

## Budowa cyfrowego modelu geologicznego dla Wielkiej Brytanii

Stephen Mathers<sup>1</sup>



**The Construction of a National Geological Model for Britain.** Prz. Geol., 62: 807–811.

*A b s t r a c t.* BGS has recently stopped its' systematic surveying and litho-printed geological map production. Instead we are undertaking integrated responsive mapping and 3D modelling in user-defined target areas using all available geospatial data (maps, boreholes, geophysics) assessed in a single workspace. The output will be 3D geological framework models that capture the understanding and interpretation of the survey geologist. These 3D geological maps (framework models) are used for both visualisation and analysis to enable management of the subsurface. Downstream the models can be populated with properties for process modelling. These models enhance corporate datasets and can be further edited, what would then result in newer improved versions being returned to the object store.

**Keywords:** 3D geological model, UK geology

Gwałtownie rozwijająca się cywilizacja jest zarówno przyczyną, jak i – w coraz większym stopniu – ofiarą zagrożeń środowiskowych. Katastrofy naturalne są konsekwencją procesów zachodzących na naszej planecie od czasów preindustrialnych. Należą do nich trzęsienia ziemi, wybuchy wulkanów czy tsunami. Ponieważ nie potrafimy im przeciwdziałać, naszą odpowiedzią na te zjawiska może być jak najskuteczniejsze ich prognozowanie i łagodzenie ich skutków. Drugim rodzajem zagrożeń są te, które wynikają z coraz intensywniejszego użytkowania przez nas ograniczonych zasobów naszej planety. Antropopresja powoduje między innymi ocieplenie klimatu, kwaśne deszcze i skażenie środowiska. Często też działalność człowieka nasila niekorzystne dla nas zjawiska naturalne, jak powodzie czy osuwanie się gruntu, do czego przyczyniają się modyfikacje w sposobie użytkowania terenu, np. związany z wyrębem lasów przyspieszony spływ wód powierzchniowych i erozja gleb.

Jako jedna z wiodących gospodarek świata i jedno z największych państw uprzemysłowionych, Wielka Brytania powinna wziąć na siebie znaczną część odpowiedzialności za skutki rozwoju cywilizacyjnego oraz za to, jak nasza dzisiejsza i przyszła aktywność będzie wpływała na środowisko. Dlatego też brytyjska Rada Badań nad Środowiskiem (NERC – Natural Environment Research Council) powinna stawać na czele działań służących obserwacji środowiska naturalnego Ziemi i angażować się w skuteczne nim zarządzanie. Jednym z kluczowych komponentów środowiska naturalnego jest geosfera, którą w ramach NERC zajmuje się Brytyjska Służba Geologiczna (BGS – British Geological Survey).

Do skutecznego zarządzania geosferą potrzebujemy dwóch podstawowych instrumentów:

- odtworzenia struktury rozmieszczenia skał w podłożu w postaci modelu przestrzennego,
- określenia własności fizycznych i chemicznych tych skał, w celu umożliwienia symulacji procesów geologicznych i tych spowodowanych antropopresją, zachodzących w obrębie geosfery.

### BGS DZIŚ

W 2012 r. BGS zaprzestała wydawania drukowanych map geologicznych i prowadzenia ciągłych badań geologicznych na ich potrzeby. Teraz będziemy szukać odpowiedzi na problemy zdefiniowane przez użytkowników geosfery, prowadząc kompleksowe badania z wykorzystaniem wszystkich wcześniej uzyskanych danych geologicznych (map, wierceń, danych geofizycznych), zintegrowanych w jednej przestrzeni roboczej. Wynikiem tych prac będą trójwymiarowe, ramowe modele geologiczne w pełni oddające wiedzę geologa terenowego i jego interpretację danych geologicznych (Kessler & Mathers, 2004). Takie trójwymiarowe mapy (modele ramowe) używane są do wizualizacji i analiz, umożliwiających zarządzanie przestrzenią geologiczną. W następnej kolejności modele te mogą być wypełniane parametrami, niezbędnymi do modelowania konkretnych procesów.

Obecnie BGS jest w trakcie składania wykonanych dotychczas modeli (ryc. 1) w jeden wieloskalowy (kodowany z różną rozdzielczością) Model geologiczny Wielkiej Brytanii (MGWB). W tym makro-modelu będą przechowywane zarówno wykonane już modele cząstkowe w postaci „zamrożonej”, jak też obiekty z nich wyekstrahowane, np. powierzchnie, bryły czy przekroje. Istniejące dziś modele całego kraju (ryc. 2) i modele regionalne są zbyt ogólne i motywują nas do pracy nad ich uszczegółowieniem. Chcielibyśmy, aby każdy węzeł modelu, będący zarazem punktem wieloskalowej bazy danych, reprezentował naszą najtrafniejszą interpretację.

Jeszcze do niedawna brakowało nam efektywnych narzędzi do obrazowania budowy geologicznej w przestrzeni trójwymiarowej. Dziś jednak rozwój technik komputerowych spowodował, że korzyści z ich stosowania mogą być znaczące nie tylko dla profesjonalnych geologów, ale w coraz większym stopniu istotne dla społeczeństwa i użyteczne w edukacji geologicznej. Dlatego też mapy geologiczne nie będą już sztandarowym wytworem BGS, a ich miejsce zajmą „ramowe” modele geologiczne, które będziemy aktualizować i modyfikować w sposób

<sup>1</sup> Natural Environment Research Council, British Geological Survey, Environmental Science Centre, Nicker Hill, Keyworth, Nottingham, UK, NG12 5GG; sjma@bgs.ac.uk.

ciągły. Zakładamy, że wraz z napływem nowych danych geologicznych, będą one uzupełniane i doskonalone.

### OPROGRAMOWANIE I MODELE WYNIKOWE

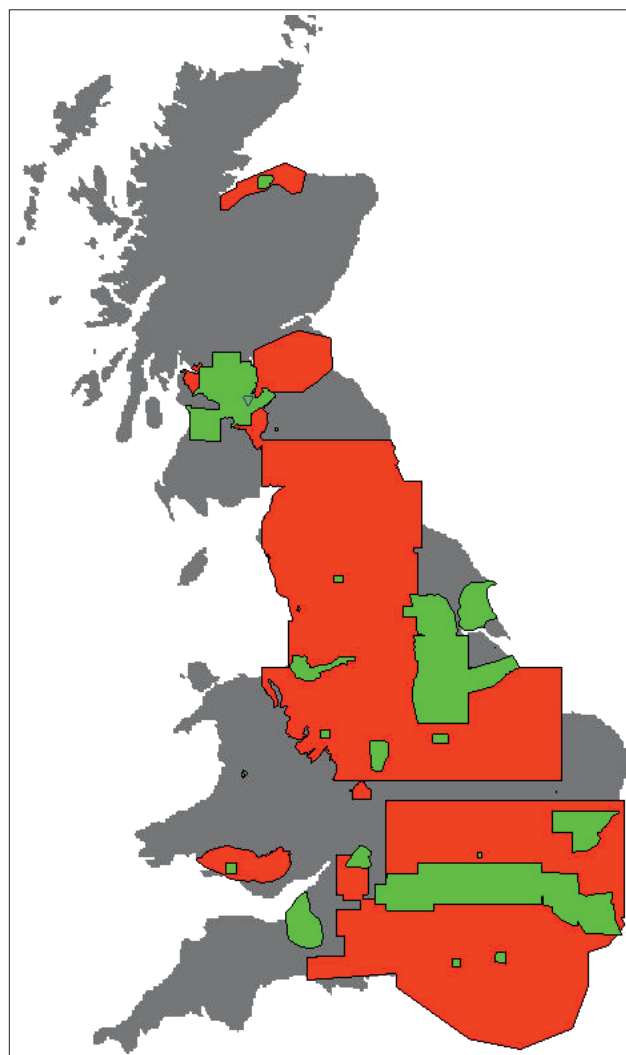
W ostatnich 30 latach BGS znacznie rozwinęła swój potencjał w zakresie modelowania przestrzennego dzięki zastosowaniu różnorodnych metodologii i oprogramowania, służących tworzeniu modeli w skalach ogólnokrajowych i lokalnych. Obecnie wykorzystujemy dwie podstawowe aplikacje: GoCAD i GSI3D. Pierwsza z nich używana jest przede wszystkim do wykonywania modeli podłoża tam, gdzie mamy do czynienia ze strukturami skomplikowanymi i silnie zuskokowanymi. Takie modele wykonujemy na podstawie danych geofizycznych, danych z głębokich otworów wiertniczych i danych powierzchniowych. Natomiast GSI3D używany jest przede wszystkim do wykonywania modeli struktur przypowierzchniowych, antropogenu i modelowania mało skomplikowanej geologii podłoża. Te modele sięgają w głąb na nie więcej niż około 500 m, a proces modelowania opiera się na korelowaniu przekrojów geologicznych tworzonych na rzecz konkretnego zastosowania (Kessler i in., 2009).

Te dwie aplikacje umożliwiają BGS wykonanie modelu niemal każdej struktury geologicznej Wielkiej Brytanii, w dowolnej rozdzielczości. Przy okazji budowania modeli ramowych weryfikowane są wszystkie rodzaje danych geologicznych, które posłużyły do ich konstrukcji.

W wyniku prac nad modelami powstają różnorodne obiekty: zrzuty ekranowe modeli i trójwymiarowe pliki pdf umieszczone w raportach, mapy pochodne ilustrujące poszczególne problemy geologiczne oraz gridy i tyny (sieci prostokątów i trójkątów), przeznaczone do wczytania w systemach GIS i dostosowane do potrzeb konkretnych użytkowników modeli. Modele mogą być również dostarczane użytkownikom w postaci bloków przestrzennych ze wszystkimi atrybutami, zapisanymi w naszej autorskiej przeglądarce (LithoFrame Viewer). Przeglądarka ta umożliwia eksplorację modeli, ich „szatkowanie” w dowolnym kierunku, czyli tworzenie syntetycznych profili otworów, przekrojów i map ściana na dowolnym poziomie. Przy użyciu innego produktu BGS – Geovisionary – modele i ich elementy mogą być umieszczane w środowisku dynamicznym, gdzie można obserwować zależności pomiędzy ukształtowaniem terenu, budową geologiczną i infrastrukturą, „przemieszczając się” poprzez i pomiędzy poszczególnymi elementami modelu.

### MODEL GEOLOGICZNY WIELKIEJ BRYTANII (NGM – NATIONAL GEOLOGICAL MODEL)

Tworzony przez BGS ramowy MGWB będzie efektem wielorozdzielczego precyzyjnego geokodowania z możliwością skalowania, pokrywającego powierzchnię całego kraju na lądzie i w strefie morskiej. Istniejące dane, które zostaną włączone do modelu, to przede wszystkim cyfrowe mapy geologiczne we wszystkich skalach (warstwa powierzchniowa), zapiski i raporty z geologicznych prac polowych, zawierające użyteczne mapy izolinii i izopach (również te dotyczące obszarów morskich), istniejące modele geologiczne, powierzchnie i dane geofizyczne.



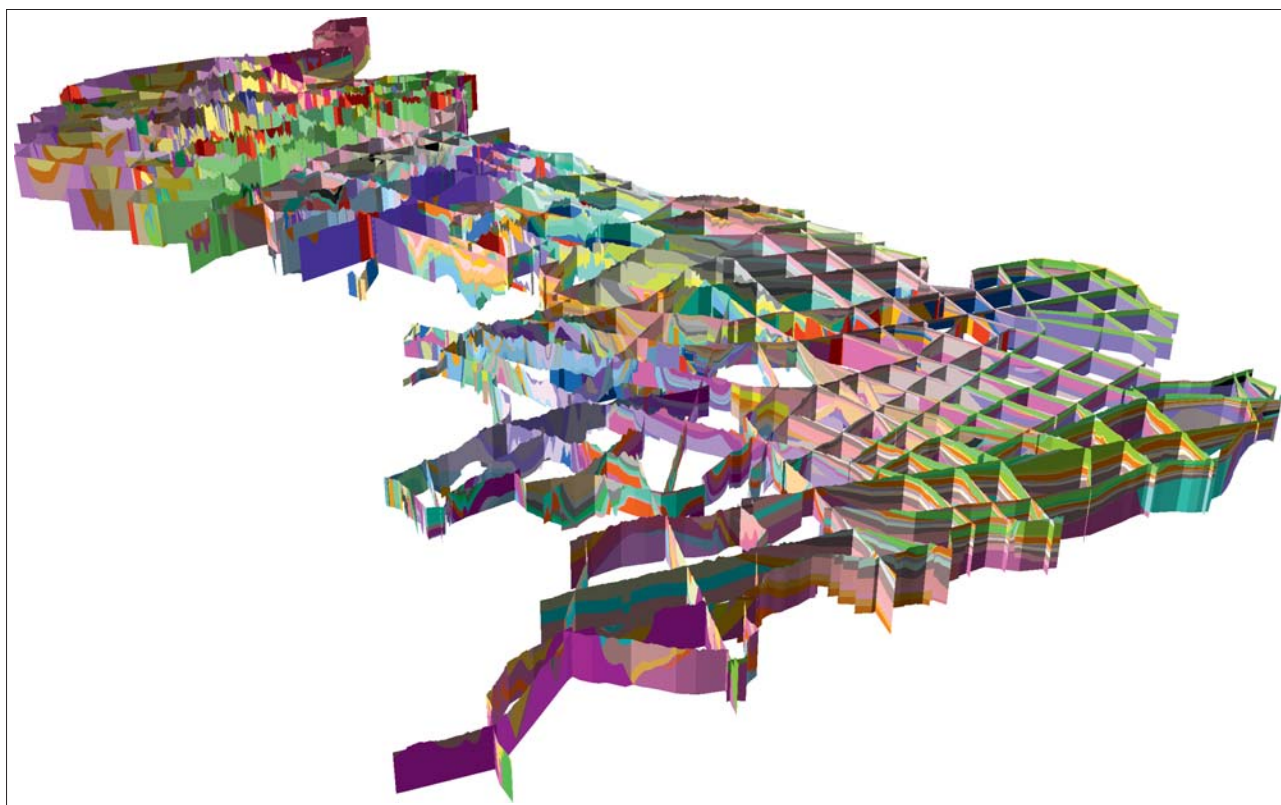
**Ryc. 1.** Opracowane w BGS modele geologiczne; szary – modele powierzchni (horyzontów) geologicznych dla Wielkiej Brytanii w rozdzielczości odpowiadającej skali 1 : 1 000 000, czerwony – modele regionalne w rozdzielczości odpowiadającej skali 1 : 250 000, zielony – modele szczegółowe w rozdzielczości odpowiadającej skali od 1 : 50 000 do 1 : 10 000

**Fig. 1.** Existing BGS models; grey – national 1 Million scale surfaces (horizons), red – 250 000 scale regional models and green – 50 000–10 000 scale detailed models

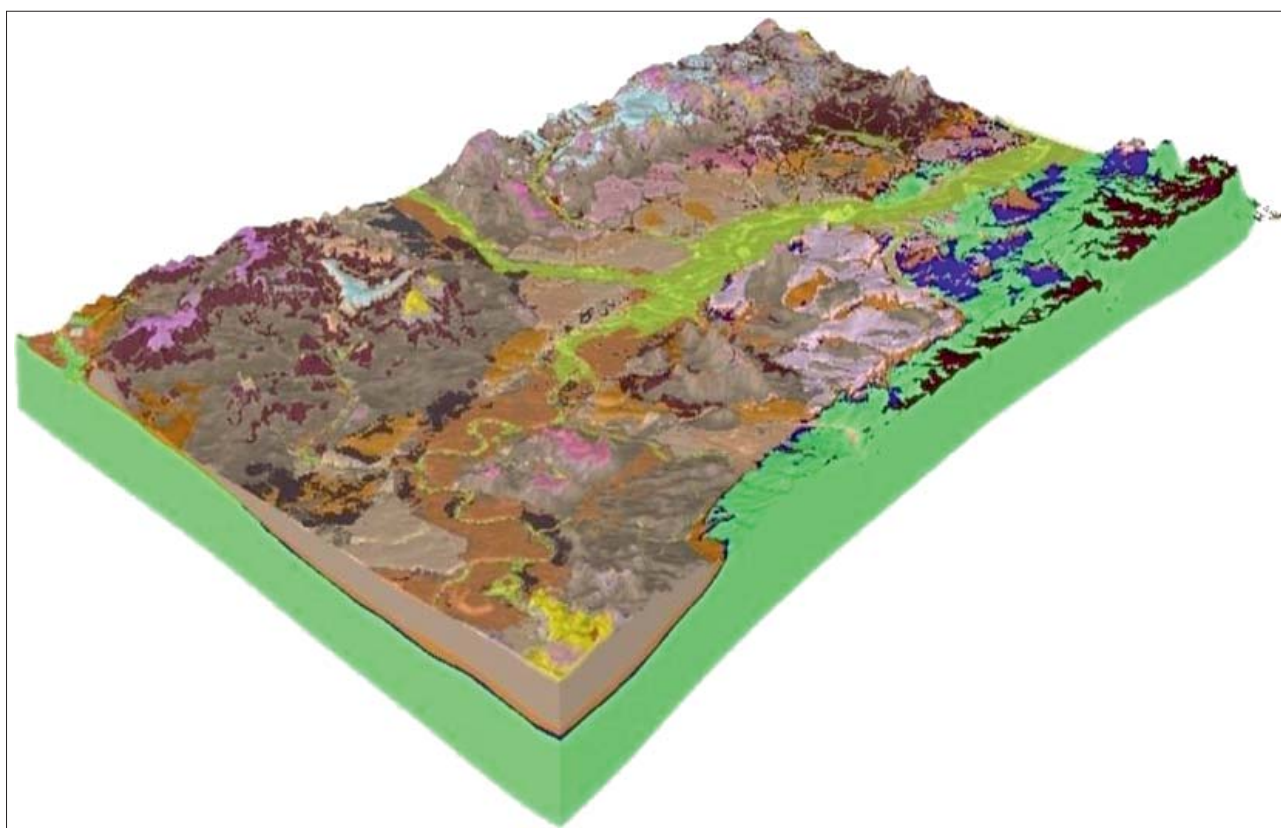
Połączenie tych danych w jeden ciągły model opiera się na kluczowych korporacyjnych bazach danych oraz skorowidzach otworów wiertniczych, słownikach wydzieleń stratygraficznych i właściwości skał, a także na słownikach sedimentologicznych. Jednocześnie rozwijany jest słownik litostratygraficzny dla Wielkiej Brytanii – „Geological Vertical Sequence (GVS of lithostratigraphic units)”. MGWB będzie zawierał również licencjonowany numeryczny model terenu, modele batymetryczne, zdjęcia lotnicze i satelitarne.

### ZASTOSOWANIA MODELU

Modele geologiczne, podobnie jak ich prekursor – mapa geologiczna – mają wiele zastosowań, np. w przypadku inwestycji liniowych można za pomocą modeli rozważyć wiele scenariuszy przebiegu trasy, co pozwala na jej

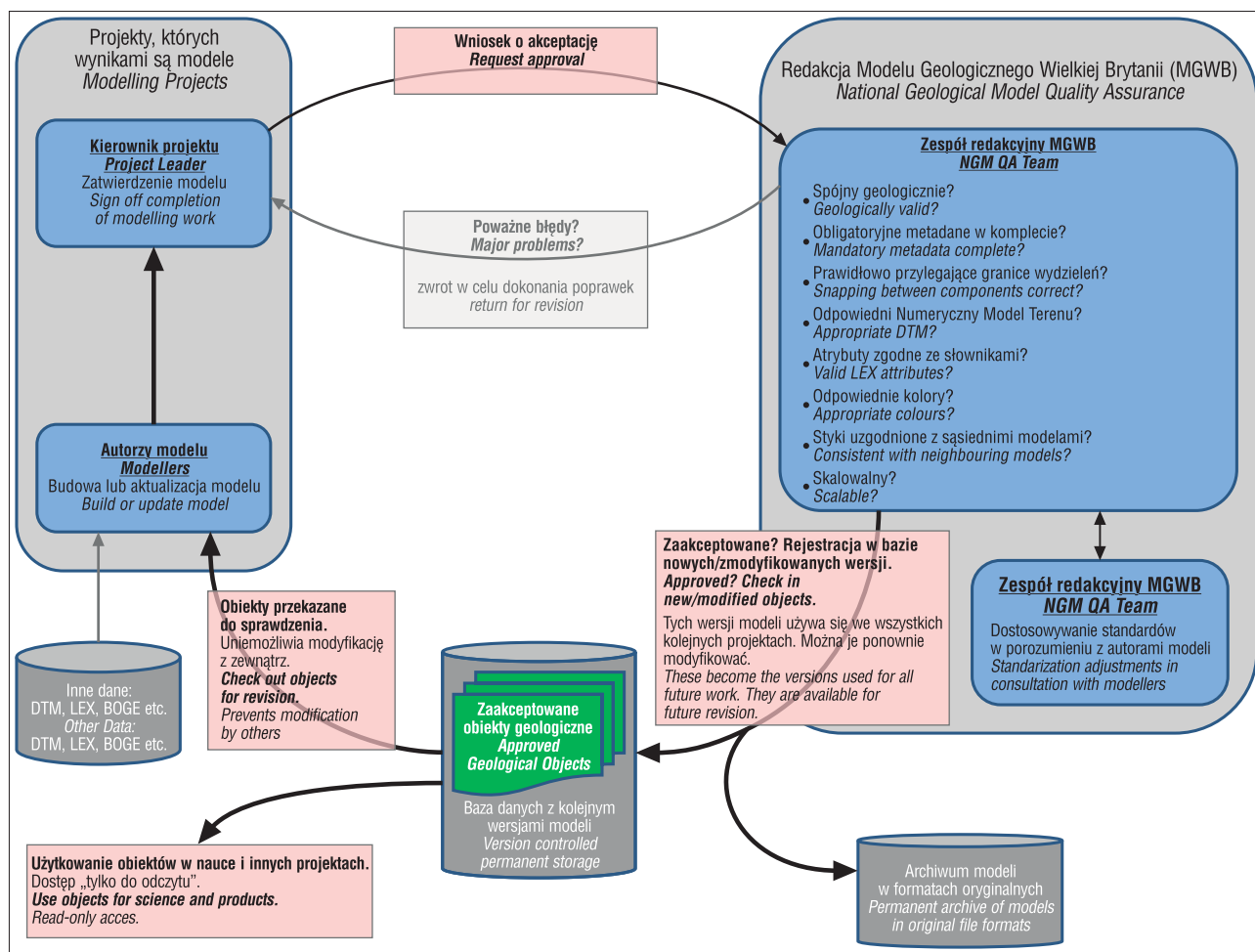


**Ryc. 2.** GB3D – diagram płotowy głębszego podłoża Wielkiej Brytanii. Przewyższenie  $\times 15$   
**Fig. 2.** The GB3D Bedrock fence diagram of Britain. Vertical exaggeration  $\times 15$

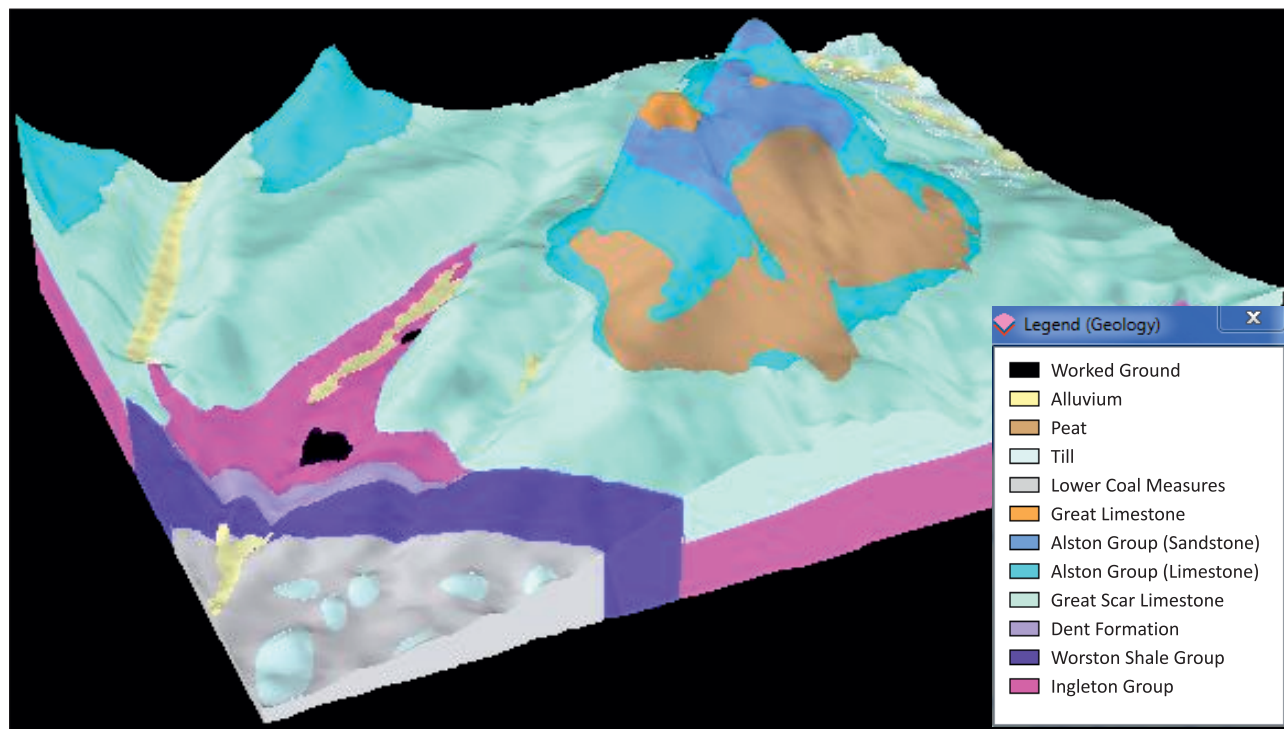


**Ryc. 3.** Model podłoża Londynu w rozdzielczości odpowiadającej skali 1 : 50 000. Przewyższenie  $\times 25$ . Numeryczny model terenu NEXTMap z Intermap Technologies  
**Fig. 3.** Model of London at 50K Resolution. Vertical exaggeration  $\times 25$ . NEXTMap Britain elevation data from Intermap Technologies





Ryc. 4. Obieg danych i zadań w procesie modelowania Modelu geologicznego Wielkiej Brytanii  
 Fig. 4. Data workflow for model building in the National Geological Model



Ryc. 5. Udostępniany nieodpłatnie edukacyjny model Ingleborough, umieszczony na stronie BGS. Numeryczny model terenu NEXTMap z Intermap Technologies (źródło: <http://www.bgs.ac.uk/services/3Dgeology/teachingAndLearning/Ingleborough.html>)  
 Fig. 5. The Ingleborough educational model available as a free download from the BGS website NEXTMap Britain elevation data from Intermap Technologies (source <http://www.bgs.ac.uk/services/3Dgeology/teachingAndLearning/Ingleborough.html>)

optymalizację zarówno pod względem geotechnicznym, jak i inżynieryjnym. Model można przeglądać w czasie rzeczywistym, ekstrahując z niego serię przekrojów wzdłuż potencjalnych tras. Można również określić szerokość bufora wzdłuż wytyczonej lub istniejącej trasy, otrzymując w ten sposób wstęgę obrazującą budowę geologiczną. Przełączając atrybuty, ocenić można np. parametry wytrzymałościowe gruntu, potencjalne kierunki przepływu wód czy potencjalne konflikty z przemysłem wydobywczym surowców skalnych. W modelu zobrazować możemy również poziomy wodonośne.

Jeśli chodzi o prace hydrogeologiczne, intensywnie modelowane były dwa podstawowe brytyjskie poziomy wodonośne: kreda pisząca (*chalk*) wieku kredowego i triasowe warstwy piaskowcowe z Sherwood (Triassic Sherwood Sandstone Group). Wiele z tych modeli wykonano na zlecenie firm regionalnych, zajmujących się eksploatacją wód podziemnych, lub na zlecenie rządowej Agencji d/s Środowiska Anglii i Walii (Environment Agency of England and Wales). Modele te używane były do określenia podatności poziomu wodonośnego na zanieczyszczenie, możliwości jego zasilania, zasobów wód użytkowych i następstw ich eksploatacji. Służyły one również badaniom przypadków powodzi wywołanych podniesieniem się poziomu wód gruntowych oraz przypadków skażeń wód podziemnych o pochodzeniu przemysłowym lub rolniczym, wywołanych wyciekami czy przeciekaniem instalacji.

Inne zastosowania modeli przestrzennych to szczególnie badania podłoża w rejonie nowych stacji metra i innych dużych inwestycji, w tym mostów, obiektów budowanych na londyńską Olimpiadę 2012 (ryc. 3) czy elektrowni atomowych. Modele bywają używane w lokalnym planowaniu przestrzennym do oceny projektów i planów zagospodarowania. Stratygraficzne modele ramowe podłoża Londynu, wykonane przez BGS, wykorzystywane są również w badaniach archeologicznych. W wielu miastach są one także coraz częściej używane do prognozowania wydajności pomp ciepła, w szczególności w Londynie, w poziomie wodonośnym kredy piszącej. Modele podłoża są również podstawą ulepszenia interpretacji niedostatecznie udokumentowanej struktury geologicznej, w tym systemów uskoków i fałdów.

## PROCEDURA TWORZENIA MODELI

Tworzenie modelu ramowego rozpoczyna się od zainstalowania wszystkich dostępnych danych geologicznych w jednej przestrzeni roboczej, z użyciem aplikacji do konstrukcji modeli (ryc. 4). Następnie geolog lub zespół geologów buduje model, który po zweryfikowaniu i ukończeniu jest przekazywany do redakcji innemu zespołowi geologów i specjalistów zarządzających danymi, w celu zagwarantowania odpowiedniej jakości i zgodności ze standardami i procedurami korporacyjnymi. Produkt końcowy przechowywany jest w postaci „zamrożonego” modelu oraz w postaci reprezentatywnych obiektów z niego wyekstrahowanych, w rodzaju pojedynczych przekrojów, powierzchni warstw czy powierzchni uskoków.

Tak zbudowany „magazyn danych” umożliwia pobieranie z niego obiektów i uzupełnianie korporacyjnych baz danych. Przechowywane elementy mogą być również wykorzystywane ponownie w procesie konstruowania nowych modeli. Przetestowanie i akceptacja zmian skutkuje załadowaniem do bazy nowych, poprawionych wersji modeli.

## MODELE EDUKACYJNE

Efekt ubocznym wykonywania modeli ramowych są przykładowe, udostępniane nieodpłatnie modele, które można pobrać ze stron BGS o geologii 3D: <http://bgs.ac.uk>. Znajdują się tu modele obszarów o klasycznej dla Wielkiej Brytanii budowie geologicznej, w tym wyspa Wight i rejon Ingleborough (ryc. 5). Te modele są przede wszystkim udostępniane za pomocą naszej przeglądarki LithoFrame, ale można je również pobrać jako pdf 3D, gridy, tyny i animacje Flash.

*Tłumaczyła Ewa Szykaruk*

## LITERATURA

- KESSLER H. & MATHERS S.J. 2004 – Maps to models. *Geoscientist*, 14 (10): 4–6.  
 KESSLER H., MATHERS S.J. & SOBISCH H.-G. 2009 – The capture and dissemination of integrated 3D geospatial knowledge at the British Geological Survey using GSI3D software and methodology. *Computers & Geosciences*, 35: 1311–1321.