



Założenia do wykonywania wielowymiarowej, parametrycznej kartografii geologicznej płytkich struktur w Polsce

poz. planu 11.1809.1001.00.0



MINISTERSTWO
ŚRODOWISKA

Wykonano na zamówienie Ministra Środowiska

Kierownik projektu:

dr Urszula Stępień
.....

Dyrektor

Państwowego Instytutu Geologicznego - Państwowego
Instytutu Badawczego

Wykonawcy:

inż. Jacek Chełmiński
.....

mgr Krzysztof Czuryłowicz
.....

mgr Łukasz Nowacki
.....

mgr inż. Maria Surąła
.....

dr Ewa Szykaruk
.....

mgr Maciej Tomaszczyk
.....

dr Marcin Żarski
.....

Warszawa, marzec 2011

Spis treści

Wstęp	3
Część I.....	6
1. <i>Kwerenda dotychczas wykonanych modeli płytkich struktur geologicznych Polski</i>	<i>6</i>
2. <i>Kwerenda opracowań wielowymiarowej kartografii geologicznej na świecie</i>	<i>14</i>
3. <i>Analiza kwestii dotyczących metadanych dla danych wielowymiarowych, parametrycznych</i> <i>22</i>	
4. <i>Opinia dotycząca zakresu użyteczności i sposobu wykorzystania efektów wielowymiarowej,</i> <i>parametrycznej kartografii geologicznej płytkich struktur w Polsce.....</i>	<i>23</i>
Część II	26
1. <i>Nakreślenie celów wielowymiarowej kartografii geologicznej płytkich struktur w Polsce</i>	<i>26</i>
2. <i>Wstępne zdefiniowanie adresatów wielowymiarowej kartografii geologicznej i omówienie</i> <i>zapotrzebowania na tego typu opracowania.....</i>	<i>29</i>
3. <i>Sposoby ustalenia zasad pozyskiwania danych z istniejących baz danych oraz</i> <i>wykorzystania danych archiwalnych.....</i>	<i>30</i>
4. <i>Wstępna analiza rodzajów materiałów wejściowych, zalecenia i sposoby zarządzania</i> <i>danymi</i>	<i>31</i>
5. <i>Kryteria i pilotażowe modele budowy geologicznej 3D</i>	<i>33</i>
6. <i>Opracowanie zasad i metod ciągłej aktualizacji efektów wielowymiarowej, parametrycznej</i> <i>kartografii geologicznej płytkich struktur w Polsce.....</i>	<i>35</i>
7. <i>Opracowanie metod cyfrowego gromadzenia danych (dedykowane bazy), standaryzacji,</i> <i>utrzymania zarządzania opracowanymi wielowymiarowymi, parametrycznymi modelami</i> <i>budowy geologicznej 3D, ich scalania, a także utrzymania dedykowanych baz danych.....</i>	<i>35</i>
8. <i>Określenie zakresu wykorzystania wyników modelowania i sposobu ich udostępniania</i> <i>poprzez przeglądarki</i>	<i>36</i>
Uwagi końcowe	38
Bibliografia.....	39

Wstęp

„Założenia do wykonywania wielowymiarowej, parametrycznej kartografii geologicznej płytkich struktur w Polsce” zostały przygotowane w oparciu o doświadczenia zdobyte podczas opracowywania zbliżonych zagadnieniowo tematów m.in. szczegółowego numerycznego modelu wgłębnej budowy geologicznej obszaru aglomeracji miejskiej na przykładzie fragmentu Warszawy, Systemu Informacji Przestrzennej o Środowisku (SIPOŚ) dla gminy Wołomin oraz analogicznych projektów opracowywanych przez światowe służby geologiczne (m.in. kanadyjską, australijską, francuską, brytyjską). Wielowymiarowa, parametryczna kartografia geologiczna struktur płytkich będzie wykonywana na obszarze całej Polski.

Rosnące możliwości obliczeniowe komputerów umożliwiają wykorzystanie wyrafinowanych technik informatycznych związanych z cyfrową wizualizacją 3D wgłębnej budowy struktur i jednostek geologicznych. Nowe możliwości poznawcze i analityczne tkwiące w nowoczesnych technologiach informatycznych w znacznej mierze oparte są na bogatych zbiorach archiwalnych danych geologicznych, które są sukcesywnie uzupełniane wynikami aktualnych badań. Szczególnie dotyczy to parametrów (np. złożowych, hydrogeologicznych), które są cyklicznie mierzone i uzupełniane w ramach bieżących prac monitoringowych.

Opracowanie niniejsze składa się z dwóch części. W pierwszej dokonano przeglądu dotychczasowych osiągnięć w dziedzinie modelowania płytkiej budowy geologicznej oraz jej wykorzystania. Część druga ma charakter wytycznych, jakie należałoby spełnić, by zapewnić wysoką jakość oraz jak najlepsze i najszerze wykorzystanie wyników modelowania płytkich struktur geologicznych.

Celem opracowania jest wskazanie kierunków, którymi polska geologia powinna podążać, aby sprostać wymaganiom stawianym przez standardy międzynarodowe. Szczególny nacisk położono na użyteczny charakter modelowania geologicznego oraz na wskazanie podstawowej cechy związanej z tą dziedziną nauki mianowicie aktualizacji modelu w zależności od dostarczania nowych danych bez konieczności uruchamiania nowych projektów.

Wygenerowany wirtualny model przestrzenny można wzbogacać o nowe parametry geologiczne i surowcowe w miarę pozyskiwania kolejnych danych i dzięki temu płynnie uzyskiwać jego nowy zaktualizowany kształt. Cyfrowe modele 3D będą modelami statycznymi i stanowić będą reprezentację obecnego stanu wiedzy o budowie geologicznej.

Z racji złożoności metodologii towarzyszącej opracowaniu przestrzennych modeli budowy geologicznej, jak i faktu, że przestrzenne reprezentacje ośrodka skalnego stanowią nową generację opracowań kartograficznych, rolę wykonawczą powinny objąć jednostki, mające: (1)

wieloletnie doświadczenie w kartowaniu geologicznym i interpretacji danych geologicznych oraz (2) przeszkoloną kadrę w obsłudze wysoce wyspecjalizowanego oprogramowania powszechnie stosowanego przez służby geologiczne w Europie m.in. Paradigm gOcad, GSI3D czy Gemcom Surpac, RockWorks.

Zarówno w Europie, jak i na świecie wielowymiarowe modelowanie parametryczne budowy geologicznej jest zadaniem służb geologicznych lub jednostek rządowych. Jednym z kryteriów przemawiającym za tym, jest fakt, że zdecydowana większość danych geologicznych jest w posiadaniu służb geologicznych lub jest przez nie zarządzana oraz to, że jednostki te dysponują bogatym zapleczem kadry naukowej, która na bieżąco może koordynować i interpretować wyniki modelowań. Takie rozwiązanie jest także gwarantem dostępności do danych oraz jakości przygotowywanych opracowań, które służą nie tylko wsparciu procesów decyzyjnych na wszystkich szczeblach administracji państwowej, ale stanowią znakomity materiał naukowo-dydaktyczny oraz wyjściowy do opracowywania analiz (migracje zanieczyszczeń, zbiorniki wód).

Proponuje się zatem, by za wielowymiarowe modelowanie parametryczne płytkich struktur geologicznych w Polsce odpowiedzialna była Państwowa Służba Geologiczna, której rolę w świetle ustawy z dnia 4 lutego 1994 (Dz.U. 1994 nr 27 poz. 96 z późniejszymi zmianami) Prawo geologiczne i górnicze pełni Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy (Ustawa z dnia 4 lutego 1994. Modelowanie geologiczne 3D, koordynacja i interpretacja wygenerowanych modeli 3D winny stać się **zadaniem służby geologicznej**. Wielowymiarowa, parametryczna kartografia geologiczna struktur płytkich jest rozszerzeniem i uzupełnieniem prac kartografii geologicznej, które koordynuje PIG-PIB (art. 102a ust. 1 Ustawy prawo geologiczne i górnicze). Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy powinien także wykonać szereg pilotażowych opracowań tego typu w celu wypracowania metodyki, standardów i sposobu szacowania kosztów tego przedsięwzięcia. Przygotowywane modele powinny przede wszystkim służyć celom administracji państwowej przy podejmowaniu decyzji bieżących (m.in. wsparciu w sytuacjach kryzysowych) oraz planowaniu przestrzennym.

Z uwagi szeroki zakres informacji zawartych w cyfrowych modelach 3D wglębnej budowy geologicznej stanowiących nową jakość w opracowaniach naukowych nowe, kolejne przedsięwzięcia z zakresu geologii będą stanowić podstawę do dalszych opracowań geologicznych.

Tak zasadnicza zmiana jakościowa w prezentacji informacji geologicznej daje pewność, że odbiorcy opracowań geologicznych (np.: jednostki samorządu terytorialnego, instytucje naukowe państwowe i prywatne, podmioty gospodarcze) oczekiwać będą załączników, w których zawierać się będzie wizualizacja struktur geologicznych 3D. W każdym punkcie

modelu, odbiorca otrzyma informację o przestrzennym zasięgu np.: wydzielenia geologicznego, jego miąższości, poziomu wodonośnego lub innych parametrów w zależności od rodzaju opracowania. Wdrożeniem tego typu opracowań ze względu na doświadczenie oraz posiadany sprzęt i oprogramowanie powinien zająć się PIG-PIB, który wypełnia rolę Państwowej Służby Geologicznej. Będzie to gwarantem wypracowania jednolitej metodyki i standardu wielowymiarowej parametrycznej kartografii geologicznej płytkich struktur w Polsce. Dzięki temu, tak jak w przypadku map seryjnych takich jak np. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000 (SMGP) czy Mapa litogenetyczna Polski w skali 1:50 000 (MLP) zostanie opracowana instrukcja. W konsekwencji pozwoli to m.in. na późniejsze scalanie opracowań cząstkowych. W miarę rozwoju wielowymiarowej kartografii i rozwiązań informatycznych instrukcja będzie aktualizowana. Aby opracować metodykę wielowymiarowej parametrycznej kartografii geologicznej płytkich struktur w Polsce zaleca się wykonanie projektów pilotażowych, mających na celu objąć różne typy budowy geologicznej oraz zastosowania, o których szerzej napisano w dalszej części opracowania. Uwzględniając powyższe zalecenia sugeruje się, by zarówno instrukcja jak i wspomniane pilotażowe projekty będące podstawą do wypracowania metodyki były opracowane przez Państwową Służbę Geologiczną.

Część I

Pierwszą część ekspertyzy stanowią kwerendy dotychczasowych osiągnięć w dziedzinie wielowymiarowej, parametrycznej kartografii geologicznej w kraju i za granicą, które stanowią podstawę do wyznaczenia kierunków szczegółowych analiz i opracowań. Określenie sposobu opisu udostępnianych wyników takiej formy kartografii geologicznej oraz opinia dotycząca zakresu użyteczności i sposobu wykorzystania są niezbędne, by przyszłe efekty rzeczowe były szeroko wykorzystywane i mogły służyć społeczeństwu do jak najlepszego zarządzania zasobami przyrodniczymi.

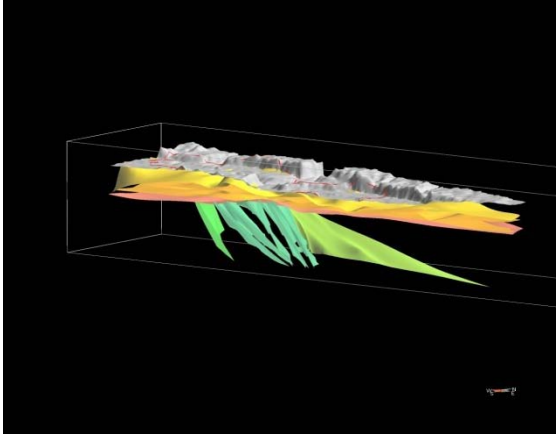
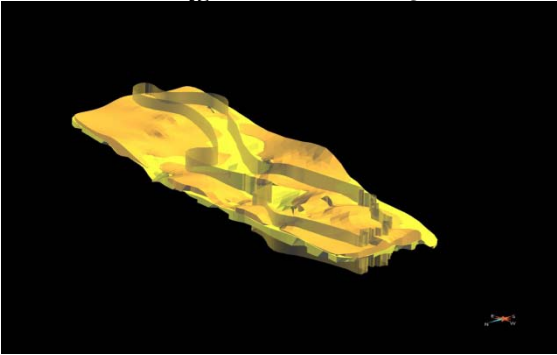
1. Kwerenda dotychczas wykonanych modeli płytkich struktur geologicznych Polski

Celem kwerendy modeli płytkich struktur geologicznych dotychczas wykonanych w Polsce była krótka charakterystyka produktów, określenie ich zastosowania, a także wykonawcy. Zwrócono także uwagę na wykorzystywane oprogramowanie. Powyższe informacje zostały zestawione w formie tabelarycznej.

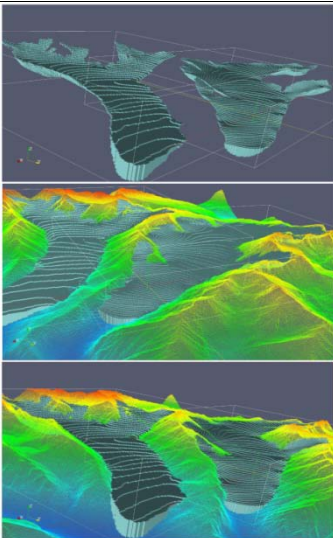
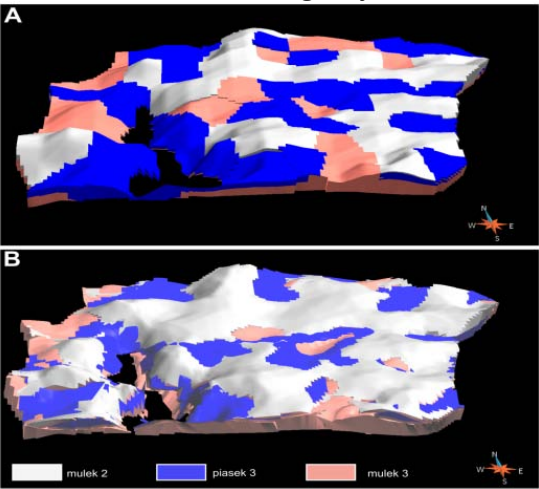
Kwerenda wykazała, że głównym wykonawcą dotychczasowych osiągnięć w dziedzinie modelowania płytkich struktur geologicznych w Polsce, jest Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (w analizie nie brano pod uwagę modeli przestrzennych wykonanych w komercyjnych podmiotach gospodarczych m.in. Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów, Lafarge ze względu na ich poufność). Spośród szerokiej oferty narzędzi wykorzystywanych do modelowania geologicznego najpopularniejsze jest oprogramowanie Paradigm gOcad, GSI3D, Gemcom Surpac, Geomodeller, Petrel, LithoFrame oraz typu Open Source np. GIS GRASS. Są to profesjonalne narzędzia, które pozwalają nie tylko opracowywać wizualizacje, ale przede wszystkim na parametryzowanie modeli, zaawansowane analizy, a także współdziałanie z bazami danych przestrzennych.

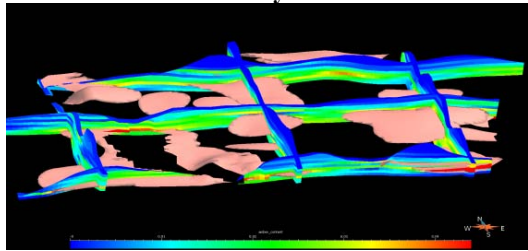
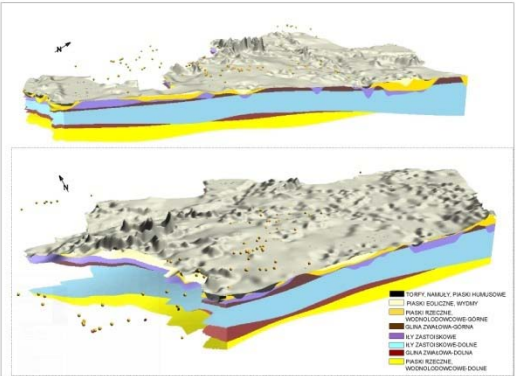
Modele płytkich struktur geologicznych w Polsce dotychczas wykorzystywane były do wizualizacji przestrzennego rozmieszczenia wydzielen stratygraficznych, litologicznych i litofacjalnych. Uzupełniano je także o parametry hydrogeologiczne takie jak rodzaj warstwy wodonośnej i średni współczynnik filtracji, a także charakterystykę nadkładu warstwy wodonośnej. Modele wykorzystywane są jako wsparcie procesów decyzyjnych w jednostkach administracji publicznej. Przykładem może być prowadzenie zrównoważonej gospodarki zasobami surowców np. bursztynu. Dotychczasowe modele mogą stanowić podstawę dla dalszej parametryzacji, co znacząco podniesie ich walor użytkowy. Dodatkowo należy podkreślić

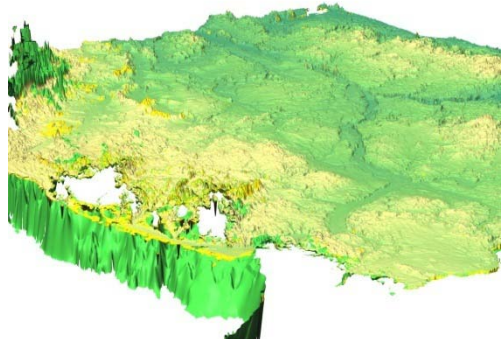
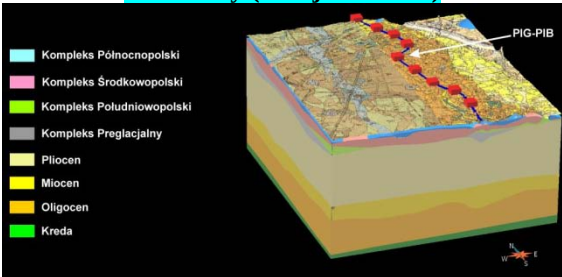
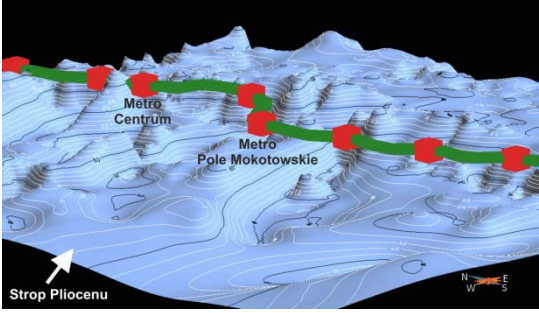
wartości edukacyjne i poznawcze modeli. Są doskonałym narzędziem popularyzacji geologii, nie tylko dla powszechnego odbiorcy, ale także dla tych, którzy podejmują ważne decyzje związane z planowaniem przestrzennym, zarządzaniem zasobami przyrodniczymi, różnego typu inwestycjami. Modele płytkich struktur geologicznych są doskonałym uzupełnieniem tradycyjnej kartografii geologicznej. Dzięki połączeniu tych dwóch sposobów wizualizacji i opisu budowy geologicznej użytkownik może lepiej zrozumieć wpływ geologii na analizowane procesy zachodzące w ośrodku skalnym. Dodatkowa parametryzacja otwiera nowe możliwości związane z przewidywaniem przebiegu procesów.

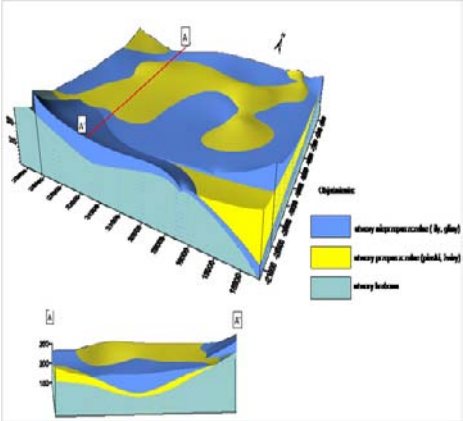
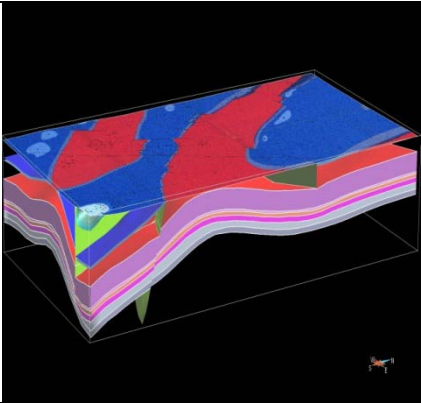
Lp.	Instytucja	Nazwa i opis produktu	Zastosowanie	Oprogramowanie	Podgląd przykładowych modeli
1.	PIG-PIB	Model przestrzenny obszaru dla JCWPD ¹ 44 Model zgeneralizowany wykonany na danych archiwalnych.	a) charakterystyka geologiczna: przyporządkowanie stratygraficzne, opis litologiczny, b) charakterystyka hydrogeologiczna: rodzaj utworów budujących warstwę wodonośną (skały osadowe, magmowe, metamorficzne), średni współczynnik filtracji, c) charakterystyka nadkładu warstwy wodonośnej	gOcad (Geologic Computer Aided Design)	Wizualizacja budowy geologicznej JCWPD 44  Zasięg JCWPD 44 bez Q 

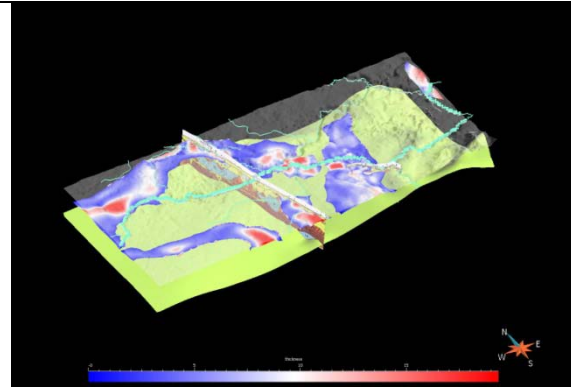
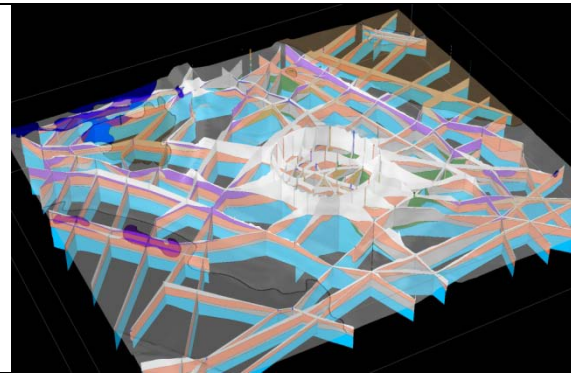
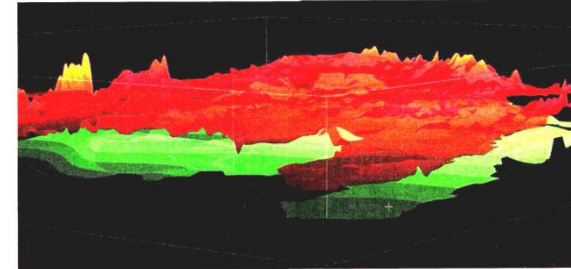
¹ JCWPD – jednolite części wód podziemnych

2.	PIG-PIB; UW	Rekonstrukcja geometrii powierzchni lodowców z maksimum ostatniego zlodowacenia (LGM) w polskich Tatr Wysokich (zlewnie Roztoki i Rybiego Potoku)	a) rekonstrukcja powierzchni lodowców z maksimum ostatniego zlodowacenia wypełniające zlewnie rzek Roztoki i Rybiego Potoku. Cały system miał charakter lodowca dendrytycznego; b) parametry otrzymane w wyniku powstałego modelu posłużyły do obliczeń dynamiki lodowca c) model budowy geologicznej polskich Tatr Wysokich stanowi cenny materiał na potrzeby popularyzacji nauk o Ziemi d) otrzymana rekonstrukcja stanowi jeden z elementów pomocnych przy modelowaniu 4D procesów geodynamicznych.	GRASS GIS	
3.	PIG-PIB	Dane otworowe, jak i opracowania kartograficzne posłużyły do opracowania parametrycznych modeli obrazujących (1) relacje lito-facjalne sekwencji osadowych złoża oraz (2) zmienność bursztynoności eoceńskiej serii złożowej. Dane uzyskane w oparciu o modele posłużyły do opracowania analizy pozwalającej na wskazanie najkorzystniejszych partii złoża w odniesieniu do wybranego ściecia poziomego na potrzeby prowadzenia	a) wizualizacja przestrzennych relacji lito-facjalnych osadów eoceńskiej serii złożowej w odniesieniu do zmienności zawartości procentowej bursztynu b) obliczenie kubatury ciała złożowego oraz jego nadkładu c) próba wskazania najbogatszych partii złożowych d) analiza na potrzeby prowadzenia racjonalnej gospodarki złożem	gOcad (Geologic Computer Aided Design)	Model litologiczny 

		zrównoważonej gospodarki zasobami surowca bursztynowego			Model bursztynoności 
4.	PIG-PIB; Centrum Gospodarki Przestrzennej	Model budowy geologicznej 3D gminy Wołomin. Cyfrowy model budowy geologicznej został skonstruowany na bazie profili litologicznych, opracowanych na podstawie archiwalnych prac dokumentacyjnych (odkrywki, szurfy, sondy, dokumentacje złożowe, otwory wiertnicze, otwory studzienne itp.) oraz danych interpretacyjnych i naukowo-badawczych (profile i przekroje geologiczne, geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne).	a) model obrazuje budowę geologiczną gminy Wołomin, b) kompleksowe rozwiązanie wspomagające planowanie przestrzenne, określające uwarunkowania geologiczne c) interakcje danych geologicznych i planistycznych w aspekcie podejmowania decyzji d) I poziom wodonośny	GRASS GIS	 NARZĘDZIE GRASS (NVIZ) UMOŻLIWIA PRZEPROWADZANIE LINII PRZEKROJÓW GEOLOGICZNYCH O DOWOLNYM AZYMUTIE UPROSZCZONA BUDOWA GEOLOGICZNA GMINY WOŁOMIN - PRZEWYSZCZENIE 30 X 

5.	PIG-PIB	Przestrenny model wglębnej budowy geologicznej Polski (3D) od -500 m n.p.m. do powierzchni terenu – część opracowania	Przestrenny model wglębnej budowy geologicznej Polski" powstał na podstawie map geologicznych ścięcia poziomego, profilów otworów wiertniczych, danych opublikowanych i archiwalnych /geologicznych i geofizycznych/ oraz informacji z istniejących baz danych CBDG i bazy HYDRO. Dla konstrukcji modelu, opierającego się na profilach otworów wiertniczych została utworzona specjalna baza tych otworów ok. 450 tys otworów.	GRASS GIS	
6.	PIG-PIB	Model litologiczny osadów piętra kenozoicznego fragmentu aglomeracji Warszawy (w trakcie realizacji) jest efektem integracji opracowań kartograficznych oraz danych zebranych z ponad 7000 otworów. Przedstawiono wizualizację charakterystycznych elementów budowy geologicznej, takich jak: dolina rynnowa Żoliborz-Szcześliwice, strefa glacictektonicznie sfałdowanych osadów plioceńskich, pokłady mioceńskiego węgla brunatnego	a) model stanowi osnowę strukturalną dla modelu parametrycznego na potrzeby geologii inżynierskiej b) jest jednym z elementów niezbędnych do zbudowania zintegrowanego systemu informacyjnego, obejmującego dane: geologiczne i planistyczne aglomeracji Warszawy c) stanowi materiał edukacyjny i popularyzatorski	gOcad (Geologic Computer Aided Design)	Model stratygraficzny fragmentu aglomeracji Warszawy (wersja robocza)  Powierzchnia stropowa pliocenu 

7.	TEBERIA Fundacja dla Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie	analizy, badania modelowe oraz powierzchniowe pomiary geochemiczne, których wynikiem były: - koncepcyjne modele geologiczne badanych ośrodków w aspekcie regionalnym i lokalnym, - modele numeryczne dla dwóch wybranych rejonów likwidowanych kopalń, - symulacje komputerowe przeprowadzone w oparciu o modele numeryczne	Szczegółowa analiza następujących elementów: - litostratygrafia skał budujących utwory karbonu, - miąższości nadkładu i jego wykształcenia, - tektoniki, - metanonośności pokładów węgla	Surfer	Model 3D nadkładu czwartorzędowego w rejonie zlikwidowanej kopalni „Niwka-Modrzejów“ 
8.	PIG-PIB	Mapa 3D powierzchni Gnieździska - 1:25000 - arkusz Piekoszków	Model utworzony na podstawie pilotażowej mapy geologicznej SMGP w skali 1:25000 Wykorzystany algorytm DSI do budowy wszystkich powierzchni strukturalnych. Model składa się z 11 jednostek stratygraficznych. Cel naukowy i dydaktyczny	gOcad (Geologic Computer Aided Design)	
9.	PIG-PIB	Model Kanału Augustowskiego – „Kartowanie geologiczne i geomorfologiczne połączone z podstawowymi badaniami paleontologicznymi i sedymentologicznymi w	Model Kanału Augustowskiego Prace te opierały się na nadaniu georeferencji oraz dobraniu przewyższeń dla zeskanowanych przekrojów geologicznych i geofizycznych (gOcad), przeprojektowaniu układów odwzorowania map rastrowych i wektorowych do układu PUWG 92 (GRASS GIS - biblioteki OGR i GDAL). Dane punktowe - wiercenia zostały	gOcad (Geologic Computer Aided Design)	

		obszarze przygranicznym Polski i Białorusi“	zaimportowane w postaci profili z wyznaczonymi spągami wydzielen stratygraficznych na podstawie archiwalnych kart otworów oraz wydruków baz danych do mapy Grodno (<i>GkcoSB</i>), oraz rastrowych profili, którym nadano georeferencje - (<i>gOcad</i>). Tak zebrane dane zostały umieszczone w środowisku 3D, gdzie przy odpowiednio dobranym przewyższeniu dokonano ich weryfikacji w aspekcie wzajemnego występowania oraz lokalizacji na modelu terenu. Z punktów 3D oraz zdigitalizowanych przekrojów utworzono powierzchnie spągowe wydzielen stratygraficznych czwartorzędu.		
10.	PIG-PIB	Model geologiczny podłoża Stadionu Narodowego w Warszawie	Wykonano model statyczny wydzielen litologiczno stratygraficznych osadów czwartorzędowych i podłoża w rejonie budowanego Stadionu Narodowego w Warszawie. Projekt ma na celu pokazanie możliwości modelu 3D w takich kierunków jak geologia inżynierska i kartografia. Może też pokazać szerszemu gronu odbiorców problemy związane z warunkami geologicznymi, budową geologiczną płytkich struktur oraz gromadzeniem osadów antropogenicznych w obrębie inwestycji budowlanej.	GSI3D (Geological surveying and investigation in three dimensions)	
11.	PIG-PIB	Przygotowanie do opracowania metodyki tworzenia przestrzennych modeli 3D wglębnej budowy geologicznej wybranych arkuszy SmgP w skali 1: 50 000	W ramach tego przedsięwzięcia wykonano próby z oprogramowaniem GSI3D z BGS. Kontynuacja tematu i wykonanie modeli na podstawie map SmgP w skali 1 : 50 000 ark. Kętrzyn i Wetlina została złożona w formie projektu statutowego PIG-PIB i czeka na akceptację.	GSI3D (Geological surveying and investigation in three dimensions)	

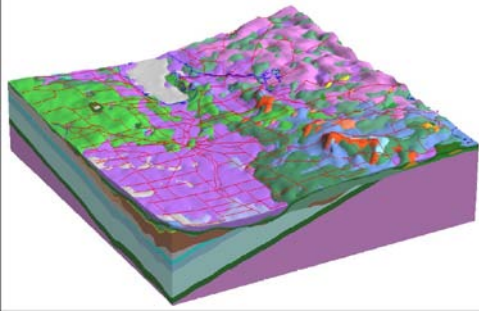
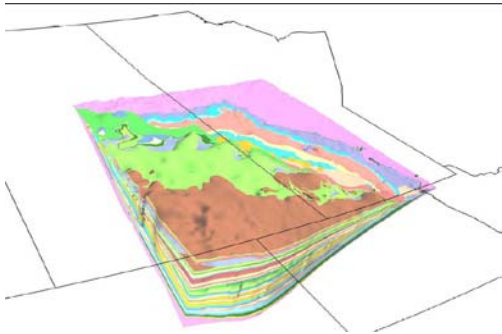
2. Kwerenda opracowań wielowymiarowej kartografii geologicznej na świecie

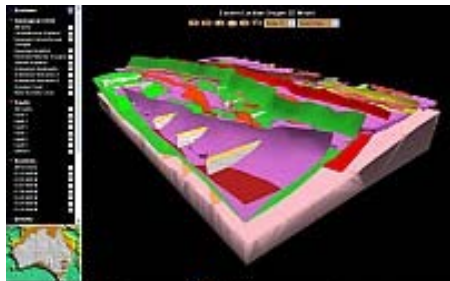
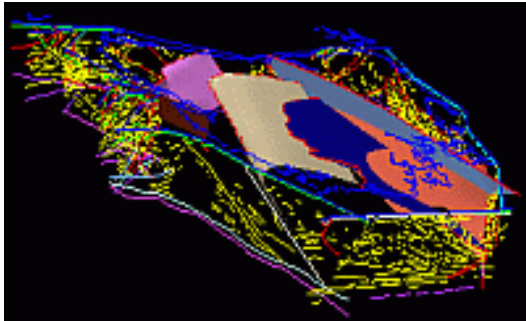
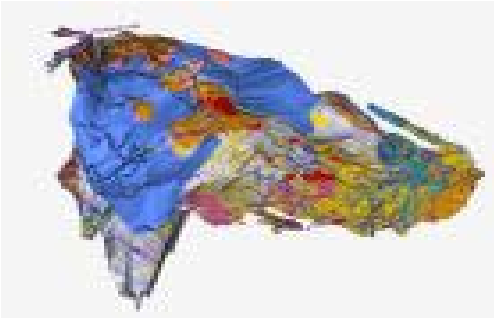
Dla jak najpełniejszego sformułowania założeń do wykonywania wielowymiarowej, parametrycznej kartografii geologicznej płytkich struktur (do 30 m) w Polsce, niezbędna jest kwerenda zbliżonych tematycznie opracowań tworzonych na świecie. Analizowano przede wszystkim osiągnięcia wiodących ośrodków, w tym także służb geologicznych, które od wielu lat wytyczają kierunki w rozwoju modelowania geologicznego.

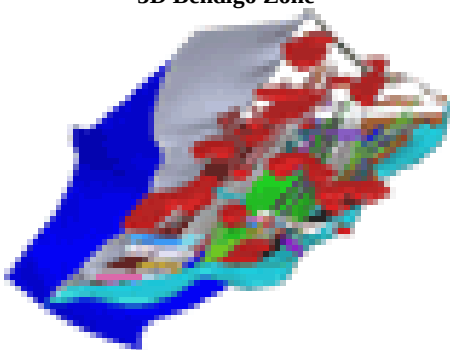
Przytoczone poniżej przykłady zostały w większości wykonane w oparciu o oprogramowanie Paradigm gOcad, GeoModeller oraz GSI3D, dzięki czemu możliwe było parametryzowanie modelu ośrodka skalnego i wykonanie skomplikowanych analiz. Wykorzystanie modeli jest bardzo szerokie i zależy od wymagań użytkowników. Do najważniejszych zastosowań modeli budowy geologicznej zaliczyć można m.in.:

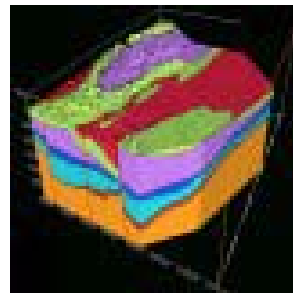
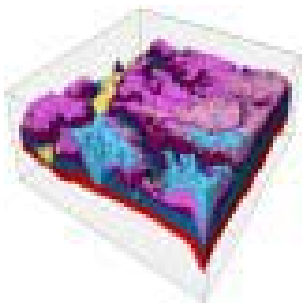
- lokalizacja, analizy, zarządzanie i wydobywanie złóż surowców mineralnych,
- szczegółowe zastosowania hydrogeologiczne np. analiza warstw nieprzepuszczalnych i warstw wodonośnych, transport i zanieczyszczenie wód gruntowych,
- analizy procesów geologicznych, szczególnie geozagrożeń oraz ich monitoring,
- tworzenie przekrojów geologicznych,
- analiza powierzchni uskoków,
- opracowywanie planów zagospodarowania przestrzennego,
- planowanie ochrony terenów zagrożonych,
- zarządzanie składowiskami odpadów,
- prowadzenie badań geotechnicznych, archeologicznych.

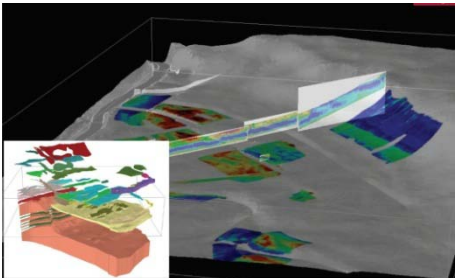
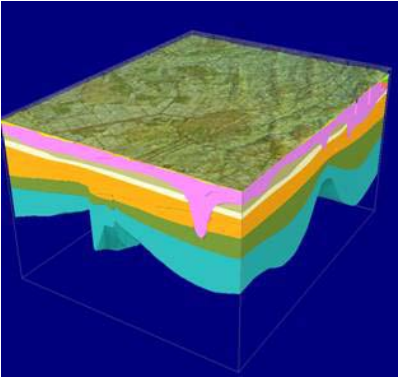
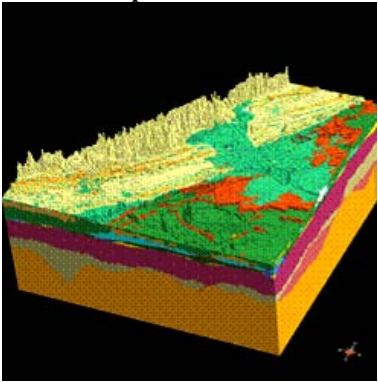
Bardziej szczegółowe charakterystyki modeli wykonywanych przez światowe ośrodki zostały ujęte w tabelę. Zestawienie pokazuje stopień zaawansowania modeli wykonywanych w świecie oraz szeroki wachlarz zastosowań. Część z doświadczeń może z powodzeniem zostać wdrożona także w Polsce.

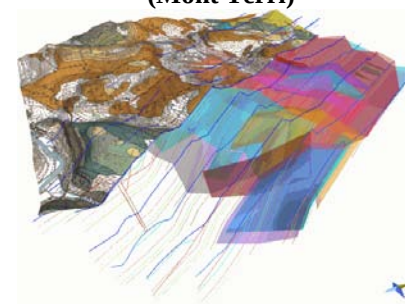
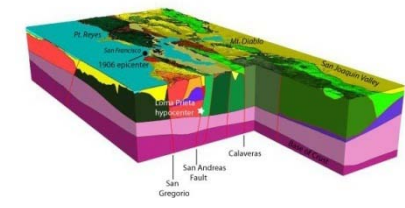
Lp.	Kraj	Instytucja	Opis produktu	Zastosowania	Oprogramowanie	Podgląd przykładowych modeli
1.	Kanada	Monitoba Geological Survey	Geologiczny model 3D jest budowany w oparciu o siatkę reprezentatywnych punktów stratygraficznych o oczku 5km. Punkty są importowane do programu, gdzie tworzony jest model trójwymiarowy. Poszczególne jednostki są modelowane od dołu, począwszy od warstwy prekambryjskiej. W tej metodologii każdy wybrany punkt stratygraficzny zawiera pomiar wszystkich możliwych jednostek. Jeśli jednostka nie istnieje otrzymuje, grubość o wartości zero. W ten sposób powstaje siatka o oczku 5km zawierająca każdą z modelowanych jednostek. Następnie siatka służy do tworzenia powierzchni każdej z jednostek i połączeniu ich w model 3D.	-modelowanie wody gruntowej, -pomiar i szacowania wydobywania ropy i gazu, -zarządzanie przemysłem wydobywania minerałów, -szczegółowe zastosowania hydrologiczne: model spływu i transportu wody gruntowej w południowej części Monitoba, interpretacja heterogenicznych obszarów transmisyjnych w regionie Winnipeg, opis właściwości chemicznych wód gruntowych południowej części Monitoba, opis podatności na uszkodzenia delty Assiniboine Delta Aquifer wobec zmiany klimatu.	gOcad (Geologic Computer Aided Design)	Geologiczny model 3D regionu Winnipeg  Geologiczny model 3D regionu TGI Williston Basin 

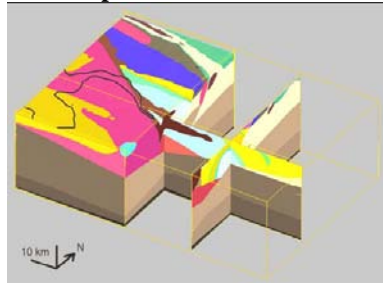
2.	Australia	Geoscience Australia - Department of Resources, Energy and Tourism, Australian Government	Model powstaje w procesie integracji danych z wielu różnych źródeł. Wynikowy produkt zawiera trójwymiarową mapę geologiczną i jest wzbogacony o możliwość wizualizacji lub uzyskania dostępu do takich danych jak: numeryczny model terenu, obraz grawitacji, obraz pola magnetycznego, powierzchnie uskoków, przekroje geologiczne, obrazy satelitarne, mapy geologiczne, zobrażenia geofizyczne, główne struktury geologiczne, interpretację danych sejsmicznych oraz interpretację danych geologicznych.	Geoscience Australia tworzy modele 3D w odpowiedzi na zapotrzebowanie naukowców, aby ułatwić szeroko rozumianą interpretację danych.	Geologiczny model 3D tworzony w środowisku gOcad jest następnie eksportowany do formatów X3D (extensible 3D) oraz VRML i uzupełniany o informacje tekstowe. Modele mogą być wizualizowane przez użytkowników za pomocą darmowej przeglądarki BS Contact.	Eastern Lachlan Orogen trójwymiarowy model VRML  Tasmanian TASGO trójwymiarowy model VRML 
3.		Primary Industries and Resources SA (PIRSA), Government of South Australia	Modele tworzone są przy użyciu różnych danych i różnej metodologii, w zależności od potrzeb i zasobu danych określonego obszaru.	- analiza procesów geologicznych zachodzących na danym obszarze, - zdefiniowanie braków danych na modelowanym obszarze, - prowadzenie badań nad potencjałem przemysłu mineralnego	Modele tworzone są przy użyciu programu 3D GeoModeller oraz gOcad. Modele zapisywane są w formacie 3D-pdf, możliwym do wyświetlania poprzez Adobe Acrobat 3D Toolbar.	Curnamona Sedimentary Basin Model 

4.		Departament of Primary Industries (DPI), Victorian Government, Australia	DPI wykonał kilka lokalnych geologicznych modeli trójwymiarowych. W zależności od dostępnych danych, modele tworzone są na podstawie map geologicznych w skalach 1: 250 000, 1:50 000, przekrojów geologicznych, raportów z prac terenowych i danych sejsmicznych. Modele tworzone są na obszarach kilkudziesięciu km ² i sięgają głębokości kilkunastu km.	-analiza poziomów nieprzepuszczalnych, -wizualizacja geometrii uskoku, - lokalizacja i planowanie wydobycia złóż rudy	Modele są wykonywane w programie gOcad oraz GeoModeller, następnie zapisywane w formacie 3D-pdf, możliwym do wizualizacji za pomocą Adobe Acrobat Leader. Możliwy jest również eksport danych do formatu DXF. Pomocniczo, przy tworzeniu niektórych modeli używane są programy ModelVision oraz QuickMag.	3D Bendigo Zone  Geologiczny model 3D Redesdale i części Palong 
5.	Wielka Brytania	British Geological Survey	BGS tworzy dwa typy modeli: LithoFrame oraz SDTM. Modele LithoFrame są swego rodzaju trójwymiarowym odpowiednikiem map geologicznych. Podzielone zostały na cztery grupy w zależności od skali, dla jakiej są budowane. -LithoFrame 1M – w skali 1: 1000 000, przedstawia geologię całej Wielkiej Brytanii, jej główny podział stratygraficzny i główne strefy uskoku. Model sięga od powierzchni ziemi do 40km w głąb. Został stworzony na podstawie map geologicznych w skali 1: 625 000, głębokich wiercen geologicznych oraz	- wykorzystanie w analizach GISowych do tworzenia produktów o określonej tematyce, - analizy i planowanie zarządzania i wydobycia złóż mineralnych, - analiza warstw nieprzepuszczalnych i warstw wodonośnych na potrzeby hydrologii, produkcja map warstw wodonośnych, - analiza zanieczyszczeń wód gruntowych, - tworzenie przekrojów geologicznych,	BGS do budowy regionalnych, głębokich modeli w małych skalach używa programu gOcad. Szczegółowe modele 3D geologii struktur płytkich tworzone są przy pomocy oprogramowania GSI3D (Geological Survey and Investigation In 3D). Do wizualizacji modelu i	Model LithoFrame 1M 

		badań geofizycznych. -LithoFrame250 – modele dla warstw stratygraficznych do głębokości 5 km. Jeden blok (ang. „tile”) modelu zawiera obszar 50 km x 50 km. -LithoFrame50- modele do 1 km głębokości o blokach 10 km x 10 km. -LithoFrame10 – najbardziej dokładny model, tworzony ze zwróceniem szczególnej uwagi na strefy płytkiej sedimentacji, morfologie podłoża, osady powodziowe i tarasy rzeczne. Model SDTM (Superficial Deposits Thickness Models) wizualizuje pomiary wysokości podłoża skalnego. W założeniu ma pokrywać obszar całej Wielkiej Brytanii i powstaje na podstawie danych z około 600 000 geologicznych wierceń oraz map geologicznych w skali 1:50 000. Podstawą do modelu jest siatka o oczku 50 x 50 m. Powstają także modele wybranych struktur w skalach szczegółowych 1: 1000 do 1: 200. Są to modele o rozdzielczości 0,1 m. i poniżej 500 m² powierzchni. Shelford - model	- wykorzystanie dla celów edukacyjnych, - wykorzystanie w planach zagospodarowania przestrzennego i planach budowy, - wykorzystanie w badaniach archeologicznych, - planowanie ochrony terenów zagrożonych i zarządzanie składowiskami odpadów, - modelowanie geozagrożeń	przewodzenia analiz na jego podstawie używany jest program Subsurface Viewer.	Model LithoFrame250 Cental Weald  Model LithoFrame50 rejonu Lower Jurassic w Vale of Belvoir. Blok o wymiarach 10x10km i głębokości 500m.  Model LithoFrame10 obszaru Ipswitch, blok o wymiarach 10 x 10 km i głębokości 50m. 
--	--	---	---	--	---

						detailed 3D models 
6.	Holandia	Geological Survey of the Netherlands	Geological Survey of the Netherlands tworzy cztery rodzaje modeli powierzchniowych: DGM, REGIS II, GeoTop oraz NL3D. DGM- geologiczny model 3D sięgający do około 500m w głąb ziemi. Powstaje na podstawie map i przekrojów geologicznych oraz 16 500 wierceń geologicznych. REGIS II – następca REGIS I - Regionaal Geohydrologisch Informatiesysteem. Jest to zbiór cyfrowych plików z informacjami hydro-geologicznymi i stanowi podstawę do tworzenia lokalnych modeli wód podziemnych. Zawiera informacje o przepuszczalności poszczególnych warstw modelu DGM. GeoTop – zawiera szczegółowy, trójwymiarowy obraz geologii Holandii do 50 m od powierzchni ziemi. Powierzchnia modelu podzielona jest na komórki o wymiarach 100 x 100 m (w poziomie) x 0,5 m (w pionie). Do każdej komórki przypisane są informacje o stratygrafii, litologii, parametry fizyczne i chemiczne (np. przepuszczalność). Model jest więc podstawą do uzyskania obrazu przestrzennej zmienności określonych parametrów. Nederland3D (NL3D) – jest to model	- planowanie rozwoju i zarządzanie terenem, - zarządzanie wodami podziemnymi, - badanie rozwoju geologicznego Holandii, - planowanie wydobycia surowców mineralnych, - prowadzenie badań hydrogeologicznych, geotechnicznych, archeologicznych	Brak danych	Fragment modelu DGM  Model GeoTop Holandii Południowej 

			podstawowy, oparty na modelu GeoTop (ale w niższej rozdzielczości). Pokrywa on powierzchnię około 41.000 km ² i sięga 50 m w głąb. Składa się z komórek o wymiarach 250 x 250 m (w poziomie) x 1 m (w pionie). Każda komórka zawiera informacje o stratygrafii, litologii oraz klasie wielkości ziarna piasku.			
7.	Szwajcaria	Swiss Geological Survey	Modele 3D tworzone są na podstawie map, przekrojów, wiercen geologicznych oraz danych sejsmicznych. Modele stanowią punkt wyjścia do przeprowadzania złożonych analiz i tworzenia bardziej szczegółowych, tematycznych produktów. Geologiczny model 3D powstaje poprzez połączenie dwóch składowych: trójwymiarowego modelu linii uskoków i załamań oraz trójwymiarowego modelu powierzchni warstw geologicznych.	- planowanie zagospodarowania terenu, - planowanie eksploracji złóż mineralnych, - analizy terenów podziemnych, - planowanie działań ochronnych terenów zagrożonych	Swiss Geological Survey używa oprogramowania Move (produkcja Midland Valley Exploration).	Geologiczny model 3D regionu St-Ursanne (Mont Terri) 
8.	USA	U.S Geological Survey	USGS obecnie pracuje nad projektem obejmującym rejon San Francisco Bay, którego wynikiem mają być trzy produkty: 1. tradycyjne mapy geologiczne połączone z cyfrowymi bazami danych, 2. trójwymiarowe mapy geologiczne również uzupełnione o bazy danych, 3. schemat postępowania, metodologia i narzędzia do pozyskiwania i edytowania trójwymiarowych map geologicznych w przyszłości. Trójwymiarowy model geologiczny sięga 45km w głąb ziemi i jest podzielony na nieregularne bloki wzdłuż powierzchni uskoków.	-planowanie gospodarki przestrzennej, -podejmowanie działań prewencyjnych na terenach zagrożonych, -zarządzanie eksploracją złóż, -lokalizacja źródeł zanieczyszczeń i rozprzestrzeniania się szkodliwych substancji, -modelowanie ruchu wód gruntowych, -monitorowanie osuwisk, -analiza powierzchni uskoków, -modelowanie rozchodzenia się fal sejsmicznych, - przeprowadzanie symulacji trzęsień ziemi	Do budowy modeli wykorzystywane jest oprogramowanie EarthVision(TM) (producent Dynamic Graphics) oraz gOcad. Do wizualizacji przez użytkowników proponowane jest wykorzystywanie oprogramowania open-source ParaView.	Geologiczny model 3D regionu San Francisco Bay 

9.	Francja	BRGM	Modele są dostępne w 14 kategoriach: 01 - Couches horizontales – warstwy poziome 02 - Couches faiblement pentées – warstwy lekko pochyle 03 - Couches fortement pentées – warstwy stromo pochyle 04 – Synclinal - niecki 05 – Anticlinal - antylkiny 06 - Faille Normale – uskoki normalne 07 - Faille Inverse – uskoki odwrócone 08 - Pli-Faille – uskoki i fałdy 09 - Terrasses Etagées - tarasy 10 - Terrasses Emboîtées -tarasy 11 – Laccolite 12 – Diapir 13 – Jura 14 - Laragne	-planowanie przestrzenne, -zarządzanie warstwami wodonośnymi, -badanie ryzyka geozagrożeń, -badanie zagrożeń sejsmicznych	GeoModeller (wcześniej 3D Geological Editor - 3DWEG – Web Editeur Geologique) Użytkownicy mogą wyświetlać dostępne modele w wersji VRML za pomocą darmowej przeglądarki internetowej.	Strukturalny model 3D regionu Champtoceaux w Armorican 
----	---------	------	--	---	---	--

3. Analiza kwestii dotyczących metadanych dla danych wielowymiarowych, parametrycznych

Metadane są to informacje o danych. Umieszczone w katalogu metadanych pozwalają w szybki i łatwy sposób za pośrednictwem Internetu z dowolnego miejsca w świecie wyszukiwać i docierać do interesujących nas danych. Przy niewielkiej liczbie opracowań oraz niewielu wykonawcach łatwo odnaleźć wskazane dane. Z chwilą gdy ilość ich rośnie, niezbędne jest zawężanie sposobu wyszukiwania. Od sposobu przygotowania metadanych zależy to, jak wiele osób, instytucji będzie zainteresowanych określonym produktem oraz jak często będą one wykorzystywane. Wielowymiarowe parametryczne modele budowy geologicznej struktur płytkich w Polsce powinny być włączone do Zintegrowanego Systemu Przestrzennej Informacji Geologicznej IKAR (ikar.pgi.gov.pl), tak jak podstawowe opracowania kartografii geologicznej. Proponuje się, by tak jak w projekcie „Szczegółowy numeryczny model wglębnej budowy aglomeracji miejskiej na przykładzie fragmentu Warszawy” także kosztorysy innych opracowaniach kartografii wielowymiarowej uwzględniały koszt opracowania metadanych oraz przygotowania wyników do publikacji w ramach Zintegrowanego Systemu Przestrzennej Informacji Geologicznej IKAR w sposób dostosowany do wymogów, standardów i aktualnych możliwości technicznych systemu. Przyjęcie takiego rozwiązania będzie równoznaczne z wpisaniem opracowań do rejestru publicznego „Centralna Baza Danych Geologicznych” zgłoszonego przez Państwowy Instytut Geologiczny - PIB. Jednakże należy podkreślić, że System IKAR zasilany byłby tylko tymi opracowaniami, które byłyby własnością PIG-PIB lub Skarbu Państwa. W przyszłości umożliwiłoby to stworzenie kompleksowej bazy danych o przestrzennej budowie geologicznej Polski. Dlatego też w interesie wszystkich organów Państwa, jest umożliwienie szerokiego dostępu do wielowymiarowych modeli parametrycznych budowy płytkich struktur geologicznych obszarów szczególnie narażonych na geozagrożenia, powodzie, bogatych w surowce mineralne oraz obszarów strategicznych z punktu widzenia ich wykorzystania jako ważnych dla kraju inwestycji (np. potencjalne lokalizacje elektrowni jądrowych, składowiska odpadów, podziemne magazyny surowców).

Z uwagi na dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2007/2/WE z dnia 14 marca 2007 r. ustanawiającej infrastrukturę informacji przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej (INSPIRE) oraz Ustawę z dnia 4 marca 2010 r. o infrastrukturze informacji przestrzennej opracowane metadane dla modeli budowy geologicznej muszą być zgodne z wytycznymi dyrektywy. Taką zgodność oraz dostosowanie do specyfiki danych geologicznych zapewnia geologiczny profil metadanych Państwowego Instytutu Geologicznego-Państwowego Instytutu

Badawczego. Rozwiązanie to zapewni spójność w opisie zasobów geologicznych w tym także zasobów Zintegrowanego Systemu Przestrzennej Informacji Geologicznej IKAR.

Oprócz podstawowych informacji, zaleca się także, by metadane dla modeli budowy geologicznej miały dokładniej określone parametry, które są szczególnie istotne dla danych wielowymiarowych. Zasięg przestrzenny powinien być zdefiniowany nie tylko w ujęciu poziomym jak to jest w przypadku opracowań kartograficznych, ale przede wszystkim musi być podany zasięg głębokościowy modelu. Ma to istotny wpływ na zakres wykorzystania opracowania. W części poświęconej zasięgowi czasowemu konieczne jest odniesienie do czasu geologicznego ujętych w modelu wydzielen. Bardzo istotna z punktu widzenia przyszłych odbiorców jest informacja o rozdzielczości modelu oraz rodzaju parametrów, które zostały uwzględnione podczas modelowania.

Ze względu na zakładany szeroki zakres stosowalności wyników wielowymiarowej kartografii geologicznej struktur płytkich niezbędne jest wcześniejsze zdefiniowanie zakresu ich wykorzystania. W przypadku wątpliwości potencjalny użytkownik powinien mieć możliwość nawiązania kontaktu z wykonawcą w celu uzyskania informacji o możliwości konkretnego specyficznego zastosowania modelu lub niezbędnych jego uzupełnień i modyfikacji. Ważne jest też to, by za pośrednictwem metadanych poinformować użytkownika o ewentualnych ograniczeniach stosowania wynikających z dokładności modelu i/lub przepisów prawa. Dla potencjalnych odbiorców ważna jest także informacja o aktualizacji danych. Będzie to szczególnie istotne w przypadku parametrów zmiennych w czasie.

W związku z tym, wielowymiarowa parametryczna kartografia geologiczna struktur płytkich stała się pożądanym sposobem wizualizacji i analizy danych geologicznych. Dobre opracowanie metadanych zdecydowanie wpłynie na zwiększenie wykorzystania modeli budowy geologicznej.

4. Opinia dotycząca zakresu użyteczności i sposobu wykorzystania efektów wielowymiarowej, parametrycznej kartografii geologicznej płytkich struktur w Polsce

Utylitarny charakter modelowania geologicznego wynika głównie z możliwości poszerzenia spektralnego zakresu obserwacji geologicznych poprzez wygenerowanie ciągłych reprezentacji graficznych w oparciu o jedno- i dwuwymiarowe dane wejściowe. Zebranie wszystkich dostępnych danych w środowisku przestrzeni 3D umożliwia ich jednoczesną analizę, interpretację i weryfikację, do tej pory niespotykaną w kartografii. Specjalistyczne narzędzia do modelowania typu gOcad umożliwiają także transformację danych geofizycznych wykonanych w domenie czasu do układu głębokościowego i ich analizę i interpretację w przestrzeni

rzeczywistej. Dotychczasowe badania wykorzystujące narzędzia modelowania geologicznego skupiają się w dwóch przewodnich nurtach, których celem jest (1) opracowanie modelu statycznego oraz (2) stworzenie rekonstrukcji przebiegu procesu geodynamicznego w funkcji czasu.

Cyfrowy model złoża poprzez cięcia w dowolnych kierunkach, zapewnia w szybki sposób jego weryfikację. Opracowując model cyfrowy można konstruować sieciowy model struktury złoża oraz oszacować zasoby w jego obrębie. W tak opracowanym wirtualnym modelu można wprowadzać nowe parametry geologiczne i surowcowe w miarę pozyskiwania kolejnych danych i dzięki temu płynnie uzyskiwać nowy, zaktualizowany kształt złoża.

Przestrzenne reprezentacje ośrodka skalnego stanowią nową generację map z dokładnością określoną w 3 wymiarach w kontekście litologicznym i genetycznym. Statyczny model można wykorzystać jako strukturalną podstawę dla parametryzacji ośrodka skalnego stosując odpowiednie algorytmy interpolacyjne. Na etapie budowania szkieletu budowy geologicznej należy wykorzystać metodę interpolacji, która uznaje ograniczenia wynikające z obecności danych geologicznych (w postaci danych otworowych, profilowań geofizycznych), jak i stara się odtworzyć ciągłą reprezentację powierzchni na terenach słabo rozpoznanych z jak największą dokładnością. Taką możliwość oferuje algorytm DSI (Discrete Smooth Interpolation) oferowany wyłącznie przez aplikację Paradigm gOcad.

Opracowanie analizy zmienności właściwości jednostek litologicznych w oparciu o dane pozyskane w trakcie terenowych prac geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych i geofizycznych ma zastosowanie przy ocenie fizyczno-mechanicznych własności gruntu, która jest niezbędna na etapie planowania, projektowania i monitoringu inwestycji budowlanych. Przestrzenna reprezentacja rozkładu parametrów geotechnicznych stanowi efektywny element analityczny przy określeniu wzajemnego wpływu obiekt-ośrodek skalny.

Modelowanie geologiczne znajduje swoje zastosowanie w rekonstrukcji procesów dynamicznych o szczególnym znaczeniu w ochronie środowiska oraz hydrogeologii. Zastosowanie odpowiednich algorytmów symulacji lub/i interpolacji pozwala na prognozowanie migracji zanieczyszczeń warunkowane np. zmiennością litologiczną i budową morfologii poszczególnych warstw przepuszczalnych i izolujących.

Spośród wielu dziedzin nauk geologicznych, w których swoje zastosowanie ma statyczne i parametryczne modelowanie na czoło wysuwa się geologia złóż. Implikacyjny charakter badań wynika z możliwości wyznaczania potencjalnych obszarów, które mogą stanowić rezerwuar kopalin lub surowca mineralnego. Podstawową zaletą modelu jest możliwość oceny jakościowej i ilościowej urobku w oparciu o dane dokumentacyjne, jak i te nabyte w trakcie eksploatacji.

Informacje geośrodowiskowe jakie niosą ze sobą badania modelowe stanowią element pomocny przy racjonalnym planowaniu zagospodarowania przestrzennego. Wsparcie w zakresie prowadzenia zrównoważonego zarządzania obszarami warunkowanego czynnikami geośrodowiskowymi oferuje oprogramowanie CommunityViz – bazujące na systemie informacji przestrzennej.

Zarówno zakres użyteczności, jak i możliwości realizacji kartografii 3D są zdeterminowane dostępnością, jakością danych wejściowych, ich rozmieszczeniem przestrzennym oraz stopniem skomplikowania budowy geologicznej. Ponieważ reprezentacje modelowe są pozbawione skali, więc wyznacznikiem dokładności i wiarygodności uzyskanych danych jest stopień zagęszczenia siatki triangulacyjnej powierzchni reprezentującej strop jednostki litologicznej, stratygraficznej. W przypadku modelowania utworów czwartorzędowych w oparciu o nieciągłe dane kartograficzne można wykorzystać koncepcje ujmujące wiedzę o budowie i zasięgu przestrzennym form akumulacyjnych i erozyjnych.

O ile zaimplementowane w oprogramowaniu modelującym możliwości analityczne pozwalają na konstrukcję zaawansowanych zapytań i kwerend, tak w przypadku wizualizacji modelu zewnętrznymi aplikacjami (np. webowymi) funkcje jego ograniczają się jedynie do graficznej reprezentacji budowy geologicznej poprzez generowanie przekrojów geologicznych wzdłuż dowolnej linii. Ograniczenia te wynikają z braku standaryzacji środowiska wymiany danych zapisanych przy użyciu często odmiennych standardów kodowania.

Należy mieć na uwadze, że modele budowy geologicznej są jedną z reprezentacji kartograficznych i **podlegają weryfikacji merytorycznej i technicznej przez Komisję Opracowań Kartograficznych. Warunkiem spójności modeli opracowanych w ramach oddzielnych realizacji jest wykonanie ich w obowiązującym układzie 1992/2000, przy wcześniejszym ustaleniu jednolitych wydzielen litologicznych i stratygraficznych.**

Część II

Część druga ekspertyzy jest wstępnym opracowaniem zagadnień, które należy uszczegółowić i rozwinąć w dalszych pracach zmierzających do opracowania strategii wielowymiarowej parametrycznej kartografii geologicznej struktur płytkich w Polsce. Tu zostały wskazane kierunki prac, które należy uszczegółowić i rozwinąć. Ta część ekspertyzy zawiera wytyczne, których realizacja pozwoli jak najpełniej uwzględnić uwarunkowania merytoryczne, techniczne i prawne, aby zapewnić efektem rzeczowym realizowanej w przyszłości kartografii geologicznej jak najwyższe znaczenie użyteczne i zoptymalizować korzyści, jakie mogą mieć dedykowani odbiorcy opracowań.

1. Nakreślenie celów wielowymiarowej kartografii geologicznej struktur w Polsce

Modele cyfrowe obrazujące budowę geologiczną struktur płytkich, jak wykazują doświadczenia innych Państw, mają szerokie zastosowanie w polityce środowiskowej, planistycznej, gospodarce oraz edukacji. Informacja zawarta w modelach przestrzennych składać się będzie m.in. z powierzchni obrazujących ułożenie kolejnych warstw litologicznych, stratygraficznych, warstw geotechnicznych, poziomów wodonośnych natomiast przestrzenie między powierzchniami stropu lub spągu będą mogły być wypełnione informacjami uzyskanymi z dostępnych badań i analiz geochemicznych. Przygotowanie modelu budowy geologicznej struktur płytkich będzie opierało się na danych archiwalnych (m.in. wiercenia, sondy, badania geofizyczne, opracowania kartograficzne), jednakże dotychczasowe doświadczenia wskazują, że dane te powinny podlegać weryfikacji terenowej, ewentualnie uzupełnieniu o nowe dane. W trakcie pozyskiwania nowych danych możliwe będzie wykonanie dodatkowych badań i zebranie informacji, które mogą wzbogacić model o nowe parametry, a w przyszłości być wykorzystywane do rozwiązywania dodatkowych zagadnień.

Poniżej nakreślono kilka głównych kierunków, które osiągną szczególne korzyści z opracowania modeli budowy geologicznej.

a) Polityka środowiskowa – wglębne modele budowy geologicznej wraz z dostępnymi danymi Systemów Informacji Przestrzennych (SIP) będą stanowiły pełny materiał ułatwiający organom administracji publicznej podejmowanie decyzji planistycznych. Interakcje na styku geologia – planowanie (SIP) będą stanowiły doskonały materiał do przeprowadzenia dynamicznych analiz wpływu (DAW) na określone inwestycje np. przy pomocy oprogramowania CommunityViz.

b) Szacowanie zasobów – przy pomocy opracowanego modelu 3D budowy geologicznej płytkich struktur będzie można oszacować potencjalne zasoby występujących złóż surowców pospolitych np. iłu, piasku, żwiru, torfu itp. w obrębie np. określonej jednostki administracyjnej. Zgromadzone dane pozwolą szybko uzyskać informacje na temat parametrów jakościowych, wielkości i zasobności kopaliny, oszacować ilość i objętość ewentualnego nadkładu oraz wpływ niekorzystnych czynników na wydobywanie – wysokie zaleganie zwierciadła wody, tereny objęte strefą ochronną itp.. Model umożliwia ponadto natychmiastową waloryzację ww. danych w miarę dopływu nowych informacji. Oprócz interpolacji, skierowanej na oszacowanie w nieopróbowanym punkcie parametru jakościowego bądź ilościowego charakteryzującego kopalinę, także naprzeciw oczekiwaniom potencjalnego inwestora wychodzą metody symulacji pozwalające na uchwycenie charakterystyki zmienności i prawidłowości występowania składnika użytecznego w złożu.

c) Określenie ewentualnych zagrożeń oddziałujących na środowisko - zgromadzone podczas realizacji opracowywania modelu dane z zakresu informacji o środowisku pozwolą potencjalnym inwestorom przewidzieć zagrożenia środowiskowe na interesujących ich obszarach, a władzom samorządowym podjąć skuteczne kroki w celu ich ograniczenia lub eliminacji. W oparciu o dane monitoringowe zgromadzone w modelu można przewidzieć i wyliczyć potencjalne kierunki, rozmiary i stężenie rozprzestrzeniających się zanieczyszczeń i skażeń.

d) Określenie obszarów zagrożonych powodzią, podtopieniami i migracją wód gruntowych - przy pomocy dostarczonych narzędzi i danych w postaci modelu budowy geologicznej 3D oraz warstw SIP dotyczących hydrografii, określić można obszary o podwyższonym ryzyku podtopień przy wysokich stanach wód, lub przy przejściu fali powodziowej. Oznaczenie i prognozowanie tych zjawisk umożliwi samorządom wcześniejszą reakcję i przeciwdziałanie zagrożeniu oraz właściwe planowanie planów zagospodarowania przestrzennego i przyszłych inwestycji. Narzędzia modelowania 3D stanowią w tej kwestii merytoryczne i analityczne wsparcie dla organów, których kompetencją jest minimalizowanie negatywnego wpływu powodzi i podtopień.

e) Określenie obszarów zagrożonych występowaniem potencjalnych osuwisk - w oparciu o numeryczny model terenu, model 3D budowy geologicznej i warstwy SIP (min. zwierciadła wód podziemnych i wody powierzchniowe) oraz o zasoby zgromadzone w rejestrze osuwisk (Systemie Osłony Przeciwosuwiskowej SOPO), możliwe będzie wskazanie osuwisk zagrażającym obiektom budowlanym i wymagających podjęcia prac interwencyjnych, monitoring aktywnych osuwisk, a także określenie obszarów predysponowanych do rozwoju ruchów masowych, które nie powinny być terenami inwestycji budowlanych. Model wglębnej budowy geologicznej pozwoli na przewidywanie możliwości wystąpienia ruchów masowych z

uwzględnieniem wewnętrznej niejednorodności ośrodka skalnego wynikającej nie tylko ze zróżnicowania litologicznego, ale także wewnętrznych nieciągłości z uwzględnieniem mezo- i megastruktur tektonicznych i glacitektonicznych. Model 3D w połączeniu z SOPO dostarczy kompletnej informacji o możliwości wystąpienia geozagrożenia. Informacje o potencjalnych osuwiskach mogą być wykorzystane przez m.in. terenowe organa planowania przestrzennego, biura projektowe, przedsiębiorstwa budowlane itp. Ponadto systematycznie zbierane dane monitoringowe na obszarach zagrożonych mogą posłużyć do symulacji przebiegu i mechanizmu powstawania osuwisk w ujęciu dynamicznym. Choć jest to podejście stricte naukowe pozwalające na zrozumienie istoty tego niekorzystnego w skutkach dla człowieka zjawiska geodynamicznego, to wyniki tego typu badań mogą służyć do lepszej identyfikacji osuwisk oraz przewidywania i zapobiegania ich powstawania.

f) Określenie obszarów zagrożonych katastrofami wywołanych działalnością człowieka - znajomość powierzchniowej i wgłębnej budowy geologicznej, uzyskana na modelach 3D, oraz wymodelowanie wielu wariantów rozprzestrzeniania się zagrożeń, pozwoli zapobiegać bądź zminimalizować w przyszłości skutki katastrof wywołanych nieprzewidywanymi zdarzeniami: np. pęknięciami zbiorników z toksycznymi substancjami, wyciekami szkodliwych substancji, skażeniem terenu itd.. Analiza rozprzestrzeniania się tych substancji w ośrodku skalnym będzie możliwa do prześledzenia na modelach geologicznych 3D tych rejonów. Takie modele mają także kapitalne znaczenie pod lokalizację obiektów przemysłowych i energetycznych, a w szczególności tych mogących potencjalnie zanieczyścić środowisko.

Ponieważ opracowanie parametrycznego modelu budowy geologicznej 3D jest czasochłonne, dlatego też nie jest możliwe jego wykonanie w chwili wystąpienia zagrożenia. Takie informacje muszą być dostępne w chwili wystąpienia niebezpiecznego zjawiska. Jest to ważne nie tylko dla instytucji, które spowodowały wystąpienie zagrożenia, ale przede wszystkim dla jednostek wszystkich poziomów podziału terytorialnego kraju, które odpowiadają za bezpieczeństwo mieszkańców. Usuwanie skutków katastrof wymaga znajomości przestrzennej budowy geologicznej, gdyż tylko to umożliwi dotarcie np. do zagłębień w obrębie utworów nieprzepuszczalnych, w celu neutralizacji zgromadzonych tam szkodliwych substancji, co podkreślają instytucje zajmujące się rekultywacją.

Tworzenie modeli przestrzennych 3D powinno być czynnikiem innowacyjnym w konstruowaniu planów zagospodarowania terenu. Najistotniejszym jednak innowacyjnym elementem zadania jest nowa, zintegrowana metoda badawcza. Zakończenie realizacji zadania badawczego powinno służyć rozwojowi i udoskonalaniu metod badawczych dla potrzeb kartografii geologicznej, hydrogeologicznej, geologiczno-środowiskowej i geologii inżynierskiej oraz innych, pokrewnych nauk zajmujących się środowiskiem naturalnym.

Doświadczenia ostatnich lat pokazały, że dobre rozpoznanie budowy geologicznej pozwala szybko podejmować decyzje w sytuacjach kryzysowych. W chwili wystąpienia zagrożeń i natychmiastowego podejmowania działań ratunkowych nie jest możliwe szybkie zebranie i przeanalizowanie szczegółowych danych na temat budowy geologicznej, nie wspominając już o braku możliwości wykonania terenowych badań uzupełniających. Część zjawisk ze względu na dynamiczny charakter powinna być monitorowana, a obserwacje modelowane (uwzględnienie w modelu parametru czasowego). Takie podejście zaowocowałoby minimalizacją błędów w prognozowaniach.

2. Wstępne zdefiniowanie adresatów wielowymiarowej kartografii geologicznej i omówienie zapotrzebowania na tego typu opracowania

Zakres wykorzystania modeli budowy geologicznej struktur płytkich definiuje jednocześnie adresatów, którzy będą zainteresowani wynikami prac. Uwagę należy otoczyć przede wszystkim jednostki administracji publicznej, a w szczególności jednostki samorządu terytorialnego na szczeblu gminy, powiatu i województwa oraz przedsiębiorstwa zajmujące się zarówno poszukiwaniem, rozpoznawaniem, jak i koncesjonowaną eksploatacją złóż kopalin. W zakresie ich kompetencji znajdują się problemy związane z różnymi formami gospodarowania zasobami naturalnymi. To one są głównymi decydentami w kwestiach lokalizacji inwestycji, składowisk odpadów, zaopatrzenia w wodę, zagospodarowania przestrzennego i zapobiegania zagrożeniom naturalnym. Kwestiami związanymi z geozagrożeniami oraz ochroną środowiska (m.in. zapobieganiu i usuwaniu skażeń środowiska w szczególności gleb i wody pitnej). Bardzo cennych informacji modele budowy geologicznej dostarczą potencjalnym inwestorom, wesprą decyzje związane z rozbudową i modernizacją sieci drogowej oraz pomogą w podejmowaniu decyzji dotyczącej eksploatacji surowców mineralnych. Powyższe cele realizowane są zarówno na szczeblu centralnym, wojewódzkim i lokalnym. Zarówno geozagrożenia jak i kwestie związane z ochroną środowiska czy pozyskiwaniem surowców mineralnych są istotnymi elementami polityki państwa.

Zważywszy na ilość problemów związanych z zarządzaniem środowiskiem naturalnym w kontekście rozwoju i rozbudowy wielu obszarów Polski, zapotrzebowanie na modele budowy geologicznej stale rośnie. Przeprowadzone rozmowy z przedstawicielami organów administracji państwowej, a także NFOŚiGW wykazują zainteresowanie opracowaniami, które będą w części przedstawiały obraz przestrzennej budowy geologicznej 3D badanego obszaru.

3. Sposoby ustalenia zasad pozyskiwania danych z istniejących baz danych oraz wykorzystania danych archiwalnych

Modele przestrzenne wglębnej budowy geologicznej wraz z innymi informacjami o środowisku dla badanego obszaru w przyszłości pozwolą na stworzenie funkcjonalnego systemu komputerowego do zarządzania informacjami przyrodniczymi w jednostkach administracji rządowej. Z założenia zintegrowany system skonstruowany będzie w oparciu o materiały pochodzące z baz danych Państwowego Instytutu Geologicznego-Państwowego Instytutu Badawczego: CBDG, SMGP, MGGP i MHP, MIDAS i In. Obecnie wykonywana i uzupełniana jest baza danych punktów dokumentacyjnych SMGP, która ma dostarczyć danych cyfrowych wszelkim projektom związanych w modelowaniem wglębnych płytkich struktur geologicznych kraju.

Zakres danych wykorzystanych do projektu powinien pozwolić m.in. na realizację następujących opracowań:

- wygenerowanie wydzieleni stratygraficznych i litologicznych dla modelu;
- wyznaczenie poszczególnych subjednostek modelu;
- cyfrowanie, geokodowanie i przeliczanie na układ 1992/2000 materiałów kartograficznych pochodzących z opracowań i dokumentacji geologicznych i innych;
- wypełnienie informacją parametryczną (wszelkie dostępne analizy) przestrzeni między powierzchniami stropowymi lub spągowymi.

W założeniu dedykowana dla projektu baza danych swoją strukturą będzie musiała być zgodna z korporacyjną bazą danych CBDG. Sprowadza się to do unifikacji słowników stratygraficznych, litologicznych, litostratygraficznych, genezy i innych.

Podczas tworzenia cyfrowych modeli projektu planowane są prace przygotowawcze tj. analizy statystyczne i analizy geostatystyczne dostępnych parametrów badanego obszaru, w celu określenia charakteru zmienności zewnętrznej bryły oraz zróżnicowania budowy wewnętrznej (litologia i parametry surowcowe) oraz ustalenia kierunków anizotropii obszarowej.

Podstawą cyfrowego modelu poszczególnych warstw jest wzorcowy profil litostratygraficzny, zawierający syntezę wiedzy geologicznej zgromadzonej w wyniku prac dokumentacyjnych, interpretacyjnych oraz naukowo-badawczych.

Zebrane dane o profilach zawierać będą charakterystyki litologiczno-geochemiczne (surowcowe) zestawionych w nich utworach geologicznych i cyfrowy kod spełniający rolę wyróżnika (identyfikatora) pozwalającego na jednoznaczną identyfikację wyróżnionych na danym obszarze warstw wg kryteriów systemu wizualizacji przestrzennej.

4. Wstępna analiza rodzajów materiałów wejściowych, zalecenia i sposoby zarządzania danymi

Podjęcie się realizacji opracowania modelu budowy wgłębnej 3D należy przeprowadzić wstępne studium wykonalności poprzez zebranie informacji o dostępności danych, wykonanie ich analizy przydatności pod kątem ilościowym i jakościowym (szczegółowość, merytoryczna poprawność opisu, sposoby reinterpretacji). Ważnym elementem decydującym o podjęciu realizacji opracowania modelu jest także przestrzenne rozmieszczenie obserwacji geologicznych. Czynnikiem ten opisywany w literaturze jako „declustering” warunkuje także wielorozdzielczy charakter 3D modelu wgłębnej budowy geologicznej i stanowi podstawę dla zaplanowania dodatkowych prac na terenach niedostatecznie rozpoznanych pod kątem uszczegółowienia wiedzy o budowie wgłębnej.

Warunkiem opracowania kompleksowego modelu budowy wgłębnej 3D jest interoperacyjność oprogramowania modelującego, jaką zapewnia aplikacja m.in. Paradigm gOcad. Przejawia się ona możliwością integracji danych parametrycznych i nieparametrycznych. Cechą charakterystyczną wyróżniającą dane parametryczne jest możliwość dowolnego ich przetwarzania stosując się do obowiązujących standardów zapisu (UTF-8, ASCII). Z kolei do kategorii danych nieparametrycznych należy zaliczyć wszelkie analogowe (papierowe) opracowania dokumentacyjne oraz kartograficzne.

Sposoby reprezentacji, jak i możliwości zastosowania danych parametrycznych są warunkowane rodzajem zmiennej pomierzonej, która przyjmuje wartości skategoryzowane (discrete) albo ciągłe (continuous). Obecnie szerokie spectrum pomiarów geologicznych może być bezpośrednio zapisane w terenie lub przetworzone do postaci parametrycznej poprzez reinterpretację danych analogowych. Wśród nich należy wymienić dane:

- Strukturalne
- Sedymetologiczno-petrograficzne
- Geofizyczne
- Topograficzne
- Karotazowe
- Kartograficzne

	Parametryczne						Nieparametryczne
	Strukturalne	Sedymentologiczno-petrograficzne	Geofizyczne	Topograficzne	Karotazowe	Kartograficzne	Kartograficzne
Kategoria danych	bieg i upad warstw, uskoków	litologia analizowanych formacji skalnych, wyrażona wybraną zmienną skategoryzowaną	ilościowa i jakościowa interpretacja profilowań sejsmicznych 2D i 3D, elektrooporowych, magnetycznych, grawimetrycznych	bieg i upad warstw, strukturalne i litologiczne linie interpretacyjne	krzywe profilowań otworowych	cyfrowe mapy geologiczne, izolinowe	analogowe przekroje, mapy geologiczne,

Efektem integracji danych wejściowych jest statyczny model budowy geologicznej przedstawiający stan rzeczywisty ośrodka skalnego nie pozostający w związku ze zmianą czasu.

Chcąc zapewnić interoperacyjność, wszelki zapis danych geoprzestrzennych musi odbywać się według standardów ujętych w bibliotece GDAL/OGR. Elastyczną transformację między różnymi formatami zapisu danych rastrowych i wektorowych umożliwia środowisko GRASS GIS.

a) Nowe dane

Z uwagi na wysokie koszty pozyskiwania danych należy zwrócić uwagę na metody badań budowy geologicznej, które charakteryzują się wysoką efektywnością wynikającą z ilości danych jakie ze sobą niosą w stosunku do ceny ich pozyskania, a za razem nie powodują przekształceń środowiska naturalnego. Do takich metod należy zaliczyć badania geofizyczne, takie jak: SGE, GPR, płytka sejsmika.

Dla wzbogacenia informacji geologicznej w zależności od potrzeb należy wykonać powszechnienie wykonywane badania geotechniczne, geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne, a wśród nich m. in. płytke sondowania rdzeniowe. Ta grupa metod jest bardziej inwazyjna, a ich wykonanie wiąże się z koniecznością (1) dostosowania do wymogów m.in. prawa budowlanego i (2) opracowania projektu prac geologicznych.

Efektywne wsparcie dla powierzchniowej i wgłębnej interpretacji geologicznej umożliwia interpretacja zdjęć satelitarnych i map geologicznych sprzężona z analizą wysokorozdzielczego numerycznego modelu terenu. Te stosunkowo nowe źródło wiedzy geologicznej uzupełnia opracowania kartograficzne dodatkowo o pomiary biegu, upadu warstw oraz interpretacje strukturalne na terenach odkrytych (Caumon G. et. al., 2007, 2008).

b) Dane archiwalne

Głównym źródłem danych na potrzeby modelowania geologicznego są opracowania archiwalne. Kompleksowe ich pozyskanie w sposób zintegrowany umożliwiają zasoby zgromadzone w dedykowanych bazach danych, takich jak:

- Centralna Baza Danych Geologicznych
- Centralne Archiwum Geologiczne

- Centralna Baza Danych Hydrogeologicznych
- Baza danych GIS hydrogeologicznych badań regionalnych
- Baza Danych Punktów Dokumentacyjnych SMGP, która aktualnie znajduje się w fazie I etapu pilotażowego.

Dodatkowym elementem uzupełniającym bazę stanowią archiwalne dane pozyskane od prywatnych firm geologicznych na indywidualnie ustalonych zasadach. Warunkiem zdobycia danych geologicznych jest ściśle zdefiniowanie podstaw prawnych, które będą określać prawa własnościowe i udział w przedsięwzięciu, na potrzeby którego czynione są starania ich pozyskania.

Źródło danych niezbędnych do wykonania operacji modelowania stanowią przetworzone do postaci cyfrowej a następnie rektyfikowane analogowe przekroje geologiczne, geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne.

c) Sposoby zarządzania danymi zweryfikowanymi

Kwerenda archiwalnych danych otworowych, geofizycznych składać się będzie z analiz danych zgromadzonych w bazach PIG-PIB, danych analogowych znajdujących się w archiwach urzędów gminnych i powiatowych oraz na ile pozwolą warunki prawne w podmiotach komercyjnych.

Zasadniczym kryterium podczas budowy dedykowanej dla projektu bazy danych musi być konieczność wykorzystania identyfikatorów (ID) CBDG. Ma to istotne znaczenie podczas przekazania danych zweryfikowanych oraz uzupełnionych np. analiz geochemicznych, petrofizycznych niebędących dotychczas posiadaniem CBDG.

Każdorazowo po zakończeniu projektu związanego z modelowaniem płytkich struktur baza danych wykorzystana do projektu powinna zostać przekazana CBDG. Zakres danych zawartych w bazie poddany zostanie podczas budowy modelu przestrzennego wielokrotnej weryfikacji.

5. Kryteria i pilotażowe modele budowy geologicznej 3D

Przy wyznaczeniu lokalizacji pilotażowych obszarów objętych modelowaniem wglębnej budowy geologicznej 3D należy kierować się kryterium wykonywalności warunkowanej rodzajem, ilością dostępnych danych oraz ich przestrzennym rozmieszczeniem. Możliwości wykonawcze cyfrowych modeli także w pełni są uzależnione od stylu i stopnia złożoności budowy geologicznej. W tym celu trzeba określić elementy strukturalne charakterystyczne dla badanego obszaru i zdefiniować możliwości ich wizualizacji dostępnymi narzędziami

modelowania geologicznego. Od doboru lokalizacji modeli pilotażowych zależeć będzie późniejsza strategia wykonywania wielowymiarowej, parametrycznej kartografii geologicznej płytkich struktur w Polsce. Opracowania pilotażowe powinny stworzyć podwaliny dla opracowania metodyki konstrukcji płytkich modeli geologicznych tak by w końcowym etapie model przestrzenny 3D swoim zasięgiem pokrył obszar całej Polski,

Lokalizacja modeli pilotażowych powinna być poprzedzona analizą szeregu zagadnień związanych nie tylko z późniejszym wykorzystaniem modeli, ale także po to, by jak najpełniej uwzględnić zróżnicowanie kraju pod względem budowy geologicznej, dostępności danych i możliwości pozyskania nowych, scalania poszczególnych mniejszych modeli oraz problemów, których rozwiązywanie wspierałyby w przyszłości parametryczne modele budowy geologicznej struktur płytkich.

W pierwszej kolejności powinny powstać opracowania wraz z modelami przestrzennymi 3D dla obszarów narażonych na zagrożenia naturalne.

W świetle katastrofalnych wydarzeń roku 2010 konieczne staje się objęcie badaniami obszarów zalewowych i nadzalewowych oraz zagrożonych podtopieniami. Służby ratunkowe poszukiwały dokładnych informacji pozwalających zaplanowanie plac interwencyjnych tak, aby zminimalizować skutki uboczne i nie przyczynić się do uruchomienia procesów takich jak podsiąkanie, które pogorszą sytuację wałów i ratowanych obszarów. Model budowy geologicznej 3D uzupełniony o dodatkowe parametry hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie dostarczyłby służbom ratunkowych niezbędnych informacji.

Czynnikiem decydującym o konieczności zobrazowania budowy geologicznej obszarów zagrożonych podtopieniami jest uzyskanie dokładnych informacji o budowie geologicznej, która odpowiada np. za możliwość podsiąkania wody pod wałami, kierunki odpływu podziemnego i powierzchniowego. Takie dane w sytuacjach kryzysowych pozwalają podejmować decyzje mające na celu zminimalizowanie skutków zagrożeń.

Priorytetem przy wyznaczaniu pilotażowych obszarów jest także określenie potencjalnych terenów zasobnych w bogactwa naturalne m.in. kopaliny pospolite, uwzględniając lokalne zapotrzebowanie surowcowe. Nie bez znaczenia są też informacje dotyczące wód podziemnych i poziomów wodonośnych, warstw nieprzepuszczalnych, a także parametrów geologiczno-inżynierskich, które to mogą wzbogacić statyczny model geologiczny, by w przyszłości można było przeprowadzić szczegółowe analizy i rozwiązywać konkretne problemy, z jakimi borykają się jednostki samorządu terytorialnego.

Wobec powyższego, koniecznym staje się wykonanie modelu geologicznego 3D w skali nie mniejszej niż 1: 50 000 dla obszaru całej Polski.

6. Opracowanie zasad i metod ciągłej aktualizacji efektów wielowymiarowej, parametrycznej kartografii geologicznej płytkich struktur w Polsce

Opracowywane współcześnie modele budowy geologicznej odzwierciedlają stan wiedzy aktualny w trakcie przygotowywania modelu. Dla jak najlepszego wykorzystania opracowań ważne jest, by w miarę przyływu nowych danych model był aktualizowany. Z uwagi na obowiązującą ustawę Prawo geologiczne i górnicze, do baz danych będących własnością Skarbu Państwa trafiają tylko takie dane, które spełniają ściśle określone kryteria. Zdecydowana większość jest własnością jednostek administracji lokalnej, przedsiębiorstw, osób prywatnych. Ważne jest, by określić na jakich zasadach można byłoby wykorzystywać dane, które nie są własnością Skarbu Państwa i jaki byłby status tych danych i wykonanego modelu po zakończeniu opracowania.

Opracowanie metod aktualizacji wyników wielowymiarowej, parametrycznej kartografii geologicznej struktur płytkich musi być poprzedzone wykonaniem modeli pilotażowych. Metodyka prac związana z opracowaniem modelu budowy geologicznej dla Karpat zdecydowanie różni się od tej dla obszaru Niżu Polskiego bądź Mazur. Inaczej traktowana będzie aktualizacja modelu np. gminy Wołomin a inaczej np. budowa złóż kopalin pospolitych.

7. Opracowanie metod cyfrowego gromadzenia danych (dedykowane bazy), standaryzacji, utrzymania zarządzania opracowanymi wielowymiarowymi, parametrycznymi modelami budowy geologicznej 3D, ich scalania, a także utrzymania dedykowanych baz danych

Pilotażowe modele budowy geologicznej, poza różnorodnością przedstawianych zagadnień, dostarczyłyby informacji dotyczących rodzaju danych wykorzystywanych do modelowania i formatów. Pozwoliłoby to zaprojektować i wdrożyć strukturę bazy danych wspólną dla wszystkich tego typu opracowań. Dzięki pracom pilotażowym możliwe będzie oszacowanie faktycznych kosztów związanych z utrzymaniem i zarządzaniem rozbudowującymi się bazami danych i wielowymiarowymi, parametrycznymi modelami budowy geologicznej 3D. Bardzo ważnym zagadnieniem jest łączenie mniejszych modeli. Tu konieczne będzie przeprowadzenie szeregu testu na podstawie modeli o różnym stopniu złożoności budowy geologicznej. Efektem prac powinno być opracowanie metodyki, w której zostaną opisane nie tyle techniczne wskazówki jak przeprowadzić operacje scalania, ale jak przygotować modele cząstkowe, by ich łączenie nie stwarzało kłopotów.

Przeprowadzenie prac pilotażowych jest kluczowym etapem dla dalszego pozytywnego rozwoju wielowymiarowej parametrycznej kartografii struktur płytkich w Polsce. Od nich będzie

zależało także wytyczenie standardów modelowania budowy geologicznej Polski. Określone powinny być wszystkie etapy modelowania, a szczególnie:

- sposoby przygotowania danych,
- metody interpolacji danych,
- sposoby kodowania parametrów geologicznych
- sposoby prezentacji danych
- zasady scalania danych i modeli
- zarządzanie i utrzymanie baz danych.

8. Określenie zakresu wykorzystania wyników modelowania i sposobu ich udostępniania poprzez przeglądarki

Zapotrzebowanie na trójwymiarowe dane geologiczne (3D) jest bardzo duże ze strony administracji lokalnej (zapobieganie klęską żywiołowym, plany zagospodarowania przestrzennego, zrównoważony rozwój regionów, ocena zasobów złóż kopalin pospolitych), podmiotów gospodarczych zajmujących się poszukiwaniem i eksploatacją surowców mineralnych, dokumentacją zbiorników wód podziemnych, budownictwem, ochroną środowiska, a także instytutów naukowo-badawczych, wyższych uczelni i innych placówek naukowych. Jednym z najważniejszych terenów przewidzianych do modelowania geologicznego są doliny rzeczne. Aby skutecznie zapobiegać powodziom, jak wykazały doświadczenia z 2010 r. niezbędna jest bardzo dobra znajomość budowy geologicznej. Model trójwymiarowy budowy geologicznej wraz z wybranymi parametrami hydrogeologicznymi i geologiczno-inżynierskimi pozwoli podjąć stosowne działania mające na celu zapobieganiu powodziom oraz zminimalizować skutki fali powodziowej.

Najważniejsze z nich to:

1. Zapobieganie i minimalizowanie skutków klęsk żywiołowych naturalnych i antropogenicznych:
 - a) Powodzie, w tym także awarie tam, zbiorników retencyjnych itp.
 - b) Rejestracja osuwisk
 - c) niekontrolowane wycieki do gruntu szkodliwych substancji np. ropopochodnych, kwasów i innych
 - d) obsunięcia, zapadanie gruntów na terenach przemysłowych i poprzemysłowych (np. Górny Śląsk)

2. Konstruowanie planów zagospodarowania przestrzennego dla jednostek administracyjnych
3. Wyznaczanie obszarów perspektywicznych dla poszukiwania i eksploatacji surowców skalnych
4. Wyznaczanie złóż surowców mineralnych i prognozowanie zmian w trakcie eksploatacji
5. Określanie i wyznaczanie struktur geologicznych będącymi potencjalnymi zbiornikami wód podziemnych (rynny, kopalne doliny rzeczne, poziomy międzymorenowe)
6. Wyznaczanie obszarów pod budownictwo w tym elektrownie atomowe, a także pod duże inwestycje geologiczno-inżynierskich np: zapory, osadniki, składowiska, wysypiska itp.
7. Rozpoznanie warunków geologicznych pod budowę dróg i autostrad
8. Rozpoznanie warunków geologicznych na obszarach cennych przyrodniczo (Natura 2000, parki narodowe, krajobrazowe, rezerваты)
9. Uściślenie wglębnej budowy geologicznej na wybranych obszarach dla reambulacji SMGP w skali 1: 50 000

Udostępnianie wyników modelowania budowy geologicznej przez przeglądarki internetowe jest najszybszym sposobem dotarcia do dużej liczby odbiorców. Ze względu na złożoność modeli sugerowane jest dwupoziomowe udostępnianie wyników. Poziom niższy miałby charakter przeglądowy, do niego mógłby mieć dostęp każdy. Poziom wyższy, zaawansowany wymagałby logowania i dawałby większe możliwości w eksplorowaniu modelu np. dostęp do zasobów, parametryzacji itp.

Wybór oprogramowania służącego do prezentacji modelu w sieci Internet zależałby od dostępności rozwiązań oraz ich kosztów. Optymalnym rozwiązaniem byłaby możliwość integracji danych wielowymiarowych i płaskich. Ostatnie lata pokazały, że wielowymiarowa wizualizacja rozwija się bardzo szybko, czemu dodatkowo sprzyja rozwój technologiczny. Jest to efektem dużego zapotrzebowania na dostęp do danych przestrzennych, wielowymiarowych, które są doskonałym sposobem przedstawienia szerokiemu gronu odbiorców zawłości budowy geologicznej i związanych z nią parametrów.

Uwagi końcowe

Wielowymiarowa parametryczna kartografia geologiczna struktur płytkich w Polsce tak jak kartografia podstawowa powinna być koordynowana przez Państwową Służbę Geologiczną. Opracowania wraz z metadanymi powinny być włączane do Zintegrowanego Systemu Przestrzennej Informacji Geologicznej IKAR. Każda aktualizacja winna mieć odzwierciedlenie w odpowiednich zapisach metadanych, dbając w ten sposób o najwyższą jakość opracowań oraz zwiększając ich wykorzystanie.

Opracowanie modeli wgłębnej budowy geologicznej na potrzeby nowoczesnej kartografii geologicznej jest zadaniem statutowym służb geologicznych wielu krajów zachodniej Europy (patrz. cz. I, pkt. 2). Dlatego zaleca się, by wielowymiarowa, parametryczna kartografia geologiczna struktur płytkich w Polsce była jednym z zadań Państwowej Służby Geologicznej. Należy podkreślić, że Sekcja Modelowania Geologicznego przy Zakładzie Kartografii Struktur Płytkich PIG-PIB jest jednym z nielicznych ośrodków badawczych w Polsce, który zajmuje się opracowaniem modeli budowy wgłębnej 3D stosując oprogramowanie komercyjne m.in. Paradigm gOcad, Gemcom Surpac, RockWorks, GSI3D oraz typu „open source” np. GRASS GIS.

Wertykalny zakres modelowania struktur geologicznych nie może być warunkowany arbitralnie ustaloną rzędną głębokości poniżej powierzchni terenu, lecz ilością dostępnych danych oraz regionalnymi uwarunkowaniami wynikającymi ze złożoności budowy geologicznej.

Wielowymiarowe parametryczne modele budowy geologicznej powinny być tworzone przede wszystkim dla obszarów ważnych w skali całego kraju. Dotyczy to w szczególności obszarów narażonych na zagrożenia naturalne (m.in. osuwiska, powodzie), objętych strategicznymi dla państwa inwestycjami (np. potencjalne lokalizacje elektrowni jądrowych, składowisk odpadów, utylizacji, zbiorniki dużej retencji). Ze względu na wagę wymienionych problemów modele sugerowanych obszarów powinny być finansowane z budżetu. Opracowania będą wykorzystywane na wszystkich szczeblach administracji z uwzględnieniem także szczebla centralnego.

Koszt modeli 3D zależeć będzie m.in. od zasięgu przestrzennego, dostępności i jakości danych, konieczności pozyskania nowych danych, ilości i rodzaju parametrów uzupełniających model.

Niezbędne jest wypracowanie odpowiedniej ścieżki postępowania podpartej przepisami prawa w celu zapewnienia dostępu do danych będących własnością instytucji komercyjnych w sytuacjach, gdy opracowany model służy celom administracji państwowej i jednostkom lokalnym, zwłaszcza gdy dotyczy to regionów narażonych na wystąpienie zagrożeń naturalnych, zagrożających lokalnym społecznościom. Choć zagrożenia naturalne i wywołane działalnością

człowieka w skali kraju mają stosunkowo mały zasięg przestrzenny, jednakże konsekwencje ich wystąpienia pośrednio dotyczą całe społeczeństwo w wyniku konieczności angażowania środków budżetowych na naprawę skutków katastrof. W interesie państwa jest zatem to, by wspierać gminy, na terenie których może dojść do wystąpienia różnego rodzaju zagrożeń.

Bibliografia

1. G. Caumon, C. Antoine, A.-L. Tertois. *Building 3D geological surfaces from field data using implicit surfaces*. 2007, in 27th Gocad Meeting, Nancy. 6p.
2. G. Caumon, Ch. Antoine, Ch. le Carlier. de Veslud, M. O. Titeux, G. Gray, J. Pellerin, C. Castagnac, N. Cherpeau, C. Cavelius, F. Lallier, L. Wagner. *Implicit 3D Model building from remote sensing and sparse field data Application to La Popa Basin, Mexico*. 2008, in 28th Gocad Meeting, Nancy. 7p.