

Zastosowanie danych teledetekcyjnych oraz systemów informacji geograficznej (GIS) w geofizyce poszukiwawczej

*Application of remote sensing data and geographical
information systems (GIS) in exploration geophysics*

Jan BURDZIEJ

The world's energy demand is continually growing and is predicted to increase by 50% until 2030. Still, nearly 60% of energy is produced from oil and gas. These factors result in an increasing demand for oil and gas exploration works. Finding new reserves is a domain of exploration geophysics, which commonly uses seismic methods. Seismic operations consist of several stages, including planning, field scouting, designing seismic survey and project realization. During all these phases of seismic project, the influence of the terrain (i.e. elevation and relief, land use and land cover) is significant. Both remote sensing and geographic information systems (GIS) can provide important support in assessing this influence in a variety of ways. Land use has great impact on terrain accessibility. In some cases forests, water bodies or military areas enforce redesigning of the seismic survey or may even result in skipping certain inaccessible areas. Similarly, the terrain relief has impact on seismic survey methodology (e.g. choosing a type of seismic wave source) and determines number and type of

equipment and vehicles needed for a certain project. Terrain, modelled in the form of digital terrain models, can help in a better design of seismic lines. This may result in a significant optimization in terms of vehicle travels and fuel consumption. In the same way, it can reduce time needed for field work and costs of the whole enterprise.

All these tasks can be accomplished with the help of GIS supported by satellite imagery, digital terrain models and other spatial datasets. However, there is a great need for further research on proper methodology of spatial analyses focused on seismic industry. Moreover, this methodology needs to be implemented in the form of ready-to-use tools.

This paper evaluates different possibilities of implementing GIS and remote sensing data in the seismic industry. Examples are presented of how spatial information combined with spatial analysis can lead to optimization and cost reduction. It also focuses on some major constraints, which hinders the use of GIS in seismic operations.

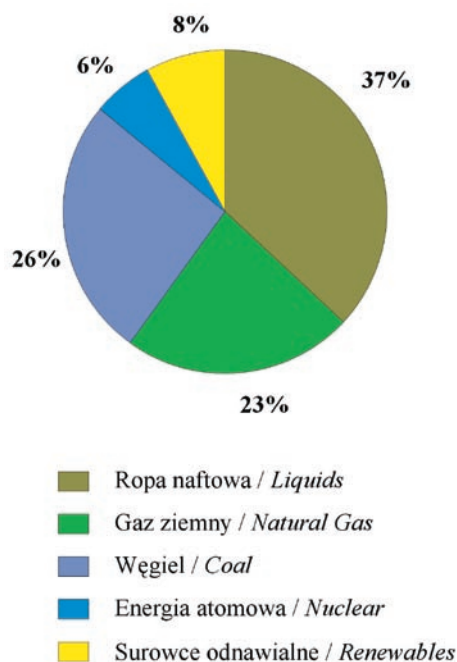
Wstęp

Świat z roku na rok zużywa coraz więcej energii. Jest to spowodowane wieloma czynnikami, m.in. rozwojem cywilizacyjnym i gospodarczym, wzrostem liczby ludności, zwiększoną konsumpcją dóbr. Według amerykańskiej agencji Energy Information Administration w roku 2005 światowe zużycie energii wyniosło około 462 kwadrylionów BTU (British Thermal Unit). Według jednej z prognoz do roku 2030 zużycie to może wzrosnąć do 695 BTU, a więc o około 50% (EIA, 2008).

Wzrost zużycia energii pociąga za sobą konieczność poszukiwania nowych źródeł surowców energetycznych. Pomimo tego, iż surowce odnawialne, takie jak energia wiatru czy energia słoneczna, są coraz powszechniej

wykorzystywane i coraz skuteczniej zastępują tradycyjne paliwa, wciąż blisko 60% procent światowej energii pochodzi z ropy naftowej i gazu ziemnego (ryc. 1). W chwili obecnej ropa naftowa dostarcza około 37% energii na świecie, węgiel 26%, gaz ziemny 23%, energia atomowa stanowi około 6%, a surowce odnawialne niecałe 8% (EIA, 2008).

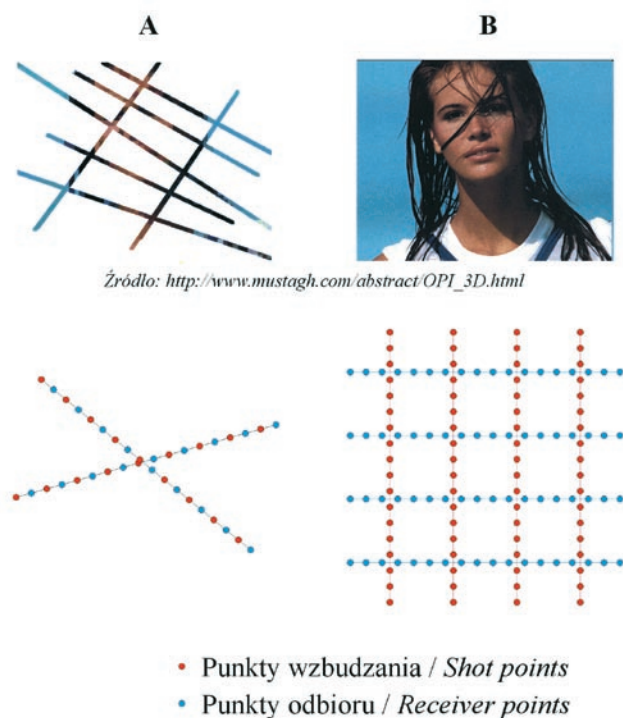
Ogromne i nadal rosnące zapotrzebowanie na surowce energetyczne powoduje intensyfikację prac poszukiwawczych. Badaniami eksploracyjnymi zajmuje się geofizyka poszukiwawcza, która do poszukiwań ropy naftowej i gazu ziemnego wykorzystuje przede wszystkim metody sejsmiczne. Polegają one na wzbudzaniu fal sejsmicznych (m.in. za pomocą materiałów wybuchowych lub specjalnych urządzeń wibrujących), a następ-



Ryc. 1. Struktura zużycia energii na świecie.

Fig. 1. World energy use by fuel type.

nie rejestrowaniu ich odbicia za pomocą tzw. geofonów. Uzyskane informacje, a w szczególności dane o prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych we wnętrzu Ziemi, pozwalają na określenie podziemnych struktur i w rezultacie na lokalizację złóż takich surowców jak ropa naftowa czy gaz ziemny.



Ryc. 2. Porównanie metod sejsmicznych 2D (A) i 3D (B).

Fig. 2. Comparison of 2D (A) and 3D (B) seismic survey methods.

W geofizyce poszukiwawczej stosuje się przede wszystkim dwie metody: metodę 2D i metodę 3D (ryc. 2). Pierwsza zakłada, że punkty wzbudzenia i odbioru położone są wzdłuż jednej linii. Z tego względu w wyniku prac 2D pozyskuje się dane wyłącznie na profilach sejsmicznych. Natomiast metoda 3D polega na zaprojektowaniu gęstej, regularnej siatki punktów wzbudzenia i odbioru położonych na oddzielnych liniach. Linie wzbudzenia przebiegają prostopadłe do linii odbioru lub pod określonym kątem. Metoda ta umożliwia pozyskanie danych dla całego badanego obszaru.

Badania sejsmiczne składają się z szeregu etapów, takich jak: planowanie, zwiad terenowy, projektowanie i realizacja. Na każdym z tych etapów coraz częściej wykorzystywane są systemy informacji geograficznej (GIS). Umożliwiają one integrację różnego rodzaju danych przestrzennych, których analiza może przyczynić się do zwiększenia efektywności podejmowanych działań i wspierania decyzji na poszczególnych etapach prac sejsmicznych. Dzięki zastosowaniu systemów typu GIS możliwe jest także efektywne wykorzystanie danych teledetekcyjnych, takich jak zobrażenia satelitarne czy numeryczne modele terenu.

Niniejsza praca ma na celu przybliżenie zagadnienia wykorzystania w badaniach sejsmicznych danych teledetekcyjnych, takich jak zobrażenia satelitarne i numeryczne modele terenu. Celem jest również wykazanie przydatności danych teledetekcyjnych i systemów informacji geograficznej w badaniach geofizycznych.

Aspekt przestrzenny w badaniach geofizycznych

Pojęcia przestrzeni i lokalizacji są w badaniach geofizycznych kluczowe. Badania te prowadzone są na określonym obszarze, opierają się na dokładnie wyznaczonych punktach wzbudzenia i odbioru, a ich celem jest przestrzenne opisanie wybranego fragmentu wnętrza Ziemi. Przyjmuje się, że ponad 80% danych w branży paliwowo-energetycznej ma charakter przestrzenny, a więc może zostać przedstawiona w postaci obiektów na mapach (Smith, Jepps 2003). Jednocześnie niemal wszystkie pozostałe informacje mogą zostać w sposób pośredni powiązane z tymi obiektami.

W branży geofizycznej istnieje cały szereg zaawansowanych programów komputerowych, które pozwalają geofizykom przetwarzać i analizować dane przestrzenne. Dlatego też GIS w sejsmice nie przynosi przełomu w przetwarzaniu danych ściśle geofizycznych czy ich interpretacji. Pozwala jednak uwzględnić i przeanalizować informacje przestrzenne pochodzące z różnych innych źródeł, które do tej pory nie były powszechnie wykorzystywane. Dotyczy to przede wszystkim danych teledetekcyjnych, takich jak zdjęcia satelitarne. GIS umożliwia ponadto zarządzanie projektami i ich monitorowanie nie tylko na etapie akwizycji danych sejsmicznych, ale również na etapie planowania prac lub wręcz po ich zakończeniu. To właśnie uniwersalność systemów GIS może być głównym atutem i argumentem

przemawiającym za szerokim ich wykorzystaniem w pracach poszukiwawczych.

Ocena możliwości wykorzystania danych teledetekcyjnych

Zobrazowania satelitarne znajdują zastosowanie już na etapie wstępnej analizy konkretnego projektu. Obszary prac sejsmicznych to bardzo często rejony trudno dostępne, takie jak pustynie, dżungle czy nawet morza i oceany. Taka lokalizacja prac sejsmicznych powoduje, że koordynatorzy poszczególnych projektów mają do dyspozycji bardzo ograniczone zasoby mapowe. Zobrazowania satelitarne pozwalają przyjrzeć się z bliska obszarom planowanych prac jeszcze przed zwiadem terenowym. W połączeniu z danymi ogólnogeograficznymi, takimi jak przebieg dróg i cieków wodnych czy lokalizacja obszarów zurbanizowanych, pozwalają zorientować się w sytuacji terenowej, określić obszary najbardziej newralgiczne, które wymagają szczegółowej analizy i oceny.

Zdjęcia satelitarne pozwalają ponadto określić charakter pokrycia terenu, a także pośrednio poznać ukształtowanie danego obszaru. Zdjęcia w wysokiej rozdzielczości umożliwiają również lokalizację obiektów naturalnych i antropogenicznych, istotnych z punktu widzenia prac sejsmicznych. Dla przykładu: drogi ważne są ze względu na dojazd pracowników i transport sprzętu z baz do poszczególnych części projektu. Kluczowa jest również lokalizacja wszelkiego rodzaju przeszkód terenowych (takich jak wody, zabudowania, obiekty militarne), które mogą wymusić zmianę przebiegu profili sejsmicznych.

W przypadku projektów realizowanych w strefach przybrzeżnych (tzw. *transition zone*) czy innych obszarach zalewowych istotna jest data, a nawet godzina wykonania zdjęcia. Zobrazowania wykonane w porze suchej i deszczowej lub w godzinach przypływu i odpływu mogą różnić się zasadniczo. Ważne jest zatem, aby analizować zdjęcia wykonane we właściwym czasie z punktu widzenia realizacji harmonogramu projektu.

Jak już wspomniano, pokrycie terenu w istotny sposób wpływa na wiele aspektów organizacyjnych związanych z pracami sejsmicznymi. Dużo trudniejszym terenem jest gęsta dżungla lub podmokłe rozlewiska rzek niż na przykład piaszczysta pustynia. Podobnie większe utrudnienia mogą wystąpić w obszarach leśnych niż na przykład na terenach rolniczych. A zatem pokrycie terenu wpływa na tempo prowadzenia prac, warunkuje, jaki sprzęt niezbędny będzie do ich wykonania, a tym samym istotnie wpływa na realne koszty projektu.

Zaletą danych satelitarnych jest to, że pozwalają one ocenić w sposób obiektywny cały obszar projektu. W przypadku projektów realizowanych metodą 3D jest to powierzchnia przekraczająca kilkaset, a nawet kilka tysięcy kilometrów kwadratowych. Osoby uczestniczące w przygotowaniu projektu i w zwiadzie terenowym nie są w stanie zapoznać się z tak dużym obszarem podczas kilkudniowej wizji lokalnej.

Dlatego też wydaje się, że istotną rolę w wykorzystaniu zobrazowań satelitarnych może odegrać ich automatyczna klasyfikacja i wykonanie na jej podstawie map pokrycia terenu. Wstępna, nienadzorowana klasyfikacja umożliwiałaby jeszcze przed zwiadem terenowym wytypowanie obszarów (pól) testowych. Pola te mogłyby zostać zidentyfikowane podczas skautingu, a następnie wykorzystane do klasyfikacji nadzorowanej. W ten sposób stosunkowo niewielkim nakładem kosztów i pracy możliwe byłoby stworzenie mapy pokrycia terenu.

Wykorzystanie zobrazowań satelitarnych w pracach sejsmicznych ma jednak również pewne ograniczenia. Charakter przestrzenny tych prac powoduje, że często realizowane są one na dużych obszarach. Jednocześnie lokalizacja punktów wzbudzenia i odbioru jest bardzo dokładna, a wpływ na umiejscowienie punktów mają nawet niewielkie obiekty, takie jak pojedyncze budynki czy studnie. W rezultacie zdjęcia satelitarne powinny obejmować cały obszar prac sejsmicznych i to w możliwie dużej rozdzielczości. To pociąga za sobą duże koszty. W przypadku projektu 3D o powierzchni 300 km² koszt zakupu zdjęć satelitarnych o rozdzielczości około 1 m wynosi w przybliżeniu 6 tys. dolarów. Jeszcze większy problem jest w przypadku projektów 2D. Projekty takie składają się z kilku lub kilkadziesiątu profili sejsmicznych, które mogą w sumie pokrywać blok o powierzchni kilku, a nawet kilkunastu tysięcy kilometrów kwadratowych. Dokładność lokalizacji punktów wzbudzenia i odbioru pozostaje nadal bardzo duża, a zatem i zdjęcia satelitarne powinny charakteryzować się dużą rozdzielczością. Rozwiązaniem może być wówczas zakup zdjęć tylko dla pasów określonych np. przez bufor wokół poszczególnych profili, aby w ten sposób zmniejszyć obszar zamawianych zdjęć. Niestety, w praktyce zdarza się, że przebieg profili jest korygowany w trakcie projektu. Tym samym trudno przewidzieć wcześniej, jaki dokładnie obszar powinien zostać zobrazowany na zdjęciach satelitarnych. Ponadto, w przypadku obiecujących wyników uzyskanych metodą 2D na tym samym obszarze zlecane są często badania 3D, które wymagałyby zakupu kolejnych zdjęć dla obszarów nie pokrytych wcześniej bezpośrednio liniami 2D.

Poza aspektem finansowym istotna jest również jakość danych teledetekcyjnych, zwłaszcza rozdzielczość i aktualność zdjęć. Jak już wspomniano, problem rozdzielczości wiąże się z przestrzennym charakterem prac sejsmicznych. Z jednej strony prace te prowadzone są na rozległych obszarach, a z drugiej wymagają dużej precyzji określenia lokalizacji wielu tysięcy punktów. Optymalna rozdzielczość zdjęć satelitarnych uzależniona jest przede wszystkim od ich przeznaczenia. Zdjęcia te można wykorzystać do analizy pokrycia terenu, przygotowania map z podkładem satelitarnym oraz ogólnej oceny w sytuacji terenowej. W takim przypadku rozdzielczość rzędu kilku lub nawet kilkunastu metrów powinna być wystarczająca. Wówczas niedokładność określenia granic poszczególnych obiektów terenowych nie będzie miała większego znaczenia, a ogólne wyliczenia w skali całego projektu powinny mieścić się w gra-

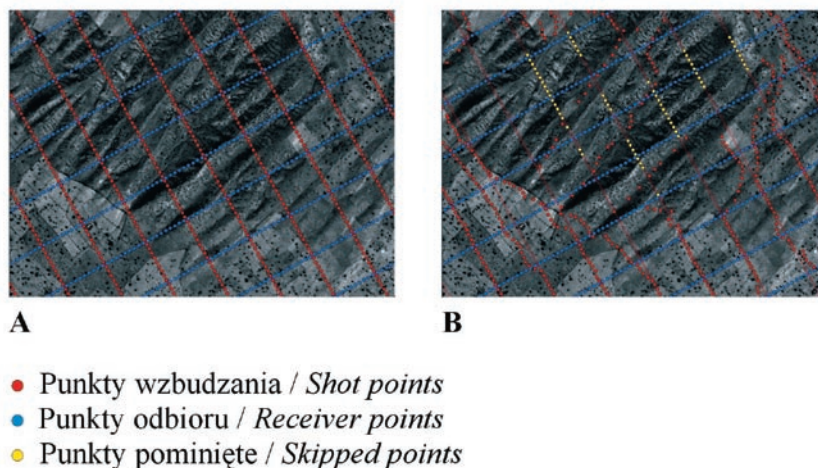
nicach dopuszczalnych błędów. Jeśli jednak zdjęcia satelitarne mają zostać wykorzystane do projektowania odstawień i przebiegu profili sejsmicznych, lokalizacji zabudowań, studni, kanałów, dróg itp., wówczas wskazana jest rozdzielczość większa, a wręcz – możliwie największa.

Ponadto ważne są pewne aspekty organizacyjne związane z pozyskiwaniem danych satelitarnych w kontekście projektów sejsmicznych. Firmy geofizyczne przystępując do przetargów mają niewiele czasu na przygotowanie ofert. Zakup zdjęć satelitarnych to procedura długotrwała, zwłaszcza w sytuacji, w której zdjęcia nie znajdują się w archiwalnych bazach danych i muszą dopiero zostać pozyskane. Wymaga to wpisania zamówienia do kolejki zadań danego satelity, określenia okna czasowego dla pozyskania zobrażeń i parametrów zdjęć. Czas realizacji zamówienia może się ponadto wydłużyć z uwagi na niekorzystne warunki atmosferyczne (np. zachmurzenie), które mogą uniemożliwić wykonanie zdjęć. Ponadto zakup zdjęcia na kontrakt, który nie został jeszcze wygrany, jest sporym ryzykiem finansowym. Rozwiązaniem jest zakup tańszych zdjęć z archiwów lub oparcie wstępnych analiz na danych udostępnianych nieodpłatnie. Wówczas jednak powstaje problem aktualności tych zobrażeń, ich rozdzielczości i faktycznej przydatności.

Istotny przełom w wykorzystaniu zobrażeń satelitarnych dokonał się w ostatnim czasie za sprawą przeglądarki Google Earth. Aplikacja ta umożliwia bezpłatny lub, w przypadku zastosowań komercyjnych, tani dostęp do potężnych zasobów wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych. Popularność programu Google Earth sprawiła, że większość producentów oprogramowania GIS udostępniła w swoich aplikacjach funkcje eksportu danych wektorowych do formatu KML, co umożliwia wizualizację tych danych na podkładzie zdjęć satelitarnych. Jednakże łatwość dostępu do tak bogatego zasobu danych powoduje też pewne niezrozumienie technicznych aspektów pozyskiwania danych satelitarnych. Użytkownicy dziwią się, że zakup jednej sceny satelitarnej może kosztować tysiące dolarów, skoro są one dostępne bezpłatnie w przeglądarce. Z niezrozumieniem może również spotkać się konieczność oczekiwania przez wiele tygodni na wykonanie zamówionego zobrażenia, na przykład z powodu zachmurzenia. Łatwość dostępu do danych satelitarnych zwiększa również potrzeby i wymagania użytkowników w tym zakresie. Zdjęcia w rozdzielczości gorszej niż kilka metrów uważane są za dane złej jakości lub wręcz nieprzydatne. W skrajnych przypadkach pojawiają się pytania, dlaczego obraz prezentowany w Google Earth jest statyczny i kiedy będzie on aktualizowany w czasie rzeczywistym (Google Sightseeing 2007).

Ocena możliwości wykorzystania numerycznych modeli terenu

Dzięki numerycznym modelom terenu możliwa jest dokładna charakterystyka ukształtowania terenu na danym obszarze. Jak już wspomniano, jest to bardzo istotne z punktu widzenia planowanych prac sejsmicznych. Ukształtowanie terenu, podobnie jak charakter jego pokrycia, wpływa na wybór źródła wzbudzania fal sejsmicznych. Determinuje również dostępność poszczególnych rejonów dla różnego rodzaju pojazdów i maszyn, a także ludzi. W skrajnych wypadkach (np. ostre klify, strome urwiska) konieczne może okazać się użycie śmigłowców do transportu ludzi i sprzętu. Z kolei obecność dużej ilości piaszczystych wydym wymaga zastosowania buldożerów, które przygotowują drogę dlaibratorów i innych pojazdów terenowych (ryc. 3, 4). Ilość wydym, jak również ich wysokość i ukierunkowanie (zwłaszcza przebieg względem profili sejsmicznych) istotnie wpływają na ilość potrzebnego sprzętu, a także na czas pracy i związane z tym koszty. Dzięki zastosowaniu NMT możliwa jest analiza ukształtowania tere-



Ryc. 3. Wpływ ukształtowania terenu na przebieg linii sejsmicznych. A) przebieg teoretyczny, B) przebieg rzeczywisty (zmodyfikowany).

Fig. 3. Influence of terrain relief on seismic lines design. A) theoretic (pre-plot) design, B) real (modified) design.



Ryc. 4. Buldożery przygotowujące podjazd pod wydmy.
Fig. 4. Bulldozers cutting route lines across sand dunes.

nu dla każdej linii sejsmicznej i dowolnego punktu na obszarze projektu. Możliwe jest również obliczenie spadków terenu i deniwelacji.

Wykorzystanie NMT we wstępnej fazie przygotowań może również przyczynić się do lepszego zaplanowania zwiadu terenowego. Obliczenie mapy spadków pozwala szybko zorientować się, gdzie zlokalizowane są obszary o najbardziej złożonej rzeźbie, a zatem obszary potencjalnych utrudnień w pracach. Obszary te powinny więc znaleźć się na trasie zwiadu terenowego celem ich oceny i weryfikacji w rzeczywistości. Ukształtowanie terenu wpływa nie tylko na trudności w poruszaniu się, ale również na spalanie paliwa. W przypadku średniej wielkości projektu 3D codziennie w grupie sejsmicznej pracuje od kilkudziesięciu do kilkuset pojazdów. Uwzględnienie trzeciego wymiaru w analizie długości i liczby dojazdów pozwoliłoby dokładniej zaplanować i oszacować zużycie paliwa, które stanowi istotną część kosztów grupy sejsmicznej. Znajomość ukształtowania terenu może również zostać wykorzystana do optymalizacji i zaplanowania rozmieszczenia stacji bazowych, które przesyłają drogą radiową poprawki do odbiorników GPS, a także umożliwiają łączność radiową na obszarze projektu.

Pozyskanie numerycznych modeli terenu (NMT) wiąże się z podobnymi problemami jak pozyskanie zobrazowań satelitarnych. Modele te, żeby spełnić swoją rolę w planowaniu, wymagają stosunkowo dużej rozdzielczości terenowej i dużej dokładności wysokościowej. Jednocześnie powinny obejmować cały, często bardzo duży obszar badań. Takie dane są trudno dostępne, zajmują dużo miejsca na dyskach i wymagają komputerów o dużej mocy obliczeniowej. Koszty związane z pozyskaniem NMT są w takim wypadku również bardzo wysokie. Gdy dla danego obszaru dostępne są dokładne mapy topograficzne, model terenu można wygenerować na podstawie poziomu. Jest to jednak czynność pracochłonna i czasochłonna.

Alternatywą może być wykorzystanie powszechnie dostępnego modelu SRTM (ang. *Shuttle Radar Topography Mission*). Jest to model o rozdzielczości około 90 m, który pokrywa swoim zasięgiem cały obszar lądowy położony pomiędzy 60° N a 57° S (Rabus *et al.*, 2003), co stanowi około 80% powierzchni lądowej świata. Ze względu na ograniczoną rozdzielczość nie odwzorowuje on jednak niewielkich powierzchniowo form terenu, które mogą mieć istotny wpływ z punktu widzenia prac sejsmicznych. Istnieje zatem potrzeba przeprowadzenia badań, które pozwolą określić przydatność tego modelu podczas realizacji projektów geofizycznych na poszczególnych etapach.

Warto zwrócić uwagę, że numeryczny model terenu może również zostać stworzony na podstawie punktów pomiarowych uzyskanych w wyniku realizacji projektu. Projekt 3D to kilkadziesiąt lub nawet kilkaset tysięcy regularnie rozmieszczonych punktów pomiarowych. Pomiarów dokonuje się najczęściej za pomocą odbiorników GPS RTK, a zatem są to punkty o bardzo dokładnie określonych współrzędnych, uwzględniających również wysokość nad poziomem morza.

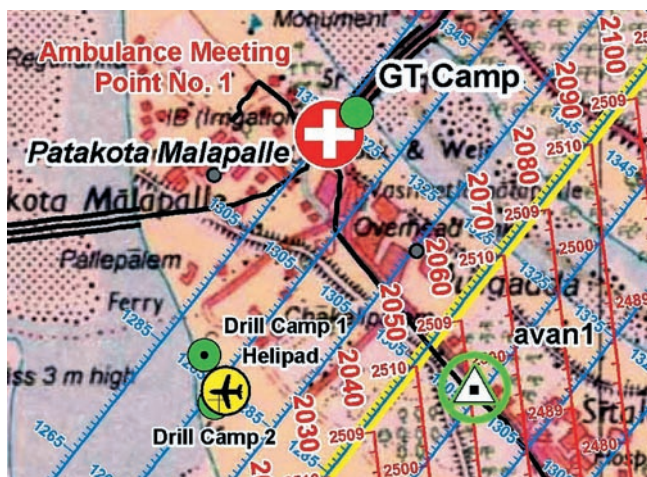
Wykorzystanie GIS do integracji danych

Jak już wspomniano, na rynku usług geofizycznych istnieje wiele programów komputerowych, które służą do analizowania danych o charakterze przestrzennym. Posiadają one również pewne funkcje typowe dla programów GIS (m.in. praca w układzie współrzędnych, tworzenie prostych map). Są to jednak aplikacje ukierunkowane głównie na pracę z danymi sejsmicznymi.

Systemy GIS mają charakter dużo bardziej uniwersalny. Pozwalają na pracę z wszelkiego rodzaju danymi, które odniesione są do przestrzeni. Posiadają również pewien zestaw uniwersalnych narzędzi do prowadzenia analiz przestrzennych, takich jak np. analizy odległości, buforowanie, analizy relacji przestrzennych czy obliczanie powierzchni i długości. Dzięki temu możliwa jest integracja danych sejsmicznych (np. o lokalizacji i parametrach punktów strzałowych) z danymi ogólnogeograficznymi, takimi jak przebieg dróg i cieków wodnych, granice obszarów zabudowanych itp. Dla przykładu: podczas każdego projektu ustalane są tzw. bezpieczne odległości, czyli dystans, jaki musi dzielić punkt strzałowy od określonych typów obiektów. Przy użyciu podstawowych funkcji systemów GIS możliwe jest sprawdzenie, czy wszystkie punkty strzałowe spełniają założone kryteria bezpiecznych odległości od zabudowań lub innych obiektów.

Systemy GIS umożliwiają również efektywne wykorzystanie i przetwarzanie zobrazowań satelitarnych oraz numerycznych modeli terenu. Większość systemów typu GIS pozwala także na współpracę z odbiornikami GPS, m.in. poprzez bezpośredni import i eksport danych. Bardzo ważną funkcją systemów GIS jest także możliwość tworzenia profesjonalnych opracowań kartograficznych. Wiele programów GIS-owych oferuje zaawansowane funkcje wizualizacji danych, m.in. wizualizacje trójwymiarowe, automatyczne etykietowanie obiektów, dodawanie takich elementów mapy jak podziałka liniowa, automatycznie tworzona legenda czy siatka współrzędnych. Umożliwiają one również zastosowanie szerokiego wachlarza kartograficznych metod prezentacji zjawisk (np. kartogramy, kartodiagramy). Często to właśnie zaawansowane funkcje tworzenia atrakcyjnych wizualnie opracowań kartograficznych decydują o wprowadzaniu systemów GIS w firmach geofizycznych i innych (ryc. 5). Niestety, zdarza się, że wykorzystanie systemów GIS ogranicza się tylko do tworzenia map.

Zaletą systemów GIS jest również łatwość dostosowania do konkretnych potrzeb użytkowników. Na rynku istnieje cały szereg zaawansowanych aplikacji typu *desktop*. Są to gotowe rozwiązania, które dają użytkownikom pewien zakres uniwersalnych narzędzi. Jednak w chwili obecnej coraz częściej rozwiązania typu GIS tworzone są na zamówienie klientów. Są to m.in. rozwiązania sieciowe (tzw. webGIS), rozwiązania mobilne (przystosowane do urządzeń przenośnych, które służą do zbierania i aktualizacji danych w terenie) czy wreszcie aplikacje typu *desktop*, których funkcjonalność i wygląd dostosowane są do konkretnych zastosowań.



Ryc. 5. Fragment mapy projektu 3D.

Fig. 5. Sample map of 3D project.

Podsumowanie i wnioski

Badania geofizyczne w głównej mierze opierają się na informacji przestrzennej. Dlatego też zastosowanie systemów GIS w tej dziedzinie jest coraz powszechniejsze. Pozwalają one na integrację różnego rodzaju danych przestrzennych i ich wszechstronną analizę.

Rynek usług geofizycznych, zwłaszcza ten zorientowany na poszukiwania złóż ropy naftowej i gazu, cechuje się dużą kapitałochłonnością. Dotyczy to przede wszystkim prac terenowych. Nawet średniej wielkości projekt akwizycji danych sejsmicznych kosztuje setki tysięcy, a niekiedy i miliony dolarów. Jednocześnie wpływ uwarunkowań środowiskowych, takich jak pokrycie terenu czy jego ukształtowanie, na tempo i koszt prac jest bardzo duży. Z tego względu kluczem do suk-

cesu jest dobre planowanie. Każda dodatkowa informacja, która pozwala przyspieszyć i zoptymalizować prace lub też uniknąć sytuacji je opóźniających, przekłada się na bardzo konkretne oszczędności.

Podsumowując można stwierdzić, iż systemy informacji geograficznej zasilane danymi teledetekcyjnymi mogą w istotny sposób przyczynić się do zwiększenia efektywności prowadzenia prac sejsmicznych. Tym samym mogą przyczynić się do zmniejszenia wpływu na środowisko (np. poprzez optymalizację dojazdów i redukcję zużycia paliwa w trakcie prac). Istnieje przy tym duże zapotrzebowanie na rozwój metod i narzędzi służących do analizy danych przestrzennych pod kątem wykorzystania ich na różnych etapach prac geofizycznych. Badania te powinny skupić się również na określeniu przydatności danych teledetekcyjnych o różnych parametrach (np. numerycznych modeli terenu o różnej rozdzielczości i zobrazowaniach satelitarnych o różnych zakresach spektralnych) do konkretnych zastosowań.

Literatura

- EIA, 2008, International Energy Outlook 2008, *Energy Information Administration, DOE/EIA-0484(2008)*, Pobrano 14.09.2008, z www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html.
- Google Sightseeing, 2007, Live Satellite Images in Google Earth!, Pobrano 14.09.2008, z <http://googlesightseeing.com/2007/04/01/live-satellite-images-in-google-earth>.
- Smith G., Jepps C., 2003, The Role of GIS in E&P Information Management, Pobrano 14.09.2008, z <http://www.exprodat.com/papers/default.asp?pid=10>.
- Rabus B., Eineder M., Roth A., Bamler R., 2003, The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 57 (2003), s. 241–262.



Autor jest asystentem w Zakładzie Kartografii, Teledetekcji i Systemów Informacji Geograficznej w Instytucie Geografii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Od 2006 roku pracuje również na stanowisku specjalisty ds. GIS w firmie Geofizyka Toruń Sp. z o.o., świadczącej usługi geofizyczne na całym świecie. Brał udział w kontraktach zagranicznych w Indiach, gdzie zajmował się wdrażaniem systemu GIS podczas projektów sejsmicznych. Geofizyka Toruń Sp. z o.o., ul. Chrobrego 50, 87-100 Toruń, jan.burdziej@geofizyka.pl; Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Instytut Geografii, Zakład Kartografii, Teledetekcji i Systemów Informacji Geograficznej, ul. Gagarina 9, 87-100 Toruń, jan.burdziej@umk.pl.