

Wyzwania kartografii geologicznej w Polsce

Leszek Marks¹, Katarzyna Jóźwik¹



L. Marks



K. Jóźwik

Challenges of geological mapping in Poland. *Prz. Geol.*, 68: 330–337.

A b s t r a c t. Geological mapping is a highly interpretive and scientific process that produces a range of map products for many different uses, basically for sustainable land and mineral resources management. This is a primary and principal task of all geological surveys in the world. The establishment of the Polish Geological Institute in 1919 founded a basic framework for geological mapping in Poland. After the Second World War, an extensive production of geological (serial, regional and thematic) maps at different scales in atlases and scientific publications was initiated. Within the past 30 years, geographic information system (GIS) technology has begun to change geologic mapping by providing software tools, a use of which permits geological data to be electronically stored, displayed, queried and analysed in conjunction with a seemingly infinite variety of other data types. The fully automatic process of map generalization and its founding on hierarchic geological vocabularies will enable flexible presentation of geological data while passing from one scale to another. New technological advances and international standards in description, collection, exchange and visualisation of geological data, as well as its connection with external resources, will result in substantial enrichment of information in databases and will create new possibilities in search and use of data in the Web.

tion and its founding on hierarchic geological vocabularies will enable flexible presentation of geological data while passing from one scale to another. New technological advances and international standards in description, collection, exchange and visualisation of geological data, as well as its connection with external resources, will result in substantial enrichment of information in databases and will create new possibilities in search and use of data in the Web.

Keywords: geological mapping, geological database, GeoSciML, INSPIRE, IQUAME

Kartografia geologiczna ma na celu stworzenie obrazu budowy geologicznej kraju, co stanowi podstawowy warunek racjonalnego gospodarowania zasobami naturalnymi, zgodnego z zasadami zrównoważonego rozwoju. Jest ona głównym i pierwotnym zadaniem wszystkich służb geologicznych – w formie graficznej są gromadzone informacje o budowie geologicznej i występowaniu surowców mineralnych, umożliwiając uporządkowany rozwój gospodarczy kraju i tworząc podstawy do planowania inwestycji infrastrukturalnych. Z tego powodu do kluczowych zadań Państwowego Instytutu Geologicznego (PIG), od inauguracji jego działalności 7 maja 1919 r. przez ministra przemysłu i handlu i powołania 30 maja 1919 r. uchwałą Sejmu Ustawodawczego, należało *układanie i wydawanie map geologicznych Polski*. W strukturze organizacyjnej instytutu, którą minister przemysłu i handlu zatwierdził 24 marca 1923 r., jednym z siedmiu wydziałów był Wydział Wydawniczo-Kartograficzny.

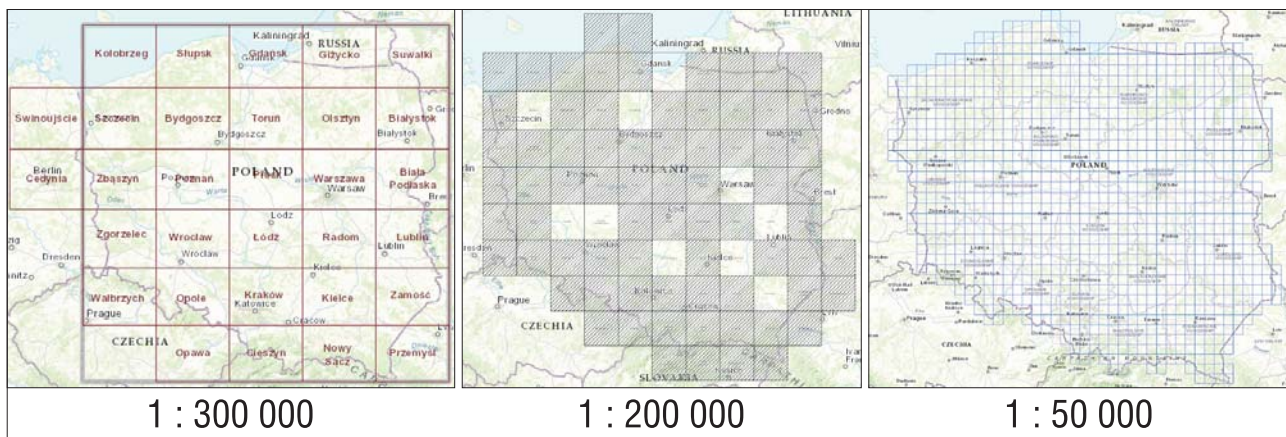
OSIĄGNIĘCIA KARTOGRAFII GEOLOGICZNEJ W PAŃSTWOWYM INSTYTUCIE GEOLOGICZNYM

Zinstytucjonalizowana kartografia geologiczna w okresie międzywojennym powstała na bazie wcześniejszych osiągnięć polskich geologów, a jakoś opracowania geologicznego i wydania graficznego wykonywanych map była porównywalna z wydawnictwami innych krajów (Marks, 2019a). Mimo wyznaczenia ambitnych celów w tym zakresie dorobek polskiej kartografii geologicznej seryjnej (*Mapa geologiczna Polski 1 : 100 000* i *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polskiego Zagłębia Węglowego 1 : 25 000*) i przeglądowej (m.in. *Mapa geologiczna polskich Karpat Wschodnich 1 : 200 000*, *Przeglądowa mapa geologiczna 1 : 750 000* i *Mapa bogactw kopalnych Rzeczypospolitej Polskiej 1 : 750 000*) pierwszych 20 lat funkcjonowania

PIG jest dość skromny (Marks, 2019b). Wynikało to m.in. z braku koncepcji prac kartograficznych i bardzo ograniczonego finansowania, co szczególnie zaznaczyło się w przypadku opracowań seryjnych, dla których nie określono zakresu i formy zdjęcia geologicznego oraz instrukcji i przepisów wykonawczych dla geologa kartującego. Nie stworzono również zrzębów kartograficznej redakcji naukowej, wg której mapy geologiczne byłyby przygotowane do druku zgodnie z ustalonymi wytycznymi. Z tego powodu rękopisy opracowań kartograficznych z lat 1919–1939 to materiał o zróżnicowanej klasyfikacji geologicznej, oznaczeniach, skali topograficznej i metodzie zdjęcia geologicznego. W ramach kartografii problemowej opublikowano kilkadziesiąt map geologicznych, wśród których 10% znajdowało się w atlasach, a co trzecia dotyczyła zagadnień surowcowo-złożowych. Ponadto w czasie zdjęcia geologicznego zebrano bogaty materiał kartograficzny, który częściowo stanowi ilustrację graficzną prac opublikowanych w *Sprawozdaniach* i *Biuletynie PIG*, a liczba różnych map i szkiców stanowiących załączniki graficzne do tekstów przekracza 120 pozycji (Urban, Graniczny, 2009).

Okres okupacji niemieckiej i funkcjonowanie instytutu w owym czasie pod zarządem niemieckim jako *Amt für Bodenforschung* spowodowały katastrofalny regres w badaniach geologicznych oraz ogromne straty kadrowe i materialne. Rozpoczęto wówczas opracowanie przeglądowej mapy geologicznej 1 : 300 000 (*Übersichtskarte der Geologie und Bodenschätze des Generalgouvernements*), którą wykonywano na podstawie zdjęcia geologicznego w skali 1 : 100 000, wyjątkowo także w skali 1 : 25 000, a następnie zestawianej w wersji mapy powierzchniowej (*Ausgabe A: Geologie und Bodenarten*) i mapy podłoża czwartorzędu (*Ausgabe B: Tieferer untergrund, Quartär abgedeckt*) oraz uzupełniano objaśnieniami tekstowymi. W czasie wojny wydrukowano jedynie arkusz Radom mapy powierzchniowej (autorstwa Edwarda Rühlego), ale zdobyte wówczas

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; katarzyna.jozwik@pgi.gov.pl



Ryc. 1. Skorowidze seryjnych map geologicznych Polski: *Przeglądowej mapy geologicznej 1 : 300 000, Mapy geologicznej 1 : 200 000 i Szczegółowej mapy geologicznej 1 : 50 000* (na podstawie <https://geolog.pgi.gov.pl/>)

Fig. 1. Indexes of serial geological maps of Poland: *General geological map 1 : 300 000, Geological map 1 : 200 000 and Detailed geological map 1 : 50 000* (based on <https://geolog.pgi.gov.pl/>)

doświadczenie oraz zebrane i zestawione materiały kartograficzne zostały wykorzystane wkrótce po wojnie, co rozpoczęło złoty okres kartografii geologicznej PIG.

W okresie powojennym nastąpiła niezwykle intensyfikacja prac związanych z kolejnymi edycjami seryjnych map geologicznych w różnej skali, obejmujących obszar całej Polski (ryc. 1) i realizowanych przez Państwowy Instytut Geologiczny – głównego wykonawcę i koordynatora wieloletnich projektów kartograficznych (por. Marks, 2019b). Inicjatorem tego wielkiego programu kartograficznego był prof. Edward Rühle, który doprowadził do przygotowania obligatoryjnych wytycznych (instrukcji) dla zdjęć geologicznych, opracowania kameralnego i redakcji, a jednocześnie uzyskał zabezpieczenie finansowe kosztów wykonywanych prac.

Pierwszym wielkim przedsięwzięciem w zakresie kartografii geologicznej była jednolita *Przeglądowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 300 000* (wersja zakryta i odkryta), która stanowiła inspirację dla wielu map tematycznych Polski w tej samej skali (grawimetryczna, magnetyczna, geologiczno-inżynierska, hydrogeologiczna, surowców mineralnych). Następną podstawową mapą była *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000* (SMGP), opracowana na podstawie jednolitego zdjęcia terenowego w skali 1 : 25 000, dla której przygotowano odpowiednią instrukcję (co stało się standardem przy kolejnych mapach seryjnych). Mapa ta, zakończona na etapie opracowania autorskiego w 2009 r., jest niewątpliwie największym przedsięwzięciem kartografii geologicznej w Polsce i tym samym, jednym z najważniejszych osiągnięć Państwowego Instytutu Geologicznego. Dzięki niej było możliwe opracowanie innych seryjnych, szczegółowych map specjalistycznych naszego kraju (m.in. hydrogeologicznej, geologiczno-gospodarczej, geośrodowiskowej i litogenezy). *Mapa geologiczna Polski w skali 1 : 200 000* (pierwsza edycja 1955–1998, druga rozpoczęta w 2003 r.) to kolejna ważna mapa seryjna opracowana w wersji zakrytej i odkrytej. Była ona inspiracją do wykonania innych map seryjnych w tej samej skali (m.in. hydrogeologicznej, magnetycznej i grawimetrycznej).

Oprócz map pokrywających terytorium całego kraju opracowano wiele map regionalnych i tematycznych oraz przeglądowych w różnej skali, a także zbiory map pogrupowane w atlasach i zawarte w publikacjach naukowych (Marks, 2019b). Wśród innych opracowań kartograficznych

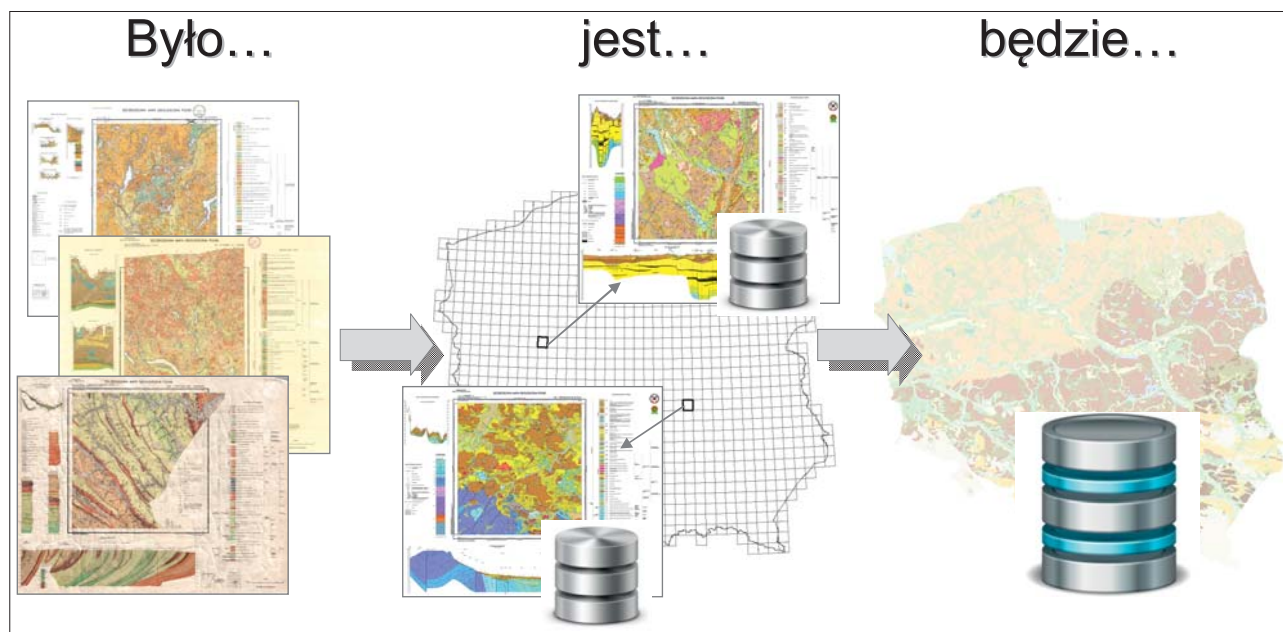
szczególnie ważną rolę odgrywa System Osłony Przeciwosuwiskowej SOPO realizowany od 2006 r., którego celem jest rozpoznanie i udokumentowanie osuwisk oraz terenów potencjalnie zagrożonych ruchami masowymi w Polsce, w tym opracowanie map osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi w skali 1 : 10 000. W latach 1997–2016 wydano również szereg map geoturystycznych w skali od 1 : 13 000 do 1 : 75 000. Wśród wielu innych opracowań kartograficznych należy wymienić przede wszystkim mapy polskiej strefy ekonomicznej Bałtyku oraz mapy i atlasy geologiczne obszarów transgranicznych i mapy międzynarodowe.

ANALIZA STANU AKTUALNEGO

W międzynarodowym środowisku geologicznym następuje zmiana myślenia o sposobie wizualizacji opracowań kartograficznych. Służby geologiczne wielu krajów rezygnują z drukowania map, a funkcjonujące w przeszłości lub aktualnie systemy dedykowane opracowaniu i udostępnieniu map cyfrowych w podziale arkuszowym są zastępowane przez ciągłe bazy danych kartograficznych przystosowane do bieżącej aktualizacji (ryc. 2). Takie bazy danych dla poszczególnych map seryjnych łączą dane ze wszystkich arkuszy i przechowują je na jednolitych warstwach, bez podziału arkuszowego. Umożliwiają także aktualizację danych cyfrowych dla dowolnie wybranego obszaru (np. obszaru jednostki administracyjnej lub geologicznej), niezależnego od zasięgu poszczególnych arkuszy. Jednocześnie wraz z rozwojem nowoczesnych technologii i społeczeństwa informacyjnego zwiększają się możliwości i zapotrzebowanie na prezentację danych kartograficznych w postaci zaawansowanych wizualizacji cyfrowych. Proces ten w przypadku Państwowego Instytutu Geologicznego zostanie zapoczątkowany poprzez integrację arkuszowych baz danych SMGP i innych zasobów cyfrowych kartografii geologicznej.

Integracja zasobów cyfrowych kartografii geologicznej PIG-PIB

Jeszcze w niedawnej przeszłości końcowym etapem prac nad mapą geologiczną lub arkuszem mapy seryjnej było ich udostępnienie w postaci wydruku papierowego. Mimo że obecnie seryjne mapy geologiczne są w PIG-PIB



Ryc. 2. Zmiana myślenia o mapach: przejście od wizualizacji tradycyjnej (mapy analogowe/drukowane) poprzez mapy cyfrowe w formacie GIS (*Geographic Information System*) opracowywane w podziale arkuszowym do ciągłych, zintegrowanych baz danych przestrzennych z możliwością bieżącej aktualizacji oraz do zaawansowanych technologicznie wizualizacji cyfrowych

Fig. 2. Change in thinking of maps: from traditional visualisation (analogue/printed maps) through GIS (*Geographic Information System*) vector maps in sheet collections, to seamless, integrated databases updated on an ongoing basis and assisted with technologically advanced digital visualisations

nadal opracowywane w podziale arkuszowym, to końcowym efektem prac, oprócz gotowego do wydruku arkusza (makiety mapy), są bazy danych cyfrowych (GIS) oraz usługi sieciowe. W przypadku podstawowego opracowania kartografii geologicznej, jakim jest *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000* (SMGP), w bazach danych zachowany jest podział arkuszowy. Każdy arkusz SMGP posiada odrębną legendę unikalnych wydziałów geologicznych, będących kombinacją elementów takich jak: litologia, geneza, stratygrafia, czasem również forma rzeźby terenu lub jednostka litostratygraficzna. Powoduje to problemy przy uzgadnianiu styków sąsiadujących arkuszy, a także doborze odpowiednich symboli barwnych, które – chociaż teoretycznie spójne dla całej serii – są nadawane zgodnie z logiką przyjętą pod koniec ubiegłego wieku na potrzeby arkuszy drukowanych, a nie z myślą o wizualizacji ciągłej warstwy wydziałów geologicznych.

W związku z tym zdarzają się przypadki, kiedy te same z merytorycznego punktu widzenia wydziałów geologicznych (ale przykładowo różniące się nieznacznie kolejnością wymienionych w opisie autorskim składników litologicznych) mają na sąsiednich arkuszach mapy odmienne symbole, co przy ich zestawianiu sprawia wrażenie błędów (niezgodności) na stykach arkuszy. Podobna sytuacja zachodzi w przypadku zestawiania arkuszy, których treść była aktualizowana w różnym czasie. Przykładowo na starszym arkuszu możemy mieć aktywną kopalnię odkrywkową, która na styku z młodszym (nowszym) arkuszem przechodzi w hałdę powstałą po zakończeniu eksploatacji. W celu uniknięcia tego typu sytuacji konieczne jest jak najszybsze zakończenie prac cyfrowych nad całą edycją (wszystkimi arkuszami) SMGP i przygotowanie nowej ciągłej bazy danych cyfrowych dla całej Polski, przystosowanej do bieżącej aktualizacji wykonywanej w podejściu lokalnym/regionalnym zamiast arkuszowego.

Pierwsze kroki w tym kierunku są obecnie podejmowane w ramach zadania państwowej służby geologicznej (PSG)

pn. *Utworzenie Wspólnej Platformy Kartografii Geologicznej*. Jednym z głównych jego celów jest rozbudowa i modernizacja dotychczasowego modelu arkuszowej bazy danych SMGP oraz opracowanie na jego podstawie (jak również na podstawie rozwiązań istniejących w strukturze Centralnej Bazy Danych Geologicznych – CBDG) modelu scalonej bazy danych SMGP dla wszystkich arkuszy. W pracach tych zostaną uwzględnione elementy, które w przyszłości ułatwią utworzenie ciągłej bazy danych SMGP, przystosowanej do bieżącej aktualizacji oraz zawierającej uspołnioną legendę wydziałów geologicznych (opartą na zharmonizowanych słownikach), z symbolizacją właściwą do prezentacji w przeglądarkach internetowych (desktopowych i mobilnych).

Drugim istotnym celem zadania jest integracja zasobów kartograficznych PIG-PIB. Będzie ona polegać na utworzeniu wspólnej bazy publikacyjnej i repozytorium plikowego kartografii geologicznej, z których dane będą udostępniane poprzez wspólną platformę internetową (nowy interfejs sieciowy). Dla poprawy jakości wizualizacji oraz mechanizmów wyszukiwania i przeglądania zasobów kartograficznych w przeglądarkach internetowych, istotne znaczenie ma również integracja słowników lokalizacyjnych (jednostek administracyjnych, arkuszy) oraz geologicznych (dotyczących m.in. litologii, genezy i stratygrafii) poszczególnych zasobów. Rozważane jest wprowadzenie słowników hierarchicznych, w których poziomy hierarchii (czyli szczegółowość terminów) będą dostosowane do map w różnej skali.

Wielorozdzielcze/wieloreprezentacyjne bazy danych przestrzennych

Wielorozdzielcze/wieloreprezentacyjne bazy danych przestrzennych, określane w języku angielskim skrótem MRDB (*Multiresolution/Multirepresentation Database*), są bazami danych cyfrowych, w których wyróżnia się kilka

poziomów uogólnienia danych LoD (*Level of Details*) i w przypadku każdego z nich przechowuje się nieco inną, odpowiednią dla niego reprezentację obiektu. Niezmiernie ważne jest przy tym istnienie odpowiednich powiązań między poziomami, które umożliwią odniesienie wszystkich reprezentacji do jednego rzeczywistego, reprezentowanego obiektu (Gotlib, 2009). Bazy takie umożliwiają równoczesne przechowywanie i pracę na danych o różnych poziomach szczegółowości, ale na podstawie jednolitego modelu pojęciowego. Takie bazy mogą okazać się w przyszłości najlepszym sposobem przechowywania i udostępniania geologicznych danych kartograficznych, ponieważ w obrębie jednej bazy danych można aktualizować dane w różnej skali dla różnych regionów Polski. Można zatem gromadzić w nich dane w mniejszej skali dla obszarów o prostej budowie geologicznej oraz w większej – dla obszarów o skomplikowanej budowie geologicznej.

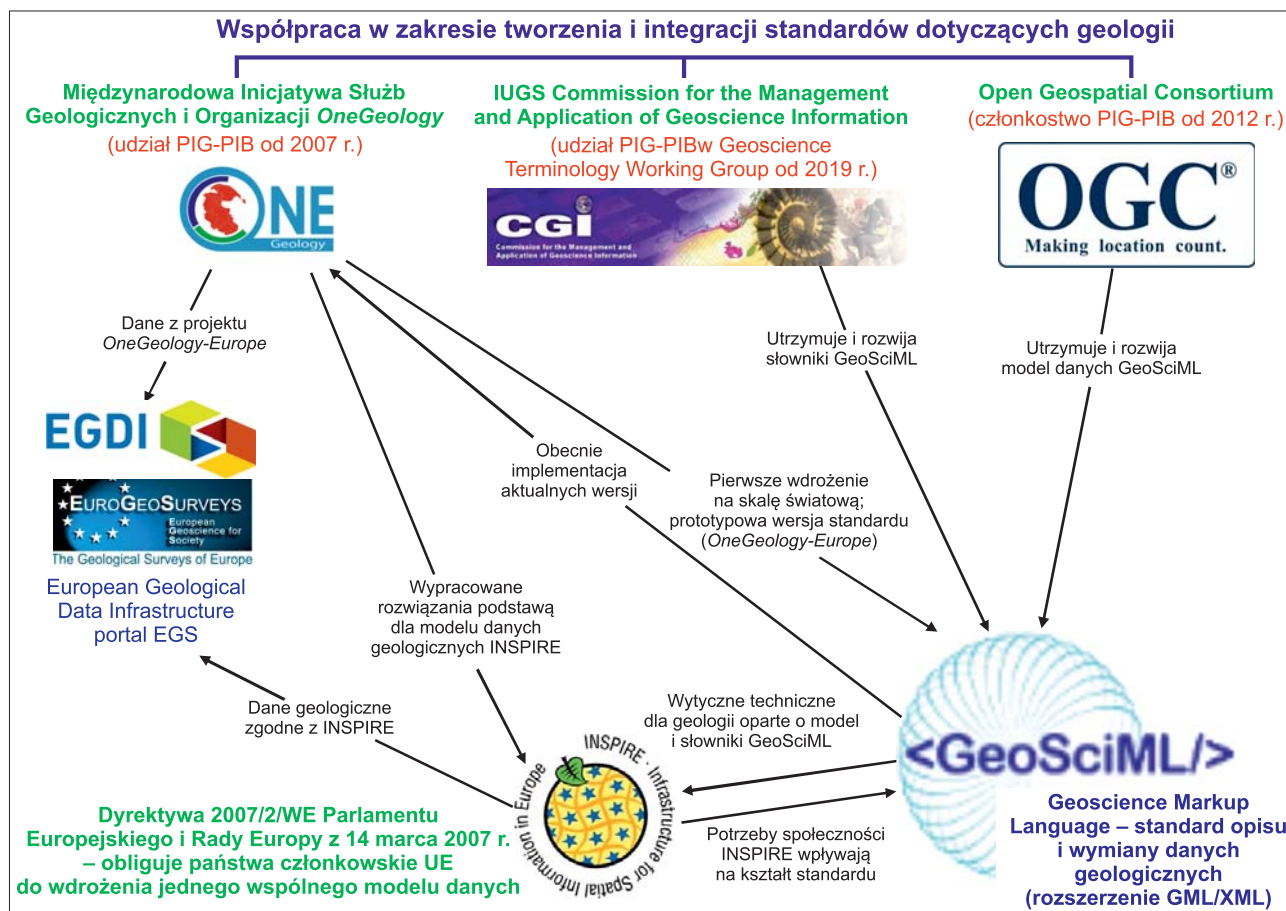
Międzynarodowe standardy opisu i wymiany danych geologicznych

Najważniejszym standardem opisu i wymiany danych geologicznych jest język znaczników dla danych z zakresu Nauk o Ziemi GeoSciML (*Geoscience Markup Language*), który znajduje zastosowanie zarówno dla podstawowych danych kartograficznych, jak i złożonych relacyjnych baz

danych geologicznych. GeoSciML jest rozszerzeniem geograficznego języka znaczników GML (*Geographic Markup Language*) do opisu i wymiany danych geologicznych (GeoSciML, 2017). Standard jest rozwijany wspólnie przez OGC (*Open Geospatial Consortium*) i CGI (*Commission for the Management and Application of Geoscience Information*). OGC jest odpowiedzialne za model danych, natomiast CGI utrzymuje i rozwija słowniki hierarchiczne GeoSciML (ryc. 3).

Europejska Dyrektywa INSPIRE (2007/2/WE) Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dn. 14 marca 2007 r. ustanowiła infrastrukturę informacji przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej. Obliguje ona państwa członkowskie Unii Europejskiej do wdrożenia jednego zunifikowanego modelu dla danych przestrzennych, przy zastosowaniu modelu GeoSciML na potrzeby opisu danych geologicznych. Zgodnie ze specyfikacją techniczną INSPIRE (INSPIRE GE, 2013) geologiczne dane kartograficzne mają być dostosowane do schematu aplikacyjnego Geology Basic, co jest nieco uproszczoną wersją modelu danych GeoSciML opracowanego przez OGC (GeoSciML Basic).

W modelu GeoSciML wydzielenia geologiczne są reprezentowane przez klasę obiektów przestrzennych GeologicUnit w schemacie aplikacyjnym GeoSciML Basic. Tak więc, GeologicUnit jest jednym z obiektów geologicznych świata rzeczywistego, posiadającym reprezentację na mapie



Ryc. 3. Powiązania pomiędzy organizacjami międzynarodowymi (w tym służbami i organizacjami geologicznymi) współpracującymi przy tworzeniu, testowaniu i implementacji międzynarodowych otwartych standardów wymiany i opisu danych geologicznych oraz rozwijających i korzystających ze standardu GeoSciML

Fig. 3. Mutual links between international bodies (geological surveys and organizations included) that cooperate in creation, testing and implementation of international open standards for exchange and description of geological data, as well as these which develop and use the GeoSciML standard

jako tzw. MappedFeature (GeoSciML, 2017). Sprowadza się do tego, że ten sam obiekt geologiczny świata rzeczywistego może być przedstawiany z użyciem różnych wydziałań geologicznych na mapach w różnej skali. Wszystkie reprezentacje obiektu rzeczywistego są ze sobą powiązane, co pozwala osiągnąć efekt podobny do wielorozdzielczej bazy danych. Odrębną kwestią pozostaje wydajność usług opartych na plikach GeoSciML lub GML o dużej pojemności (w przypadku konieczności zapisu dużej ilości danych w jednym pliku).

GeoSciML został po raz pierwszy zastosowany w PIG-PIB w ramach Międzynarodowej Inicjatywy Służb Geologicznych i Organizacji OneGeology oraz projekcie OneGeology-Europe (Stępień i in., 2011). Projekt ten przyczynił się do powstania prototypowej wersji standardu GeoSciML. W latach 2008–2013 opracowano w instytucie, zgodnie z ówczesnymi wytycznymi OneGeology, 4 mapy geologiczne w skali 1 : 1 000 000 (mapa powierzchniowa, podłoża czwartorzędowe, glacytektoniczna oraz ścieżca poziomego z sześcioma poziomami ścieżca). Aktualizacja map do najnowszej wersji modelu i uaktualnionych słowników GeoSciML będzie w najbliższym czasie przeprowadzona w projekcie *Współpraca państwowej służby geologicznej w ramach Międzynarodowej Inicjatywy Służb Geologicznych OneGeology*.

Ponadto PIG-PIB planuje wdrożenie standardu GeoSciML do innych opracowań kartograficznych, ponieważ oferuje on nowe możliwości opisu, wymiany i publikacji danych, poczynając od możliwej wymiany danych z instytucjami z całego świata stosującymi ten sam standard, poprzez analizy o zasięgu regionalnym/europejskim/światowym aż po analizy przestrzenne możliwe do wykonania w przeglądarce internetowej oraz dostosowanie sposobu wyświetlania danych do indywidualnych potrzeb użytkowników. W rezultacie osoby korzystające z przeglądarki mogą zadawać dowolne zapytania przestrzenne oparte na wartościach poszczególnych atrybutów oraz definiować sposób

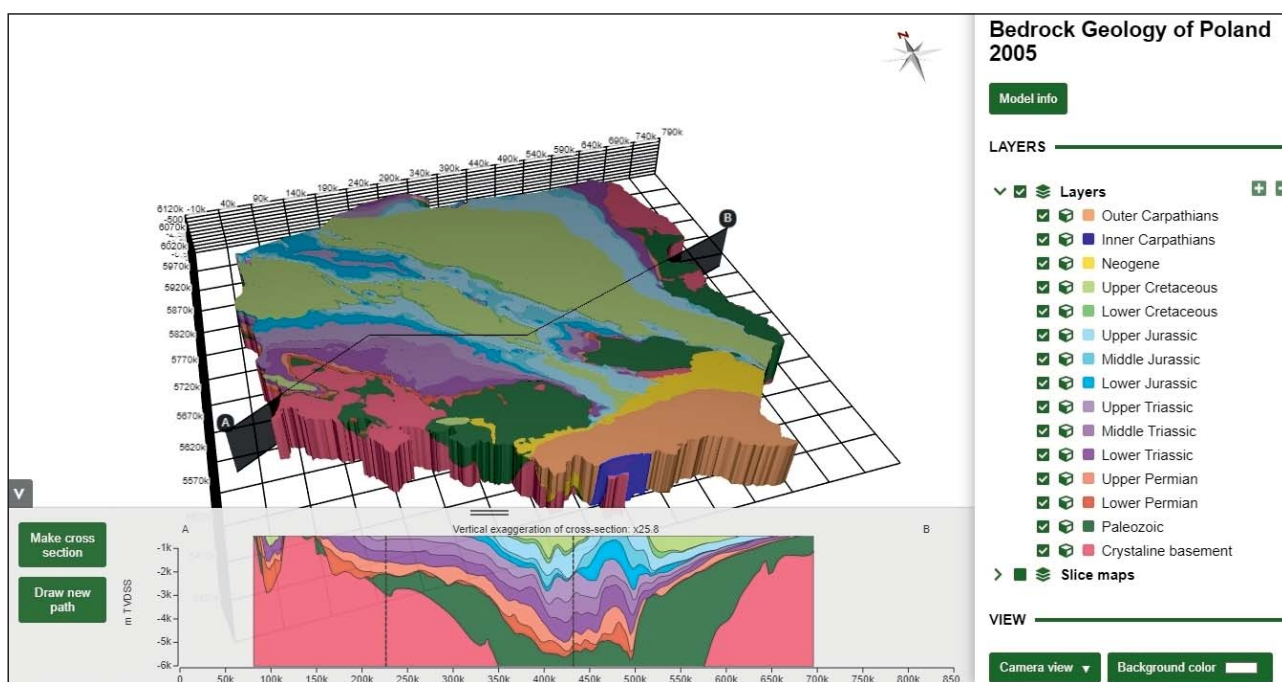
wyświetlania obiektów, co jest możliwe przy zastosowaniu dodatkowo innych standardów technologicznych (np. standardu OGC-SLD – *Styled Layers Descriptors*). Aby w pełni korzystać z tych możliwości konieczne jest zapewnienie technicznej i semantycznej interoperacyjności danych.

Pierwszą mapą PIG-PIB w pełni semantycznie zgodną z INSPIRE będzie polska część *Międzynarodowej Mapy Czwartorzędu Europy w skali 1 : 2 500 000 (International Quaternary Map of Europe 1 : 2 500 000, IQUAME 2500)*. Jest to mapa geologiczna, której legenda wydziałań geologicznych jest skonstruowana na podstawie podejścia i terminów INSPIRE (czyli także GeoSciML) i zawiera dwuczęściowy opis genezy uwzględniający zarówno środowisko, jak i proces odpowiedzialny za powstawanie osadów. Różnica pomiędzy tą mapą a mapami opracowanymi w ramach OneGeology polega na tym, iż w przypadku IQUAME z terminów i logiki modelu INSPIRE korzystano już na etapie przeklasyfikowania i generalizacji wydziałań geologicznych.

Należy zaznaczyć, że pomimo pojawiających się różnic w podejściu technologicznym w różnych inicjatywach i projektach, organizacje światowe tworzące standardy międzynarodowe coraz szerzej ze sobą współpracują, kierując się przede wszystkim zasadą FAIR w odniesieniu do danych geoprzestrzennych i usług. Według tej zasady dane i usługi mają być: łatwe do odnalezienia, dostępne publicznie, interoperacyjne i możliwe do ponownego wykorzystania (*findable, available, interoperable, reusable*).

Modele geologiczne 3D

Umożliwiają zobrazowanie nie tylko powierzchni, ale również przestrzenne budowy geologicznej (ryc. 4). Aktualnie PIG-PIB rozwija dwie wersje przeglądarki Geo3D do modeli geologicznych, czyli stacjonarną i internetową. Oferowane przez przeglądarkę funkcjonalności to m.in.: możliwość podłączenia zewnętrznych usług sieciowych



Ryc. 4. Przeglądarka internetowa Geo3D – przykład wykorzystania funkcji tworzenia przekroju geologicznego wzdłuż dowolnie zadanej linii

Fig. 4. Geo3D web viewer – an example of functionality to create a geological cross-section along a freely chosen line

(np. WMS, WFS, ATOM), próbkowanie wizualizowanych obiektów (możliwość tworzenia wirtualnych otworów i przekroju geologicznego wzdłuż dowolnie zadanej linii) i wizualizacja modeli parametrycznych opisanych w siatkach 3D (Małolepszy i in., 2019).

Rozwój modelowania 3D zaczyna wpływać także na metodykę opracowań kartograficznych 2D, gdyż w bazach danych kartograficznych, tworzonych w ramach nowych projektów, zaczynają być uwzględniane elementy ułatwiające przejście z modelowania 2D do 3D (np. geometria uskoku lub innych struktur geologicznych). Międzynarodowe standardy opisu i wymiany danych geologicznych również umożliwiają przestrzenny opis obiektów (nie tylko w postaci poligonów 2D).

Mapy geoturystyczne i rozszerzona rzeczywistość

W przeszłości mapy geologiczne były opracowywane przez profesjonalistów dla profesjonalistów. Obecnie dane geologiczne są udostępniane publicznie i kierowane także do osób nie posiadających specjalistycznej wiedzy geologicznej, np. w postaci map geologiczno-turystycznych. Odpowiedzią na potrzeby nowych grup użytkowników map geologicznych, poza internetowymi portalami i przeglądarkami mapowymi opartymi na technologii WebGIS, są aplikacje mobilne zawierające mapy interaktywne wraz z obszerną informacją na temat terenu, w jakim użytkownik znajduje się aktualnie. Rozwiązanie to zyskuje na popularności szczególnie w przypadku map geologiczno-turystycznych. Prawdopodobnie zostaną one w przyszłości zastąpione w znacznym stopniu przez zaawansowane technologicznie wizualizacje oparte na rozszerzonej rzeczywistości AR (*Augmented Reality*; Józwik, 2019b), które pozwalają na łączenie obrazu świata rzeczywistego z elementami wirtualnymi stworzonymi przy wykorzystaniu technologii cyfrowej. Oznacza to, że użytkownik urządzenia mobilnego poprzez nakierowanie kamery tego urządzenia na określony obiekt ujęty w systemie AR otrzymuje dodatkowe informacje dotyczące tego obiektu, a także wizualizację tego, jak wyglądał on w przeszłości.

STRATEGICZNE KIERUNKI ROZWOJU KARTOGRAFII GEOLOGICZNEJ

Przyszłością kartografii, a szczególnie kartografii geologicznej, są zaawansowane wielorodzicielskie wizualizacje danych, które zastąpią dotychczasową formę publikacji map w Internecie w postaci odrębnych usług przeglądania dla map w różnej skali. Kluczowym aspektem będzie takie przygotowanie źródłowej bazy danych, które umożliwi automatyczne generowanie z tych samych danych wyjściowych map/obrazów w danych zmieniających się od skali (rozdzielczości przestrzennych) szczegółowej do coraz ogólniejszej. Pełne zautomatyzowanie procesu generalizacji może w przyszłości doprowadzić do zaawansowanej prezentacji danych, płynnie przechodzącej z jednej skali w drugą.

Automatyzacja procesu generalizacji map geologicznych

Pełne zautomatyzowanie tego procesu jest trudne m.in. ze względu na nieregularny kształt wydzielen geologicznych i różnice regionalne w budowie geologicznej. Generalizację geometryczną obiektów poprzedza generalizacja pojęciowa polegająca na przeklasyfikowaniu wydzielen

geologicznych na bardziej ogólne. Na tej podstawie dokonuje się połączenia wybranych obiektów poligonowych i usunięcia tych, które nie spełniają danego kryterium minimalnej powierzchni, a w szczególnych przypadkach dokonuje się przewiększenia wybranych obiektów (Józwik, 2019a). W zależności od docelowej skali mapy zmienia się także kształt granic wydzielen geologicznych oraz prezentowanych obiektów liniowych i poligonowych. Wprowadzenie wspólnych słowników hierarchicznych dla opracowań kartograficznych umożliwi dalszą automatyzację bez konieczności uprzedniego opracowywania tabeli korelacyjnej.

Należy zaznaczyć, że od wielu lat trwają próby zautomatyzowania procesu generalizacji map geologicznych przy użyciu różnych narzędzi (Downs, Mackaness, 2002; Smirnov i in., 2012; Sayidow, Weibel, 2019), jednak do tej pory nie udało się wynaleźć algorytmu zapewniającym w pełni satysfakcjonujące wyniki. Krokiem ułatwiającym będzie niewątpliwie oparcie się na odpowiedniej hierarchii pojęciowej (słownikach hierarchicznych), a być może także na technologii sztucznej inteligencji AI (*Artificial Intelligence*) lub uczenia maszynowego (*machine learning*).

W ramach projektu *Międzynarodowa Mapa Czwartorzędu Europy w skali 1 : 2 500 000 – część polska* w PIG-PIB testowano możliwość wykorzystania do generalizacji wydzielen geologicznych podstawowych reguł transformacji oprogramowania FME (*Feature Manipulation Engine*) firmy Safe Software. Jest to oprogramowanie typu ETL (*extract, transform, load*), które oferuje szereg gotowych narzędzi użytecznych w generalizacji i pozwalających na poprawę jakości danych. Przy przetwarzaniu dużej ilości danych przestrzennych FME jest zdecydowanie bardziej wydajne od oprogramowania GIS. W pierwszym etapie prac nad generalizacją danych na potrzeby *Międzynarodowej Mapy Czwartorzędu Europy* opracowano proste skrypty, za pomocą których półautomatycznie przeklasyfikowano wydzielenia geologiczne, tj. przypisano im kategorie bardziej ogólne na podstawie uprzednio przygotowanej manualnie tabeli korelacyjnej w postaci pliku XLS. Następnie usunięto automatycznie granice pomiędzy powstałymi w ten sposób takimi samymi wydzieleniami geologicznymi, wypełniono luki w poligonach powstałe po usunięciu jezior (zbyt małych do prezentacji w skali docelowej) oraz naprawiono inne błędy geometryczne.

W kolejnym etapie, przy użyciu nieco bardziej zaawansowanego skryptu, dokonano równocześnie połączenia niewielkich wydzielen tej samej kategorii leżących blisko siebie (na podstawie zadanych parametrów) oraz usunięcia pozostałych niewielkich wydzielen (poza wybranymi ważnymi). Porównanie wyników działania skryptu z taką samą pracą wykonaną manualnie przez doświadczonego geologa (ryc. 5) wskazuje na konieczność dalszych prac nad skryptem i uwzględnienie dodatkowych parametrów w celu uzyskania prawidłowych wyników. Niemniej jednak, w odniesieniu do czasu poświęconego na prace nad skryptem, wyniki można określić jako zadowalające, gdyż w wielu przypadkach generalizacja automatyczna niewielkich wydzielen dokonana z jego pomocą pokrywa się z generalizacją wykonaną manualnie.

Dane połączone (Linked Data)

Równoległe do wymienionych poprzednio zagadnień, istotny wpływ na przyszłość kartografii geologicznej, a w szczególności na metodykę opracowywania i prezentacji danych w sieci będzie miała technologia Linked Data.



Ryc. 5. Porównanie wyników działania skryptu opracowanego przy użyciu oprogramowania FME (*Feature Manipulation Engine*) z generalizacją wydzieleni geologicznych wykonaną *manualnie*: po lewej stronie – generalizacja *manualna*, w środku – nałożenie obrazów uzyskanych po generalizacji *manualnej* oraz po wykorzystaniu skryptu FME, po prawej – generalizacja automatyczna wykonana za pomocą skryptu FME

Fig. 5. Comparison of results arising from a use of the FME (*Feature Manipulation Engine*) software with *manual* generalization of geological map units: to the left – *manual* generalization, in the middle – overlapping of *manual* and FME generalization, to the right – automatic generalization with the use of the FME tools

Pozwala ona na publikowanie w sieci WWW i łączenie danych pochodzących z różnych źródeł. W odróżnieniu od tradycyjnego podejścia, czyli sieci połączonych dokumentów (*Web of documents*) czytelnych jedynie dla ludzi, w tym przypadku powstaje sieć danych (*Semantic Web*), które są odczytywane także przez maszyny (*machine readable*). Dzięki temu wzrasta znacząco efektywność wyszukiwania (np. przez wyszukiwarki Google i Yahoo) i wykorzystywanie danych (ryc. 6).

PIG-PIB ma już za sobą pierwsze wdrożenie *Linked Data* na potrzeby metadanych wykonane w ramach projektu *Semantyczna Geologia*. Dzięki temu rozwiązaniu każdy użytkownik sieci poszukujący konkretnej mapy geologicznej może skorzystać ze swojej ulubionej wyszukiwarki wpisując hasło (np. mapa geologiczna + nazwa miejscowości), a następnie zostanie skierowany bezpośrednio do informacji o tym arkuszu mapy oraz będzie mógł od razu zobaczyć skan arkusza i objaśnienia tekstowe udostępnione przez PIG-PIB. Metadane semantyczne instytutu zostały także połączone z zewnętrznymi bazami danych (Naęcz, 2017), m.in. *Gazetteer GeoNames* (baza danych geograficznych zawierająca ponad 10 milionów nazw lokalizacji geograficznych w różnych językach i pochodzących z różnych źródeł) oraz *PRNG* (Państwowy Rejestr Nazw Geo-

graficznych, baza przechowująca dane na temat miejscowości i obiektów fizjograficznych).

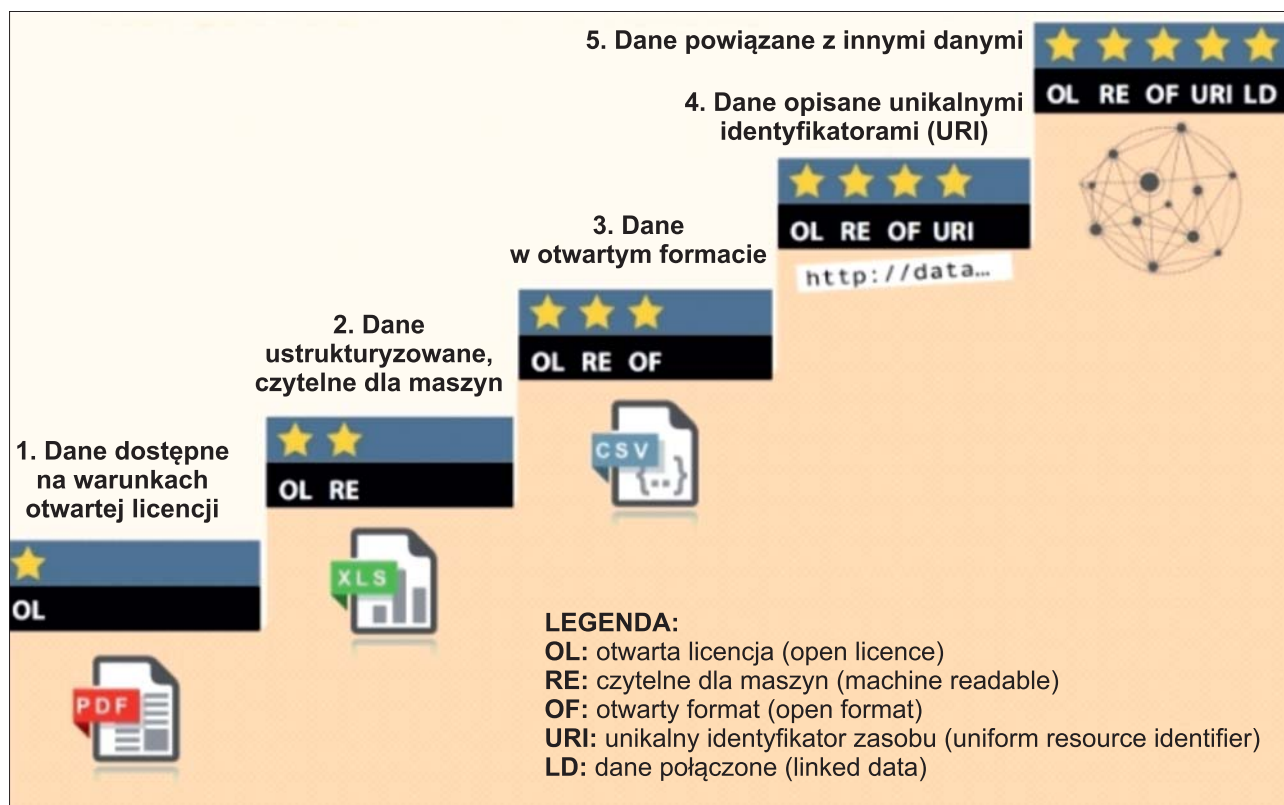
PODSUMOWANIE I PERSPEKTYWY KARTOGRAFII GEOLOGICZNEJ

1. Budowa ciągłych baz danych kartograficznych przystosowanych do bieżącej aktualizacji prowadzi do stworzenia kompatybilnego obrazu budowy geologicznej na mapach w różnej skali i generuje zapotrzebowanie na *inteligentne* mapy w postaci wizualizacji cyfrowych.

2. Przejście na kartografię cyfrową bazodanową ułatwia modyfikowanie, uaktualnianie i udostępnianie danych geologicznych w dowolnej konfiguracji (obszarowo i pod względem treści).

3. Integracja danych z map geologicznych (2D) z danymi z modeli geologicznych (3D) umożliwia zobrazowanie nie tylko powierzchni, ale także przestrzenne budowy geologicznej.

4. Pełne zautomatyzowanie procesu generalizacji i oparcie go na zhierarchizowanych słownikach doprowadzi do płynnej prezentacji danych – przechodzenia z jednej skali na drugą przy oddalaniu/zbliżaniu widoku przeglądarki geograficznej.



Ryc. 6. Rozwiązanie oparte na technologii Linked Data wdrożone w PIG-PIB na potrzeby metadanych uzyskuje 5 gwiazdek w skali *dojrzałości* Linked Data, opracowanej przez twórcę Internetu Tima Berners'a-Lee (<https://5stardata.info/en/>)

Fig. 6. Solution based on the Linked Data technology, implemented at the Polish Geological Institute – National Research Institute for the needs of metadata, receives 5 stars in the *maturity* scale of Linked Data, proposed by Tim Berners-Lee, a founder of the Internet (<https://5stardata.info/en/>)

5. W gromadzeniu i prezentacji danych kartografii cyfrowej będą wdrażane nowoczesne technologie oraz międzynarodowe standardy opisu i wymiany danych.

6. Rozszerzenie informacji zawartych w bazach danych przez powiązanie z zasobami zewnętrznymi zaoferuje zupełnie nowe możliwości wyszukiwania i analizy danych w sieci WWW.

Autorzy dziękują recenzentowi prof. Markowi Narkiewiczowi za uwagi, które ułatwiły przygotowanie ostatecznej wersji artykułu.

LITERATURA

DOWNS T.C., MACKANESS W.A. 2002 – An integrated approach to the generalisation of geological maps. *Cartograph. J.*, 39 (2): 137–152.

GEOSCI ML 2017 – OGC Standard Document, OGC Geoscience Markup Language 4.1 (GeoSciML), Version: 4.1. <https://docs.opengeospatial.org/is/16-008/16-008.html>

GOTLIB D. 2009 – Wybrane aspekty modelowania wielorozdzielczych i wieloreprezentacyjnych baz danych topograficznych. *Geomatics and Environ. Eng.*, 3 (1/1): 25–36.

INSPIRE GE 2013 – D2.8.II.4 – INSPIRE Data Specification on Geology – Technical Guidelines. European Commission Joint Research Centre, 10.12.2013. <https://inspire.ec.europa.eu/id/document/tg/ge>

JÓZWIK K. 2019a – Wykorzystanie podstawowych reguł transformacji oprogramowania Feature Manipulation Engine (FME) w procesie wstępnej generalizacji wydziałów geologicznych. XLII Ogólnopolska Konferencja Kartograficzna, Kraków, 17–18 września 2019. Streszczenia referatów i posterów, errata.

JÓZWIK K. 2019b – Kartując „Wszystko dla Wszystkich”. Międzynarodowa Konferencja Kartograficzna w Tokio ICC2019. <https://www.pgi.gov.pl/aktualnosci/display/11677-kartujac-wszystko-dla-wszystkich-miedzynarodowa-konferencja-kartograficzna-w-tokio-icc2019.html>

MAŁOLEPSZY Z., PAWŁOS R., WRÓBEL K., CHEŁMIŃSKI J., NOWACKI Ł., STĘPIEŃ U., SZYNKARUK E. w druku – Geo3D – wersja beta przeglądarki przestrzennych modeli geologicznych na stronie Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego. *Prz. Solny*, w druku.

MARKS L. 2019a – Rola Państwowego Instytutu Geologicznego w rozwoju kartografii geologicznej w Polsce. *Prz. Górn.*, 5: 21–25.

MARKS L. 2019b – Sto lat kartografii geologicznej w Państwowym Instytucie Geologicznym. *Prz. Geol.*, 67 (7): 547–557.

NAŁĘCZ T. 2017 – PIG-PIB – liderem udostępniania danych publicznych. <https://www.pgi.gov.pl/aktualnosci/display/9900-pig-pib-liderem-udostepniania-danych-publicznych.html>

SAYIDOW A., WEIBEL R. 2019 – Generalization of geological maps: aggregation and typification of polygon groups. [W:] Kyriakidis P., Hadjimitsis D., Skarlatos D., Mansourian A. (red.), *Accepted Short Papers and Posters from the 22nd AGILE Conference on Geo-information Science*. Cyprus University of Technology 17–20 June 2019, Limassol, Cyprus. ISBN 978-90-816960-9-8, Publisher: Stichting AGILE

SMIRNOFF A., HUOT-VEZINA G., PARADIS S.J., BOIVIN R. 2012 – Generalizing geological maps with the GeoScaler software: The case study approach. *Computers & Geosciences*, 40: 66–86

STĘPIEŃ U., SŁODKOWSKI M., TEKIELSKA A. 2011 – Interoperacyjność systemów informacji geoprzestrzennych związanych z wdrożeniem standardu wymiany danych geologicznych GeoSciML – pierwsze przykłady zastosowań w geologii. *Rocz. Geomatyki*, 9 (1): 131–136.

URBAN H., GRANICZNY M. 2009 – Dziesięćdziesiąta rocznica utworzenia Państwowego Instytutu Geologicznego na tle zarysu nauk o Ziemi w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 433: 1–109.