. Zapisem tych zasad jest np. „Instrukcja sporządzania mapy warunków geologiczno-inżynierskich” z 1999 r. W świetle tej instrukcji moduł geologiczno-inżynierski jest istotnym elementem tzw. Tematycznego Systemu Informacji Regionalnej (TSIR). W skład „Modułu geologiczno-inżynierskiego” wchodzi „Zespół warstw informacyjnych zaopatrzenia w wodę podziemną” oraz „Zespół warstw informacyjnych podłoża budowlanego”. Poszczególne warstwy tego drugiego to:

- Morfologia powierzchni (podział geomorfologiczny i/lub spadki terenu).
- Grunty (jednostki litogenetyczne) w strefie przypowierzchniowej (na głębokości przemarzania) oraz na głębokościach 2,0 m, 4,0 m i ew. innych.
- Warunki hydrogeologiczne (hydroizohipsy lub/i hydroizobaty wody gruntowej, stany: średni, maksymalny i minimalny, amplituda wahań oraz agresywność wody gruntowej).
- Zagrożenia geologiczne, w tym czynne, uspokojone i potencjalne obszary osuwiskowe, kras, strefy klifów i krawędzi erozyjnych, deformacje głacitektoniczne, grunty zapadowe, dna dolin i obszary zalewowe, obszary bagienno-zastoiskowe, obszary zmienione (skażone, zajęte pod składowiska), szkody górnicze i budowlane.
- Wskaźniki nośności podłoża gruntowego.
- Miejscowe złoża surowców budowlanych.
- Przydatność budowlana podłoża gruntowego.

Kolejne warstwy informacyjne współczesnej „Mapy warunków geologiczno-inżynierskich” służą ostatniej, syntetyzującej warstwie zawierającej ocenę przydatności podłoża gruntowego na rozpatrywanym terenie.

Obecność najpoważniejszych zagrożeń geologicznych, takich jak obszary czynnych lub potencjalnych osuwisk, intensywnego krasu czy strefy klifów bądź krawędzi erozyjnych oznacza (według cytowanej „Instrukcji...”) zalecenie wykluczenia takiego terenu spod zabudowy (tzw. obszary „A”). Parametry podłoża pozwalają zaliczyć pozostałe wydzielone rejonu do:

- obszarów o ograniczonej przydatności dla budownictwa („B”),
- obszarów o przeciętnych warunkach budowlanych („C”),
- obszarów o dobrych warunkach budowlanych („D”).

Kryteriami tej kwalifikacji są:

- inne (lub mniej intensywne) zagrożenia geologiczne (słabo rozwinięty kras, obszary zalewowe, lessowe, wydmowe, bagienne, zastoiskowe, fliszowe, poddane procesom głacitektonicznym lub wietrzeniowym, silnie zmienione antropogenicznie) skutkujące obligatoryjnym zaliczeniem do obszaru „B”,
- głębokość występowania wody gruntowej.

Zalecany w „Instrukcji...” sposób oceny przydatności budowlanej podłoża ma przede wszystkim charakter jakościowy. Obecność zagrożeń geologicznych jest za-

sadniczym powodem uznania danego terenu za nieprzydatny lub mało przydatny dla budownictwa. Głównym elementem oceny ilościowej rzutującym na zaliczenie terenu do kategorii B, C lub D jest głębokość występowania wody gruntowej. Nie uwzględnia się np. zawartych w jednej z warstw informacyjnych spadków terenu, a parametry geotechniczne czy wskaźniki nośności podłoża rozumiane jako orientacyjne wartości dopuszczalnych obciążeń (Wiłun, 2000) są tylko elementem jednej z map analitycznych (jednostki litogenetyczne na głębokości 2,0 m), a nie mapy oceny. Dopiero według innej instrukcji: „Atlasy geologiczno-inżynierskie dla miast” z 2000 r., dostosowanie do potrzeb geologiczno-inżynierskich regionalnego modelu budowy geologicznej obok uwzględnienia zmienności położenia zwierciadła wód gruntowych polegać ma na różnicowaniu zespołów litologicznych i stanów gruntów.

Pierwsze powstające w Polsce atlasy geologiczno-inżynierskie: aglomeracji warszawskiej i katowickiej w skali 1:10 000 stanowiły swoiste poletka doświadczenia pozwalające na wprowadzenie poprawek w metodologii tworzenia baz danych geologiczno-inżynierskich i wykonywania atlasów geologiczno-inżynierskich w systemie GIS (Pinińska, Frankowski, 2005).

Mapa geologiczno-inżynierska Warszawy składa się z trzech warstw tematycznych (Pawlak, Pietrusiewicz, 2002):

- mapa gruntów na głębokości 2 m p.p.t.,
- mapa pierwszego zwierciadła wód gruntowych,
- mapa obszarów o niekorzystnych warunkach budowlanych.

Podstawą do opracowania analitycznej mapy gruntów był podział utworów występujących na terenie Warszawy na serie geologiczno-inżynierskie, które autorzy mapy (Państwowy Instytut Geologiczny we współpracy z Instytutem Techniki Budowlanej) opisali (na podstawie materiałów archiwalnych) odpowiednim zestawem parametrów fizycznych i mechanicznych. Łącznie wydzielono 30 serii, z których kilka nie występuje na rozpatrywanej głębokości 2 m. Mapa syntetyczna wskazuje obszary o niekorzystnych warunkach budowlanych, do których zaliczono: grunty antropogeniczne i słabonośne (grunty organiczne, mady i deluwia oraz specyficzne dla Warszawy interglacjalne, eemskie osady jeziorne Rynny Żoliborskiej), jak również rejony występowania zwierciadła wody podziemnej płycej niż 2 m poniżej powierzchni terenu. Podstawą oceny warunków geologiczno-inżynierskich były wyniki wierceń archiwalnych. Aby z danych punktowych uzyskać obraz dwuwymiarowy (znaczony odpowiednią szrafurą), przyjęto, iż dane zagrożenie występuje w promieniu 100 m od miejsca wykonania wiercenia. Wyróżniono ponadto pas Skarpy Warszawskiej, gdzie poza innymi informacjami wydzielono obszary o okresowej (małej) aktywności procesów osuwiskowych i o czynnych procesach osuwiskowych. Oczywiście „Atlas geologiczno-inżynierski aglomeracji warszawskiej” to tylko jeden z możliwych do przedstawienia przykładów.

Zasadność doboru kryteriów oceny przydatności terenów do celów budowlanych, oceny znaczenia tych kryteriów i wreszcie skalowania pojedynczego kryterium może budzić wątpliwości i dyskusje (Varnes, 1974). W dodatku nawet najlepiej pomyślane kryteria muszą ulec modyfikacji w zderzeniu z geologiczno-inżynierską specyfiką danego rejonu (miasta) oraz ilością i jakością posiadanych

danych geologicznych, nie wspominając już o terminie opracowania mapy i przekazanych do dyspozycji środkach finansowych. Tymczasem planowanie urbanistyczne uwzględnia także inne, nie związane z warunkami geologiczno-inżynierskimi uwarunkowania, jak na przykład infrastruktura, tereny chronione, potencjał ludzki itd. Dla danego wariantu lokalizacji decydent otrzymuje pewną liczbę opracowań branżowych zawierających zdefiniowaną, lecz nie ujednoczoną, jakościową ocenę terenu. Niewykluczone, że pozytywną według jednej grupy zagadnień i negatywną według innej. Określenie znaczenia poszczególnych grup uwarunkowań staje się zagadnieniem kluczowym.

## Od kwalifikacji do kwantyfikacji

### Mapy trójwymiarowe

Uznanie danego terenu za jednoznacznie niekorzystny dla celów budowlanych z uwagi na (znaczne) zagrożenie powodzią czy ruchami osuwiskowymi wydaje się oczywiste. Jednakże minimalizacja tego typu zagrożeń może być kwestią odpowiednich rozwiązań technologicznych, czyli innymi słowy wyższych nakładów finansowych. Rekompensować je może wyjątkowo korzystna z komercyjnego punktu widzenia lokalizacja danego terenu. Z pełną świadomością zagrożenia buduje się przecież nowoczesne (i w miarę bezpieczne) centra miast na terenach o silnym zagrożeniu sejsmicznym. Z drugiej strony poza rejonami, których warunki geologiczno-inżynierskie są niewątpliwie co najmniej kłopotliwe (wspomniany pas Skarpy Warszawskiej), na większości terenów miejskich mamy do czynienia z przeciętnymi lub dobrymi (nomenklatura wg „Instrukcji...” z 1999 r.) warunkami gruntowymi. Na ile są one „dobre” lub „przeciętne”, okazuje się to zazwyczaj dopiero po wykonaniu szczegółowych badań, których wyniki (w zderzeniu z wymuszonymi technologią warunkami posadowienia danego obiektu) bywają (dla inwestora i projektanta) zaskakujące.

Elementy opisywane i oceniane w procesie planowania przestrzennego podzielić można na cztery grupy (Broniewski, 1978) o rosnącej wiarygodności:

- niemierzalne w zbiorach nie uporządkowanych (np. elementy z dziedziny estetyki, w tym zwłaszcza mody),
- niemierzalne w zbiorach uporządkowanych (np. porównywanie rozwiązań przestrzennych z punktu widzenia zdrowia mieszkańców, zachowania walorów przyrodniczych itp.),
- mierzalne w jednostkach naturalnych (czyli *de facto* nieporównywalnych, np. dojazd do pracy w kilometrach lub minutach, czas nasłonecznienia także w minutach, hałas w decybelach, zanieczyszczenie w gramach pyłu na jednostkę powierzchni itd.)
- mierzalne w jednostkach wartości pieniężnej.

Zachęcająca na pierwszy rzut oka koncepcja kwantyfikacji możliwie dużego spektrum analizowanych warunków geologiczno-inżynierskich, a sprowadzająca się do wyznaczenia kosztów dodatkowych, jakie musiałyby być poniesione na da-

nym terenie w stosunku do warunków optymalnych (Tarnawska, Tarnawski, 1980), nie znalazła jednak szerszego uznania. Wydaje się, że przynajmniej zwrócenie większej uwagi na elementy mierzalne w jednostkach naturalnych podniosłoby wiarygodność oceny. Takimi elementami w odniesieniu do typowych podłoży gruntowych są parametry charakteryzujące ich nośność i ściśliwość. Ponieważ oba otrzymujemy podczas badania presjometrycznego, pojawiły się propozycje wykorzystania wyników badań presjometrycznych przy konstruowaniu map geologiczno-inżynierskich (Peter, 1966; Ménard, 1975; Tarnawski, 1983; Baguelin i in., 1984; Tarnawski, 2007). Współczesne polskie instrukcje (op. cit.) zawierają podobne, choć bardziej uproszczone zalecenie: wykorzystania do oceny podłoży orientacyjnych wartości obciążeń dopuszczalnych jako funkcji stopnia zagęszczenia lub plastyczności (Wiłun, 2000).

Syntetyczne mapy geologiczno-inżynierskie, czy to sporządzone wg omawianych wyżej „Instrukcji...”, czy to według innych systemów wartościujących przydatność terenu do celów budowlanych (Pokorny, Tyczyńska, 1963; Matula, 1969; Łozińska-Stępień, Stochlak, 1970), wskazując jedynie, że dany teren z jakiejś przyczyny/przyczyn powinien być wykluczony spod zabudowy, że jego przydatność do budownictwa jest ograniczona lub też, że nadając się pod zabudowę, charakteryzuje się „przeciętnymi” albo „dobrymi” warunkami budowlanymi, nie pozwalają na odczytanie szczegółów na temat ściśliwości czy nośności podłoża. Bardziej przydatne są mapy o charakterze analitycznym, na przykład mapa przedstawiająca grunty podłoża budowlanego wraz z ich geotechniczną charakterystyką albo mapa wskaźników nośności podłoża gruntowego. Analizując geotechniczne warunki posadowienia, rozpatrzeć musimy jednak strefę aktywną budowli, a w przypadku posadowień pośrednich znać położenie stropu i własności gruntów nośnych. Jak z tego wynika, nawet jeśli wybierzemy mapę obrazującą warunki geologiczno-inżynierskie w poziomie posadowienia, informacja, którą w ten sposób uzyskamy, będzie niewystarczająca. Chyba że mamy pewność, iż grunt w strefie aktywnej jest jednorodny.

Choć pokazanie profilu pionowego na płaszczyźnie mapy nie jest łatwe (w przeciwieństwie do takich form graficznych, jak przekrój czy blokdiagram), znane są przynajmniej trzy sposoby takiej wizualizacji. Najprostszym są mapy odkryte albo raczej serie takich map. Są to obrazy intersekcji profili z płaszczyznami, najczęściej wyznaczającymi pewną rzędną, lub powierzchniami: równych głębokości czy też charakterystycznymi dla danego obszaru (np. spąg warstwy nasypowej, strop gruntów nośnych, plejstocenu, podłoża skalnego itp.). Mapy paskowe wskazują na rodzaj gruntu warstwy podścielającej kolorem pasków przecinających barwę oznaczającą utwór zalegający przypowierzchniowo. Metoda najbardziej zaawansowana polega na wydzielaniu na mapie rejonów oznaczających następstwo dwóch lub więcej jednostek – rodzajów gruntu, czasem również wielkość takich czynników, jak spadek terenu, głębokość do zwierciadła wody gruntowej itp. (Varnes, 1974).

Łatwo sporządzić mapę trójwymiarową w sytuacji, gdy na całym analizowanym obszarze mamy do czynienia z kilkoma zaledwie charakterystycznymi seriami osadów (gruntów). Przykładem mogą być nadmorskie tereny Holandii, gdzie wydziela się trzy serie osadów holoceniowych: dwie osadów morskich (Calais i Dunkierki) i rozdzielające je torfy (tzw. holenderskie). W takiej sytuacji można zobrazować na

mapie wszystkie możliwe profile litologiczne (Hageman, 1963). Jeśli budowa geologiczna rozpatrywanego terenu jest bardziej skomplikowana, obraz trójwymiarowy konstruować można, korzystając z palety znanych możliwości wizualizacyjnych. Obok kolorów (szrafur) stosować można symbole punktowe, wspomnianą już metodę pasków, a także izoliny oznaczające zróżnicowanie miąższości względnie izohipsy. Głębokość rozpoznania zależeć powinna od celu, dla którego sporządza się mapę. Mniejsza będzie dla generalnych celów planistycznych czy typowych rodzajów budownictwa, a większa np. na potrzeby budowy tam: tuneli, garaży podziemnych czy składowisk odpadów (Matuła, 1999) oraz w przypadkach, gdy na danym terenie trudno będzie uniknąć posadowień pośrednich.

Poza dwuwymiarowy obraz mapy powierzchniowej (czy wykonanej na pewnej głębokości) wykracza interesująca koncepcja *osiadania standardowego* (Ménard, 1975), która charakteryzuje podłoże budowlane jako całość. Metoda ta wykorzystuje znajomość modułu presjometrycznego gruntów  $E_M$  w strefie aktywnej budowli. *Osiadanie standardowe* dotyczy typowego przypadku trzech równoległych łąw o rozstawie 4,5 m i szerokości 1 m wywierających na podłoże obciążenie dodatkowe  $q = 100$  kPa. Wielkość osiadania standardowego  $s_{st}$  wylicza się z wzoru:

$$s_{st} = \sum_{i=0}^{i=25} \frac{n_i}{E_{Mi}} \quad (\text{w milimetrach dla } E_M \text{ w MPa}).$$

Wartości zależnego od głębokości współczynnika proporcjonalności  $n$  wyliczone do przyjętych założeń fundamentowania wahają się w szerokich granicach (od 0,2 do 34,5) zależnie od głębokości (rozpatrywana strefa od zera do 25 m) i rodzaju gruntu. Uproszczenie metody osiadania standardowego pozwalające na ograniczenie głębokości wykonywania badań presjometrycznych do 10 m poniżej zakładanego poziomu posadowienia (cięcia mapy) zaproponował Tarnawski (1983). Umieszczając wartości osiadania standardowego na wykonanej tradycyjnie mapie oceny warunków geologiczno-inżynierskich, uzyskamy ilościową definicję poszczególnych rejonów. Dysponując pewną liczbą punktów badawczych w obrębie jednego wydzielenia (albo też abstrahując od przedstawionej na mapie rejonizacji), możemy opracować mapę izoliniową osiadania standardowego, co zobrazuje zmienność podłoża w sposób czytelny i zrozumiały dla inżyniera.

Prowadząc rozważania na ten temat, stwierdzić należy, że poza tak skrajnie jednoznaczными przypadkami, jak młode i nie skonsolidowane grunty organiczne czy bardzo luźne (tzw. „lotne”) piaski z jednej strony, a bardzo zagęszczone piaski, zwarte gliny i wreszcie skały z drugiej, używanie pojęć „grunt słaby” (słabonośny) bądź „grunt mocny” w oderwaniu od obciążenia, jakie ten grunt ma przenieść (czyli innymi słowy – od rodzaju budowli i jej fundamentu), jest mocno nieprecyzyjne. Plastyczne, a więc w potocznym rozumieniu słabe gliny przeniosą bez nadmiernych osiadań obciążenie od posadawianego na płycie domu jednorodzinnego, podczas gdy posadowienie bezpośrednie na podobnym fundamencie wieżowca może w przeciętnych warunkach (twardoplastyczne gliny, średnio zagęszczone piaski) okazać się zbyt ryzykowne. W świetle powyższego opracowanie mapy geologicz-

no-inżynierskiej, która by równie przejrzysto informowała o warunkach płytkiego posadowienia lekkiego pawilonu handlowego i drapacza chmur o kilku kondygnacjach podziemnych wydaje się przedsięwzięciem karkołomnym. Należałoby może optować za wersją ukierunkowaną na zabudowę najbardziej typową, a więc posadowienie od głębokości przemarzania (w warunkach polskich około 1 m p.p.t.) do 3–4 m poniżej terenu i obciążenia jednostkowe rzędu 100–300 kPa.

Dysponując wynikami badań presjometrycznych skorelowanymi z wydzieleniami na mapie geologiczno-inżynierskiej, można z dużą dokładnością<sup>4</sup> oszacować nośność podłoża i spodziewane osiadania, o ile mapa zostanie właściwie, „trójwymiarowo” skonstruowana, a sposób uśrednienia wartości modułów presjometrycznych będzie uwzględniał decydującą rolę strefy bezpośrednio poniżej poziomu posadowienia (Tarnawski, 2007). Mała popularność badań presjometrycznych każe jednak poszukiwać rozwiązań bardziej uniwersalnych.

## Sugerowane kierunki rozwoju

Takie poszukiwania już trwają. Służby geologiczne krajów zachodnich pracują nad metodyką kartografii geologicznej w erze postpapierowej (Thorleifson, 2003). Mapy powierzchniowe i odkryte są dygitalizowane i adjustowane, a objaśnienia porządkowane i homologizowane. W miarę rozwoju technologii informacji i procedur operacyjnych poszukiwane są modele 3D integrujące obrazy utworów powierzchniowych i podłoża. Wydaje się, że stoimy w przeddzień rewolucji (reorientacji) od „ideologii” map papierowych (także tych tworzonych obecnie na ekranie komputera) do modeli, w których nowoczesne technologie informatyczne znajdują pełne zastosowanie.

Pomysł na przyszłość zdaje się dziś nosić szyld „SDI” – Spatial Data Infrastructure. Hasło to odnosi się do idei tworzenia wszechstronnej bazy danych przestrzennych (czy, w jakimś sensie, federacji baz danych), która wraz z narzędziami ich prezentacji i analizy byłaby udostępniana<sup>5</sup> przez Internet. Prototyp takiego rozwiązania już w Polsce powstał; jest on dostępny pod internetowym adresem: [www.geo-portal.pl](http://www.geo-portal.pl). Jedną z (niewielu) obecnych tam map tematycznych jest redagowana przez Państwowy Instytut Geologiczny mapa „Central Geological DataBase” (Gogolek, 2005). Internetowa strona Instytutu ([mpg.pgi.gov.pl](http://mpg.pgi.gov.pl)) pozwala użytkownikowi Internetu na korzystanie również z mapy „GeoEnvironmental Map of Poland”. Choć na dzień dzisiejszy zawartość informacyjna i funkcjonalność tych portali jest uboga, jest to zwiastun tego, czego możemy spodziewać się w przyszłości.

Technika komputerowa może pozwalać na dużo więcej niż tylko sprawniejsze uzyskiwanie starych efektów (tzn. tych znanych nam już z map papierowych). Jeśli tylko odpowiednio techniki tej użyć. Dotychczasowe osiągnięcia w tej mierze zdają się sprowadzać do umożliwienia interaktywnego przeprowadzania prostych analiz, jak zautomatyzowane wyszukiwanie obiektów terenowych spełniających zadane

<sup>4</sup> Większą niż stosując wspomnianą wyżej metodę osiadania standardowego.

<sup>5</sup> Powszechnie lub z określonymi ograniczeniami wynikającymi z przepisów prawa związanych z ochroną tych danych, mechanizmów odpłatności za ich udostępnianie itp.

kryteria (np. „wyszukaj ujęcia wody pitnej o wydajności przynajmniej ... znajdujące się w odległości nie większej niż ... od miast o liczbie mieszkańców powyżej...”). Choć w stosunku do mapy papierowej postęp jest istotny, to jednak, zdaniem autorów, niewystarczający. Zakres swobody wyboru „widoku” mapy jest też skromny. Sprowadza się do wyświetlenia („włączenia”) wybranych zestawów warstw danych bazowych (np. „wody” obejmujące m.in. warstwy: działy wodne, źródła, ujęcia wód, zbiorniki retencyjne, klasy czystości itd.) lub wyników pewnych arbitralnie zdefiniowanych agregacji/syntez (np. wspomniana wcześniej mapa klasyfikacji warunków gruntowych czy mapa cięć).

Celem, któremu mają służyć cyfrowe mapy geologiczno-inżynierskie, jest wspomaganie podejmowania decyzji w zakresie planowania przestrzennego, lokalizacji obiektów, oceny opłacalności czy możliwych zagrożeń dla środowiska we wczesnych fazach przygotowania inwestycji (Pinińska, Frankowski, 2005). Wsparcie takie za pomocą dostępnych obecnie map cyfrowych nie daje jakościowego skoku w stosunku do używania map papierowych. Dopiero możliwość kreowania własnych analiz opartych na indywidualnie zadanych agregatach danych przestrzennych zapewni, zdaniem autorów, przełom w zastosowaniu dla omawianych celów techniki komputerowej.

Pierwszym nasuwającym się przykładem mogłoby być wykorzystanie wyników uzyskanych ze specjalistycznych inżynierskich algorytmów obliczeniowych dotyczących fundamentowania bądź stateczności zboczy. Inny przykład: należy podjąć decyzję o właściwej lokalizacji obiektu potencjalnie szkodliwego (składowisko odpadów, rafineria itp.). Technicznie nic nie stoi na przeszkodzie, by oprogramowanie korzystające z danych przestrzennych wygenerowało pokrycie powierzchni obszarami skategoryzowanymi wg przydatności dla tej konkretnej inwestycji (np. za pomocą izolinii od 0 do 100% oznaczających stopień „odpowiedniości” terenu). W analizie takiej uwzględniono by na przykład kierunki spływu wód powierzchniowych i gruntowych, przepuszczalność gruntów podłoża, kierunki wiatru, odległości od obszarów chronionych (zabudowa mieszkalna, ujęcia wodne, pomniki przyrody), dostępność komunikacyjną terenu itp. Kolejny decydent mógłby chcieć wybrać z całego obszaru przyszłej inwestycji najlepszą (tu w sensie najniższych kosztów posadowienia) lokalizację dla pewnego konkretnego wywierającego znaczne obciążenia i/lub wrażliwego na osiadania obiektu (wieżowiec, komin, blok energetyczny elektrowni). Przydatność terenu zależałaby tym razem głównie od warunków gruntowych. W tym przypadku odpowiednia mapa mogłaby na przykład zawierać izolinie wielkości osiadań lub szacowanych kosztów posadowienia.

Dane przestrzenne wymagane do powyższych przykładowych analiz często są (lub mogą być) łatwo dostępne<sup>6</sup>. Algorytmy oceny przydatności terenu pod kątem określonych rodzajów obiektów również są zwykle powszechnie znane (zadane przez odpowiednie normy branżowe) i często mają już komputerowe implementacje. Kluczem do sukcesu jest „jedynie” umieszczenie wszystkich tych elementów w jednym miejscu tak, by móc w prosty sposób otrzymać właściwy efekt. System

<sup>6</sup> Oczywiście mając na uwadze, iż dokładność małoskalowych map jest z założenia niższa, niż dokumentacji geologiczno-inżynierskiej wykonanej specjalnie dla danego terenu i planowanej inwestycji.

mapy cyfrowej pozwalający na swobodne definiowanie własnych metod analizy i prezentacji danych, inkorporujący „zewnętrzne” algorytmy obliczeniowe (niekoniecznie *stricte* z zakresu geologii inżynierskiej, ale też z zupełnie innych dziedzin, np.: zagadnienia dostępności komunikacyjnej), to zdaniem autorów właściwy kierunek ku przyszłości geologicznych (i nie tylko) map cyfrowych.

Wyzwaniem nie jest tu samo umożliwienie definiowania takich analiz – wiodące pakiety GIS dają bowiem od wielu lat możliwości „samodzielnego” ich zaprogramowania (przykładem mogą tu być pakiety *GeoMedia* firmy Intergraph czy *ArcGIS* ESRI). Problemem jest ów cudzysłów przy słowie „samodzielnego”: na dzień dzisiejszy definiowanie tego typu zindywidualizowanych analiz nie jest bezpośrednio dostępne z interfejsu użytkownika pakietów GIS ani tym bardziej z interfejsu portali udostępniających mapy cyfrowe w Internecie. Co więcej, osiągnięcie takich efektów wymaga dobrej znajomości wewnętrznych struktur danych konkretnego środowiska oraz umiejętności sprawnego programowania – samodzielnie wykonać to mogą jedynie nieliczni, naprawdę zaawansowani użytkownicy. Właściwym krokiem w kierunku pokonania tej trudności byłoby rozpoczęcie prac nad sformułowaniem odpowiedniego, ujednoliconego (ale i otwartego) języka zapytań pozwalającego na pobieranie istniejącej już „gdzieś” szczegółowej wiedzy (danych) związanej z planowaniem inwestycji. Najszybszym sposobem kompilacji niezbędnego oprogramowania z różnych dziedzin wydaje się obecnie wykorzystanie technologii serwerów aplikacji (*WebService*).

Trudno nie przyklasnąć inicjatywie Ministerstwa Środowiska realizującego od kilku lat program atlasów geologiczno-inżynierskich aglomeracji miejskich. Mając jednak na uwadze szybki rozwój technik komputerowych, a także postulaty zawarte w niniejszym artykule, należałoby, zdaniem autorów, skupić się na dokumentacyjnej stronie tych prac, czyli tworzeniu i uzupełnianiu baz danych zawierających jak najmniej przetworzone wyniki badań<sup>7</sup>, a jednocześnie rozpocząć prace studialne nad rozwojem takich otwartych<sup>8</sup> środowisk GIS, który zaowocowałby systemem cyfrowej mapy geologiczno-inżynierskiej mogącym wygenerować odpowiedzi na praktycznie dowolne pytania inwestora – decydenta, planisty, inżyniera czy geologa inżynierskiego – poprzez skompilowanie map dostosowanych do ich nawet najbardziej zindywidualizowanych potrzeb. Celem powyższych, z konieczności mocno skrótowych, rozważań było przekonanie czytelnika, że taka koncepcja nie jest już dziś *science fiction*.

## Literatura

Atlasy geologiczno-inżynierskie dla miast. Instrukcja wykonywania techniką komputerową, 2000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

<sup>7</sup> Wadą opracowań „ograniczonych” w sensie wstępnej selekcji danych źródłowych jest bezpowrotna w zasadzie utrata informacji, które za kilka lat mogłyby okazać się cenne i możliwe do wykorzystania.

<sup>8</sup> Nie tylko w znaczeniu informatycznym, ale i ogólniejszym. Powinien on uwzględniać kumulatywny wzrost wiedzy naukowej i rosnącą liczbę danych. Musi zapewniać zarówno możliwość rozbudowy o nowe, pierwotnie nie przewidywane moduły, jak i wprowadzanie poprawek funkcji już wprowadzonych.

- Baguelin F., Jézéquel J.F., Shields D.H., 1984. Badania presjometryczne a fundamentowanie. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Broniewski S., 1978. Rozmieszczenie inwestycji w miastach. PWE, Warszawa.
- Gogolek W., 2005. The application of GIS in geological cartography. *Przegląd Geologiczny* 10/2: 913–916.
- Hageman B.P., 1963. A new method of representation in mapping alluvial areas. *Verh. Kon. Ned. Geol. Minib. Gen.; Geol. ser. 21–2, Jlpb. Conv. 2: 211–219.*
- Instrukcja sporządzania mapy warunków geologiczno-inżynierskich w skali 1:10 000 i większej dla potrzeb planowania przestrzennego w gminach, 1999. Ministerstwo Środowiska, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Kłosiński B., Bażyński J., Frankowski Z., Kaczyński R., Wierzbicki S., 1998. Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa.
- Legget R., 1973. *Cities and Geology*. McGraw-Hill, New York.
- Łozińska-Stępień H., Sochlak J., 1970. Zasady sporządzania map inżyniersko-geologicznych dla miast i ich aglomeracji. Aktualne problemy geologii inżynierskiej. Warszawa.
- Malinowski J., 1961. *Ingenieurgeologische Karten Polens für das Bauwesen*. Zeitschrift für angewandte Geologie 7, 3, Berlin.
- Matula M., 1969. Regional engineering geology of Czechoslovak Carpathians. Publishing House Slovak Acad. Sci., Bratislava.
- Matula M., 1999. Development in Regional Engineering Geology and Mapping in Slovakia. *Acta Geologica Universitatis Comenianae* 53: 27–35.
- Ménard L., 1975. Interpretation and Application of Pressuremeter Test Results to Foundation Design. *Sols Soils* 26.
- Pasek J. Rybar J., 1961. Die Darstellung ingenieurgeologischen Verhältnisse in der Karte. *Zeitschrift für angewandte Geologie* 7, 3, Berlin.
- Pawlak J., Pietrusiewicz W., 2002. Mapa geologiczna Warszawy. w: <http://agenda21.warszawa.um.gov.pl/geolog.htm>.
- Peter A., 1966. *Essai de carte géotechnique*. *Sols Soils* 16.
- Pinińska J., Frankowski Z., 2005. Significance of geological cartography in priority problems of engineering geology. *Przegląd Geologiczny* 10/2: 942–948.
- Pokorny J. Tyczyńska M., 1963. Method of evaluation of relief for land planning purposes (on example of the region of Kraków). *Problems of geomorphological mapping*. Inst. of Geography Polish Acad. Sci. *Geog. Studies* 46: 95–99.
- Różycka W., 1965. *Zarys fizjografii urbanistycznej*. Arkady, Warszawa.
- Stala Z., 1978. Warunki geomorfologiczne wybranych miast, a ich struktura przestrzenna. IKS Wyd. Akcydensowe, Warszawa.
- Tarnawska E., Tarnawski M., 1980. Ilościowa ocena warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb planowania przestrzennego. *Inżynieria Morska* 9: 322–336.
- Tarnawski M., 1983. Wykorzystanie badań presjometrycznych dla rejonizacji geologiczno-inżynierskiej. *Inżynieria Morska* 2: 254–257.
- Tarnawski M., 2007. *Zastosowanie presjometru w badaniach gruntu*. PWN, Warszawa.
- Thorleifson H., 2003. *Przyszłe mapy geologiczne – numeryczne, interaktywne i 3D*. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia 6.
- Varnes D.J., 1974. *The Logic of Geological Maps, With Reference to Their Interpretation and Use for Engineering Purposes*. U.S. Geological Survey Professional Paper 837.
- Wiłun Z. 1976, 2000. *Zarys geotechniki*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa. Wyd. I, IV.

