

Edward Popiołek*, Ryszard Hejmanowski*, Artur Krawczyk*

ZASTOSOWANIE GEOINFORMATYKI
W DZIEDZINIE OCHRONY TERENÓW GÓRNICZYCH**

1. Wstęp

Problematyka ujawniania przekształceń terenu w wyniku eksploatacji górniczej jest przedmiotem wielu badań naukowych. Konieczność wysokiej specjalizacji oraz szerokie zaangażowanie wielu różnego typu ośrodków naukowych doprowadziło do powstania dziedziny badań noszącej znamiona samodzielnej dyscypliny naukowej – ochrony terenów górniczych. W jej ramach prowadzona jest rozległa współpraca specjalistów z bardzo różnych obszarów nauki. Należy tu wymienić górnictwo, budownictwo, geodezję, ochronę środowiska i hydrogeologię. Efektem współpracy było ustalenie związków przyczynowo-skutkowych zjawisk zachodzących podczas procesu ujawniania się wpływów eksploatacji. Dorobek naukowy poszczególnych dziedzin nauki związany z ochroną terenów górniczych jest obszerny i wielowątkowy. Powstało wiele opracowań, w których prezentowane są m.in. teorie wpływów eksploatacji, kompleksowe klasyfikacje oddziaływania na środowisko eksploatacji górniczej oraz oprogramowanie komputerowe do rozwiązywania wybranych zagadnień związanych z ochroną terenów górniczych. W celu rozwiązywania niektórych zagadnień dotyczących wpływów eksploatacji opracowano w ubiegłych latach wiele rodzajów programów wykonujących częściowe zadania, takie jak np. prognozowanie przemieszczeń i deformacji górotworu czy też ewidencję obiektów budowlanych.

W miarę upływu lat coraz wyraźniej rysuje się wspólny czynnik spajający różne dziedziny w jeden obszar badań – tym czynnikiem jest informacja przestrzenna (geoinformacja) przetwarzana m.in. za pomocą oprogramowania geoinformacyjnego. Z tego powodu w Ka-

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

** Artykuł finansowany z badań statutowych Katedry OTGiG nr 11.11.150.650

tedrze Ochrony Terenów Górniczych i Geoinformatyki (KOTGiG) podjęto wiele prac badawczych mających na celu opracowanie metod wdrożenia technik geoinformacyjnych w dziedzinie ochrony terenów górniczych.

2. Pierwsze zastosowania technik informatycznych w dziedzinie ochrony terenów górniczych

Opracowane w przeszłości aplikacje koncentrowały się zazwyczaj na rozwiązywaniu pojedynczych zagadnień. Informatyka była wykorzystywana fragmentarycznie, bezpośrednio do wspomagania realizacji konkretnych zadań. Zarówno metody pozyskiwania danych, jak i ich przetwarzania praktycznie nie ulegały zmianom w stosunku do metod analogowych.

Generalnie oprogramowanie w tym czasie można podzielić na kilka rodzajów:

- od początku lat 70. XX w. wykonywane są aplikacje do wykonywania prognoz deformacji górotworu;
- w latach 80. pojawiają się programy służące dokumentowaniu i analizom wyników pomiarów przemieszczeń na terenach górniczych z wykorzystaniem grafiki komputerowej, a także oprogramowanie służące estymacji parametrów modeli prognostycznych;
- od początku lat 90. stosowane są systemy informatyczne typu CAD (*Computer Aided Design*) oraz do prowadzenia zasobów kartograficznych map górniczych coraz częściej wykorzystywane są możliwości budowy baz danych o stanie infrastruktury terenu górniczego;
- w połowie lat 90. pojawiły się pierwsze koncepcje łączenia poszczególnych programów w systemy informacji przestrzennej – GIS.

Od wielu lat w publikacjach dotyczących wpływów eksploatacji górniczych, a zwłaszcza w pozycjach przeglądowych czy monografiach, praktycznie zawsze znajduje się rozdział poświęcony aktualnie stosowanym programom komputerowym. Z bardziej istotnych aplikacji opracowanych w latach 80. i 90. można wyróżnić stale unowocześniane autorskie programy do prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na górotwór i powierzchnię terenu, m.im. J. Białka, B. Drzęzli, R. Hejmanowskiego, E. Jędrzejca, W. Kielbasiewicza i W. Piwowarskiego. Większość z opracowanych wtedy programów obliczeniowych pracowała w trybie konsoli.

W związku z pojawieniem się w latach 90. graficznego interfejsu użytkownika (GUI) część z wyżej opisanych programów została zmodernizowana w taki sposób, aby istniała możliwość obsługi programu przez operatora z użyciem interfejsu GUI oraz dodatkowo została wyposażona w możliwości graficznej formy przedstawienia wyników obliczeń.

Pojawienie się na krajowym rynku komputerów trzeciej generacji z aplikacjami CAD zarówno w ośrodkach naukowych, jak i przedsiębiorstwach spowodowało, że stały się one podstawową platformą do prowadzenia prac nad metodyką i implementacją numerycznego zasobu map górniczych w zakładach górniczych. W ciągu ostatnich kilkunastu lat

w różnych jednostkach w Polsce powstało szereg zestawów programowych i aplikacji umożliwiających wykorzystanie systemów CAD do prowadzenia numerycznego zasobu map górniczych [11].

Po raz pierwszy w naszym kraju do rozwiązywania zagadnień związanych z ochroną terenów górniczych użyto systemu baz danych w ramach realizacji Systemu Informacji o Terenie Górniczym (SIOTG) w Zakładzie Ochrony Terenów Górniczych AGH [8]. System ten powstał w celu stworzenia zestawu baz danych dedykowanych do przetwarzania danych opisujących dotychczasowe i przewidywane skutki podziemnej eksploatacji górniczej w obiektach inżynierskich. Dodatkowo zestaw baz danych został rozszerzony o moduły obliczeniowe wskaźników deformacji. Wprowadzenie możliwości wymiany danych pomiędzy bazami danych systemu a programami obliczeniowymi stworzyło system informacyjny przeznaczony do optymalizacji prowadzenia wydobywania złoża i ochrony obiektów budowlanych z uwagi na wartość wskaźników deformacji terenu.

W 1994 roku w ramach pracy dyplomowej [4] wykonano aplikację systemu GIS (system MGE firmy Intergraph) do rozwiązywania zagadnień z zakresu inżynierii środowiska na terenach górniczych. W pracy wskazano na przydatność wykorzystania zaawansowanych systemów informacji przestrzennej do przetwarzania danych o przekształceniach terenów górniczych.

Warto wspomnieć wykonany w późniejszych latach system baz danych przeznaczony do rejestracji następstw podziemnej eksploatacji górniczej i przebiegu usuwania szkód górniczych. System ten wykonano w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach w 1996 roku przy współpracy pracowników Katedry Ochrony Terenów Górniczych. Projekt realizowany był w ramach projektu zamawianego PBZ-016-06 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych [6] przez Główny Instytut Górnictwa.

W 1997 roku w Katedrze Ochrony Terenów Górniczych wykonano dla KWK Andalużja projekt badawczy „Brzeziny” [9]. W projekcie zastosowano koncepcję polegającą na integracji dotychczasowej bazy danych systemu SIOTG „Kartoteka” z systemową bazą danych aplikacji MGE PC-2. Dzięki temu rozwiązaniu osiągnięto możliwość pracy z jednym rodzajem danych w dwóch typach środowisk:

- 1) bazy danych,
- 2) systemu CAD.

Stworzono w ten sposób aplikację typu GIS wspomagającą podstawowe analizy niezbędne w ochronie terenów górniczych.

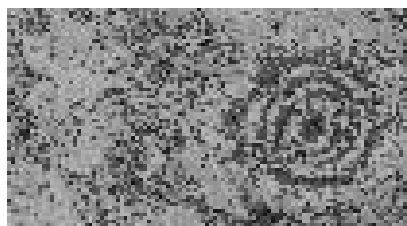
Wszystkie te doświadczenia pozwoliły na opracowanie metodyki wdrażania tego typu systemów.

3. Zastosowanie nowoczesnych technologii informatycznych w ochronie terenów górniczych

Od wielu lat prowadzone są prace badawcze koncentrujące się na pozyskiwaniu i przetwarzaniu danych o wpływach eksploatacji górniczej z wykorzystaniem narzędzi in-

formatycznych przeznaczonych do pozyskiwania i przetwarzania danych przestrzennych związanych z działalnością górnictwem.

W dziedzinie pozyskiwania danych badania są realizowane przy zastosowaniu nowoczesnych technik pomiarów deformacji terenu takich jak radarowa interferometria satelitarna (InSAR). Jest to nowoczesna technika teledetekcyjna służąca do pozyskiwania informacji o powierzchni Ziemi w ściśle określonym przedziale czasowym, na obszarze dziesiątek kilometrów kwadratowych jednocześnie [10]. Metoda ta wykorzystuje zdjęcia SAR (*Synthetic Aparature Radar* – radiolokator obrazowy z anteną syntetyczną) uzyskiwane podczas powtarzalnych przelotów satelity (np. *European Remote Sensing Satellite* ERS-2 lub Envisat) nad tym samym obszarem powierzchni Ziemi. Wykonywanie radarogramów przez satelitę polega na rejestracji, przy użyciu anteny SAR, odbitej od powierzchni terenu fali radarowej. W trakcie rejestracji zapisywane są informacje o intensywności odbicia fali radarowej (inaczej stopnia pochłaniania fali) oraz o jej fazie w momencie dotarcia do odbiornika. Uzyskuje się tym samym informacje o wartościach względnych rzędnej powierzchni terenu lub jej zmianach w czasie. W dziedzinie ochrony terenów górniczych istotną własnością radarogramów jest informacja o różnicy faz pomiędzy falą emitowaną a odbitą w różnym czasie od tego samego obszaru. Posiadając dwa takie radarogramy, można określić wartości faz, o jakie różnią się ich sygnały; w efekcie otrzymuje się interferogram (rys. 1).



Rys. 1. Fragment interferogramu z prążkami interferometrycznymi obrazującymi lokalną nieckę obniżeniową

W dziedzinie przetwarzania danych o eksploatacji górnictwa oraz o jej wpływie na powierzchnię terenu osiągnięciem zespołu KOTGiG było opracowanie zestawu powiązanych ze sobą aplikacji komputerowych. Opracowane oprogramowanie przeznaczone jest do realizacji różnego typu zadań związanych z rozwiązywaniem problemów z zakresu ochrony terenów górniczych przez zakłady górnicze. Kluczowe znaczenie dla tego systemu posiada aplikacja o nazwie MODEZ. Jest to baza danych przeznaczona do realizacji obliczeń prognoz wpływów eksploatacji górnictwa na powierzchnię terenu. Aplikacja ta została wykonana w Katedrze Ochrony Terenów Górniczych w oparciu o autorski algorytm obliczania wskaźników deformacji na bazie teorii wpływów Knothego [1].

Baza danych zawiera dane o eksploatacji dokonanej oraz o parametrach modelu deformacji. Po uruchomieniu obliczeń biblioteki dynamiczne (zawierające algorytm obliczeniowy) powiązane z bazą danych wykonują obliczenia wskaźników deformacji dla zadanych punktów obliczeniowych. Wyniki obliczeń składowane są w podstawowej bazie danych systemu MODEZ.

Podstawowym problemem dla systemu prognozowania wpływów eksploatacji jest pozyskiwanie pełnego zestawu informacji o parcelach eksploatacji dokonanej i projektowanej. Z tego powodu został opracowany program do zarządzania parcelami eksploatacji dokonanej i projektowanej o nazwie GSIOTG (A. Krawczyk).

Program ten składa się z dwóch aplikacji:

- 1) aplikacji pracującej w środowisku CAD,
- 2) aplikacji pracującej w środowisku bazy danych.

Moduł ten może pozyskiwać dane zarówno z map analogowych (poprzez digitizer), jak i może być użytkowany jako nakładka w systemie komputerowej mapy wyrobisk górniczych. W trakcie pracy moduł tworzy obiekt, którego grafika jest przechowywana w pliku wektorowym, a atrybuty tekstowe w systemowej bazie danych. Dzięki powstaniu tego typu zasobu dane te mogą być używane wielokrotnie.

W ramach badań opracowano również dwa systemy informatyczne przeznaczone do gromadzenia analizy i prezentacji danych o infrastrukturze technicznej zagrożonej wpływami eksploatacji. Pierwszy z nich system informacji o obiektach budowlanych, który został opracowany dla kopalni O/ZG Polkowice-Sieroszowice i przeznaczony jest do zarządzania danymi o obiektach budowlanych znajdujących się w tereni górniczym tej kopalni [2]. System zbiera i przetwarza szeroki zestaw danych o obiektach budowlanych ze szczególnym uwzględnieniem zarządzania danymi o ich odporności oraz o doznanych uszkodzeniach obiektu. Technicznie system został opracowany w środowisku aplikacji GeoMedia firmy Intergraph. Drugim systemem jest baza danych o pomiarach deformacji obudowy szybowej również wykonana dla O/ZG Polkowice-Sieroszowice. Baza ta przeznaczona jest do pozyskiwania danych z pomiarów obudowy szybowej. Baza obsługuje przetwarzanie danych z pomiarów wyniesienia wysokości, pomiarów długości boków na linii obserwacyjnej w szybie oraz pomiary przemieszczeń poziomych. Baza danych wykonuje obliczenia wyników pomiarów, z których przygotowuje stosowne raporty w postaci plików programu EXCEL. Pomiedzy zadanymi pomiarami baza danych automatycznie oblicza wskaźniki deformacji, które następnie mogą być wydrukowane do plików xls lub w postaci wykresów do plików dgn.

Opracowanie tak wielu aplikacji wymagało nie tylko dobrej znajomości samych zagadnień związanych wpływami eksploatacji górniczej, ale także wymagało stałego poszerzania wiedzy z zakresu informatyki stosowanej oraz teledetekcji. Doświadczenia ze zrealizowanych wdrożeń stały się więc podstawą do sięgnięcia po bardziej zaawansowane techniki stosowane do tej pory w informatyce.

4. Zaawansowane rozwiązania geoinformacyjne SIOT – Intergraph

Współczesne systemy informacji przestrzennej budowane dla konkretnych zastosowań bazują zazwyczaj na profesjonalnych platformach programowych. Wynika to ze stopnia integracji danych graficznych i opisowych w systemowej bazie danych, możliwości

przewodzenia analiz przestrzennych, raportowania i wyświetlania wyników, integracji danych z różnych źródeł, zabezpieczenia praw dostępu do danych, sieciowej pracy aplikacji, dostępu do aplikacji poprzez strony www itp. Przedsiębiorca górniczy, gmina górnicza, bądź inny podmiot zainteresowany zagadnieniami z zakresu szeroko pojętej ochrony terenów górniczych posiada swoje indywidualne potrzeby, które system informacji przestrzennej powinien zapewnić. Stąd nie ma obecnie innej drogi niż budowa systemów dedykowanych. Budowa takiego systemu wymaga jednak nie tylko szerokiej wiedzy merytorycznej z zakresu OTG, lecz także kwalifikacji w zarządzaniu projektem, a w szczególności – projektem informatycznym.

Pracownicy KOTGiG współpracują od kilku lat z firmą Intergraph Polska przy budowie dużego systemu informacji o terenie dla KGHM Polska Miedź SA. Współdziałanie to ma przede wszystkim na celu integrację algorytmu prognozowania deformacji w systemie SIOT, jak również współudział przy budowie modułu monitoringu powierzchni terenu. Tym niemniej prace obejmują praktycznie wszystkie szczeble budowy systemu, począwszy od analizy przedmiotu systemu, poprzez fazę projektową, a skończywszy na testach i dokumentacji niektórych modułów. Systemy informacji przestrzennej takie jak przywołany przykładowo powyżej są współcześnie narzędziem dalece bardziej zaawansowanym od klasycznych systemów CAD i rozwijają się niezależnie od nich [3]. Niezwykle przydatne jest wykorzystanie tego, co stanowi istotę systemów GIS, tzn. ich możliwości analityczne. Pozwalają one na prowadzenie wnioskowania co do zagrożenia terenów górniczych, obiektów oraz kategoryzacji zagrożeń w sposób wykorzystujący elementy statystyki. Pewne prace w tym kierunku są kontynuowane w Katedrze od kilku lat [2, 7]. Doświadczenia pozyskiwane w ramach tego typu prac znajdują natychmiastowe przełożenie na dydaktykę i kształcenie studentów przez pracowników Katedry. To połączenie najnowocześniejszych doświadczeń przemysłowych i organizacyjnych z podnoszeniem poziomu kształcenia pozwala na stały rozwój Katedry w kierunkach współczesnych i przyszłościowych.

5. Aktualne i perspektywiczne kierunki badań w zakresie geoinformatyki terenów górniczych

Rozwój badań związanych z geoinformatyką w dziedzinie ochrony terenów górniczych przebiega zasadniczo w kilku wymienionych poniżej kierunkach.

- Prowadzenie infrastruktury cyfrowego zasobu map górniczych, jego standaryzacji, ze szczególnym uwzględnieniem bezpieczeństwa oraz form prezentacji i publikacji danych mapowych. Ponadto są prowadzone badania dotyczące wykorzystania technik modelowania 3D w prowadzeniu mapy wyrobisk górniczych oraz w kartografii górniczej, symulacje komputerowe procesów geomechanicznych.
- Zastosowanie systemów informatycznych do wspomagania procesów planowania i projektowania produkcji górniczej bazujące na technikach komputerowych.
- Zastosowanie pakietów oprogramowania GIS do analizy zagrożenia terenów górniczych i przemysłowych.

- Modelowanie struktur baz danych przeznaczonych do zbierania i udostępniania danych o wpływach eksploatacji górniczej na środowisko naturalne i infrastrukturę terenu ze szczególnym uwzględnieniem modelu obiektowego oraz technologii xml.
- Oceny ryzyka występowania zagrożeń na terenach podlegających wpływom eksploatacji górniczej. W tym zakresie otwiera się obiecująca ścieżka działalności badawczej bazująca na wykorzystaniu takich narzędzi jak analizy GIS oraz elementy rachunku prawdopodobieństwa i logiki rozmytej.

Na zakończenie warto podkreślić, że wciąż rozwijane są własne oprogramowania autorskie do prognozowania deformacji górotworu, estymacji parametrów modeli geomechanicznych oraz rozwiązywania problemów inżynierskich w zakresie ochrony terenów górniczych.

6. Podsumowanie

Katedra Ochrony Terenów Górniczych i Geoinformatyki w ostatnich latach intensywnie rozwija badania naukowe związane z nowoczesnymi metodami komputerowego gromadzenia, przetwarzania i analizy danych przestrzennych związanych z ochroną terenów górniczych. Badania te ściśle wiążą zespół Katedry z przemysłem i realnymi problemami rozwiązywanymi w każdej fazie przedsięwzięć inwestycyjnych dotyczących budownictwa podziemnego, składowania odpadów w wyrobiskach kopalnianych, eksploatacji kopalni, a także likwidacji zakładów górniczych.

Szczególnie istotnym aspektem badawczym jest problematyka modelowania i analizy informacji przestrzennej w systemach GIS (systemy informacji przestrzennej) oraz problematyka modelowania i wizualizacji danych w systemach kartograficznych CAD (systemy wspomagania projektowania komputerowego).

Literatura

- [1] Hejmanowski. R (red.): *Prognozowanie deformacji górotworu i powierzchni terenu na bazie uogólnionej teorii Knothego dla złóż surowców stałych, ciekłych i gazowych*. Seria Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN 2001, ISBN 83-87854-04-2
- [2] Hejmanowski R. i zespół: *System prognozowania wpływów eksploatacji górniczej – obiekty powierzchniowe*. Praca naukowo-badawcza na zlecenie KGHM PM S.A., O/ZG Polkowice-Sieroszowice, Stowarzyszenie Naukowe im. St. Staszica w Krakowie 2004 (niepublik.)
- [3] Hejmanowski R.: *Zastosowanie hurtowni danych i analiz GIS do oceny zagrożenia terenów górniczych*. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2006, Szczyrk 20–24 lutego 2006, Kraków, Wydawnictwo IGSMiE PAN 2006 (Sympozja i Konferencje; nr 66), 761–770

- [4] Krawczyk A.: *System informacji o terenach przekształconych działalnością górniczo-przemysłową w rejonie Olkusza*. Kraków, AGH 1994 (praca dypl., maszynopis)
- [5] Krawczyk A., Ostrowski J., Popiołek E., Skobliński W., Szaniawski M.: *System informacyjny badań deformacji szybów górniczych*. Kicki J. (red.), Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Wydawnictwo IGSMiE PAN 2003, 37–43
- [6] Muszyński L., Kończal G.: *System rejestracji skutków eksploatacji górniczej na powierzchni i w obiektach budowlanych*. Ochrona powierzchni i obiektów budowlanych przed szkodami górniczymi, Prace Naukowe GIG, seria Konferencje nr 20, Katowice, 1997
- [7] Piwowarski W.: *O ryzyku wystąpienia szkody górniczej*. VIII Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Ustroń 15–17 czerwca 2005 r., Katowice 2005, 437–447
- [8] Popiołek E. i zespół: *Przeciwdziałanie szkodom górniczym w oparciu o numeryczne metody optymalizacji wydobywania złóż kopalin użytecznych*. Projekt PB 376/9/91 KBN zespół S6, Kraków, AGH 1993 (maszynopis)
- [9] Popiołek E. i zespół: *Aktualizacja inwentaryzacji zabudowy kubaturowej powierzchni w Brzezinach Śląskich w granicach terenu górniczego KWK „Andaluzja”*. Katowice, SITG 1997 (maszynopis)
- [10] Popiołek E., Bachowski C., Krawczyk A., Sopata P.: *Próba wykorzystania interferometrii radarowej InSAR do monitoringu wpływów eksploatacji złoża rud miedzi w LGOM*. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Polska Akademia Nauk, AGH, Ustroń 2004
- [11] Kaczmarzyk Z., Wąsacz W., Biegun O., Kosydor P., Pluciński P., Szajt P., Huczek I., Czudek L., Jura I.: *Mapy numeryczne w górnictwie podziemnym*. Materiały IV Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, AGH WGGiŚ, PMG Rytko 1997, ISBN 83-906804-2-4