

*Tereny pogórnice,
system informacji geograficznej,
deformacje,*

Jan BLACHOWSKI*

SYSTEM INFORMACJI GEOGRAFICZNEJ WAŁBRZYSKICH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO PODSTAWĄ ZWIĘKSZENIA EFEKTYWNOŚCI I WIARYGODNOŚCI BADAŃ DEFORMACJI POWIERZCHNI TERENÓW POGÓRNICZYCH

Badania deformacji powierzchni terenów górniczych wiążą się z gromadzeniem i opracowywaniem dużych, skomplikowanych i różnorodnych zbiorów danych, z których większość posiada odniesienie przestrzenne. Zarządzanie takimi danymi i ich przetwarzanie usprawniają systemy informacji geograficznej (GIS). W artykule przedstawiono strukturę cyfrowej bazy danych przestrzennych i związanych z nimi danych atrybutowych wykorzystywanych w badaniach deformacji powierzchni terenów dawnych Wałbrzyskich Kopalń Węgla Kamiennego. Wskazano, na przykładach, funkcje i możliwości zastosowania systemu geoinformacyjnego we wspomaganiu badań deformacji i interpretacjach ich rezultatów.

1. WPROWADZENIE

Dawne Wałbrzyskie Kopalnie Węgla Kamiennego (WKWK) tworzyły wraz z kopalniami noworudzkimi Dolnośląskie Zagłębie Węglowe (DZW) położone w południowo-zachodniej Polsce. W części wałbrzyskiej prowadzono podziemne wydobywanie węgla kamiennego, a także antracytu, którego początki sięgają średniowiecza [15]. Skomplikowane warunki geologiczno-górnictwa pokładów węglowych i związana z tym nieopłacalność wydobywania doprowadziły do niemal jednoczesnego zamknięcia wszystkich kopalń pod koniec lat 90 ubiegłego stulecia. Eksploatacja węgla powodowała deformacje powierzchni oraz uszkodzenia infrastruktury: technicznej, drogowej, kolejowej oraz budynków. Geodezyjne obserwacje wpływu działalności górniczej na powierzchnię

* Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

wykonywane były okresowo, głównie przez służby miernicze zakładów górniczych, w lokalnych, specjalnie zakładanych liniach niwelacyjnych (wysokościowych). Teoretyczne obliczenia wielkości osiadań powierzchni dla miasta Wałbrzycha wykonał Jędrzejec i inni [13] stosując zmodyfikowaną teorię Budryka–Knothego. Dla okresu ostatnich pięćdziesięciu lat eksploatacji (do 1996 roku) otrzymali wartości do -8 m (dzielnica Sobięcín), do -6 m (dzielnice Biały Kamień i Podgórze) oraz do -5 m w pozostałych.

W związku z likwidacją kopalń i zaprzestaniem pomiarów, od blisko 10 lat nierozpoznany pozostaje stan powierzchni. Brak informacji o obecnym charakterze tych zmian ma niekorzystny wpływ na zagospodarowanie przestrzenne i rozwój gospodarczy regionu. Od 2006 roku Zakład Geodezji i Geoinformatyki Instytutu Górniczego Politechniki Wrocławskiej prowadzi badania ukierunkowane na rozpoznanie, analizę i ocenę charakteru deformacji powierzchni terenu w schyłkowym okresie eksploatacji i po jej zakończeniu. Ich podstawą jest budowa systemu geoinformacyjnego z kompleksową geograficzną bazą danych: górniczych, geologicznych, geodezyjnych i innych, wykorzystywanych w badaniach deformacji. Konwersja do postaci cyfrowej i integracja danych przestrzennych oraz opracowanie dodatkowych danych atrybutowych ma na celu wspomaganie i usprawnienie procesu badawczego oraz zapewnienie możliwie największej wiarygodności rezultatów. W pracach zastosowano narzędzia i funkcje oferowane przez oprogramowanie systemów informacji geograficznej (GIS) co pozwala, po raz pierwszy, na zebranie całościowej informacji o prowadzonej działalności górniczej i przedstawieniu jej wpływu na powierzchnię w wałbrzyskiej części DZW.

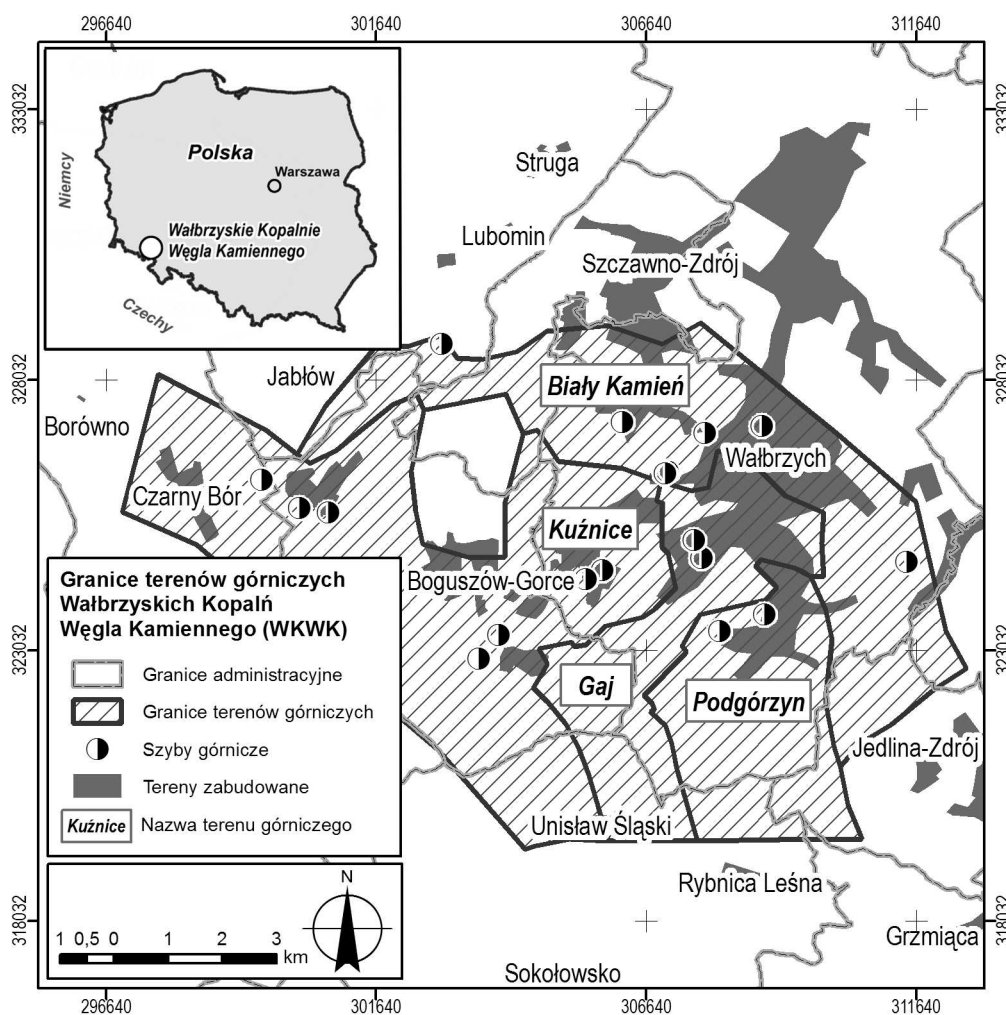
W artykule opisano, na przykładzie WKWK: strukturę geograficznej bazy danych, etapy opracowania systemu geoinformacyjnego, metodykę prowadzenia badań deformacji powierzchni dawnych terenów górniczych oraz wskazano możliwości GIS we wspomaganiu prac badawczych i interpretacji ich rezultatów.

2. CHARAKTERYSTYKA WAŁBRZYSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

Dawne tereny górnicze czterech Wałbrzyskich Kopalń Węgla Kamiennego, wraz z funkcjonującym w latach 1996–1998 Zakładem Przeróbczo–Wydobywczym Antracytu „Glink” stanowią interesujący poligon pod względem badawczym, doskonalenia metodyki obserwacji i interpretacji deformacji pogórnich, oraz praktycznym związanym z zapotrzebowaniem na aktualną i wiarygodną informację o ich naturze. Charakterystykę terenów górniczych zamieszczono w tabeli 1, a ich położenie pokazano na rysunku 1. Powierzchnia obszaru badań to 93,68 km². W artykule nazywa się go, zamiennie z WKWK, Wałbrzyskim Zagłębem Węglowym (WZW).

Geologicznie obejmuje całą nieckę węglową charakteryzującą się wyjątkowo niekorzystnymi warunkami geologiczno–górnymi zalegania pokładów węgla. Występują one w utworach górnokarbońskich w kompleksach węglowych związanych z warstwami wał-

brzyskimi białokamięskimi i żałerskimi. Nachylenie pokładów węgla w dwóch synklinach, Gorce i Sobięcina, rozdzielonych lakolitową intruzją Chełmca zmienia się od 30 do 60 stopni, a miejscami dochodzi do 90 stopni. Dodatkowo niecka oraz warstwy węglowe podzielone są na mniejsze jednostki licznymi uskokami tektonicznymi. Między innymi to te warunki te przyczyniły się do likwidacji DZW.



Rys. 1. Położenie dawnych Wałbrzyskich Kopalń Węgla Kamiennego
Fig. 1. Location of abandoned Wałbrzych Underground Coal Mines

Praktycznie przez cały okres wydobycia węgla, obserwowano deformacje powierzchni nad obszarami eksploatacji. Ich charakter zmieniał się w zależności od stosowanej metody eksploatacji i charakterystyki pokładów węglowych (miąższość,

upad, głębokość zalegania pod powierzchnią terenu). Obecnie, oprócz deformacji, pojawiają się zagrożenia związane są z rekonstrukcją poziomów wodonośnych i możliwym wypełnieniem niecek obniżeniowych oraz wydobywaniem się kwaśnych wód kopalnianych i gazów. Prace w tym zakresie prowadzą m.in. Gogolewska [12] i Fiszer [10]. Największe znaczenie dla bezpieczeństwa mają jednak, ciągle i nieciągłe, deformacje powierzchni, związane z niszczeniem pustek poeksploatacyjnych. Problematyka badań obniżenia terenu, po zaprzestaniu działalności górniczej, całego zagłębia węglowego nie była do tej pory analizowana w takim zakresie. W metodyce badań deformacji terenów pogórnich nie zastosowano jeszcze, w takiej skali, nowoczesnych (satelitarnych i zdalnych) metod pozyskiwania danych, narzędzi informatycznych przetwarzania danych przestrzennych i modelowania oraz prognozowania natury tego zjawiska [9, 11, 16, 17].

Tabela. 1. Charakterystyka dawnych Wałbrzyskich Kopalń Węgla Kamiennego [14]

Table. 1 General information on abandoned Wałbrzych Coal Mines [14]

Nazwa kopalni węgla kamiennego	Nazwa obszaru górniczego	Pow. [km ²]	Wydobywana kopalina	Data zamkn. kopalni
Victoria	Kuźnice	38.80	Węgiel kamienny	1993
Wałbrzych (d. Chrobry)	Gaj, Podgórze	27.72	Węgiel kamienny	1994
Thorez (d. Julia)	Biały Kamień	27.16	Węgiel kamienny	1996
Zakład Wydobywczo-Przeróbczy Antracytu	Glink	15.63*	Antracyt	1998

* utworzony w granicach pozostałych terenów górniczych

3. METODYKA BUDOWY SYSTEMU INFORMACJI GEOGRAFICZNEJ WKWK

Badania deformacji powierzchni terenów górniczych wymagają zebrania, przetworzenia i równoczesnej analizy dużej ilości różnorodnych zbiorów danych. Źródła takich danych są zazwyczaj rozproszone a materiały wejściowe (zwłaszcza archiwalne) opracowane w różnych nie przystających do siebie formatach i układach. Efektywne zarządzanie i opracowanie danych posiadających w większości przypadków odniesienie przestrzenne jest możliwe dzięki zastosowaniu systemów informacji geograficznej. Może to być np.: precyzyjne przedstawienie budowy geologicznej i własności utworów geologicznych, opracowanie przestrzennego modelu kopalń wraz z analizą metod i okresów eksploatacji poszczególnych pokładów, analiza i interpretacja rezultatów okresowych pomiarów geodezyjnych czy wzajemna korelacja tych danych.

Projekt systemu geoinformacyjnego dla WKWK zakładał, po pierwsze, budowę kompleksowej geograficznej bazy danych, w której archiwizowane są, często niszczone już mapy i dokumentacje. Zapewnia to skuteczne zarządzanie gromadzonym materiałem badawczym. Po drugie, system stanowi narzędzie wykonywania wielokryterialnych analiz, zapytań i obliczeń z jednoczesnym użyciem wielu zbiorów danych. Wreszcie daje możliwość wizualizacji, także przestrzennych (3D) rezultatów badań, wspomagających prezentację i interpretację badanego zjawiska deformacji.

3.1. DANE ŹRÓDŁOWE I OPROGRAMOWANIE

Materiały źródłowe obejmują głównie archiwalne dokumenty papierowe. Są to m.in.:

- mapy przeglądowe wyrobisk górniczych, zbiorcze (w skali 1:25 000) i sekcyjne, poziomów wydobywczych (w skalach 1:5 000 i 1:2 000)
- dokumentacje geologiczno-górnice zakładów górniczych z załącznikami
- wykazy reperów i operaty pomiarowe linii niwelacyjnych II i III klasy osnowy wysokościowej
- wykazy wysokości i przemieszczeń pionowych reperów w liniach niwelacyjnych filarów ochronnych terenów górniczych WKWK
- Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1:25 000
- Atlas geologiczny Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego.

Materiały cyfrowe to, m.in.:

- Rastrowa, szczegółowa mapa topograficzna w skali 1:10 000 w układzie współrzędnych PUWG 1992
- warstwy wektorowe zagospodarowania terenu, m.in.: sieć hydrograficzna, sieć drogową i kolejową, granice administracyjne (udostępnione przez Wojewódzkie Biuro Urbanistyczne we Wrocławiu)
- raster z wartościami obliczeń teoretycznych osiadań terenu do 1996 roku (Udostępnione przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach).

oraz szereg innych materiałów, w tym opracowanych samodzielnie. Szczegółowy wykaz danych wejściowych zamieszczono w pracy [3].

Budowę systemu oparto na platformie ArcGIS firmy ESRI w wersji ArcEditor z wykorzystaniem dodatkowych rozszerzeń: ArcGIS 3D Analyst, ArcGIS Statistical Analyst oraz ArcGIS Geostatistical Analyst. Oprogramowanie podstawowe służy m.in. do: transformacji i konwersji danych źródłowych do postaci cyfrowej, budowy atrybutowej bazy danych, zarządzania danymi, podstawowych analiz oraz opracowywania map. Aplikacje dodatkowe zawierają zestawy narzędzi do zaawansowanych analiz wielokryterialnych oraz modelowania [1].

3.2. GEOGRAFICZNA BAZA DANYCH

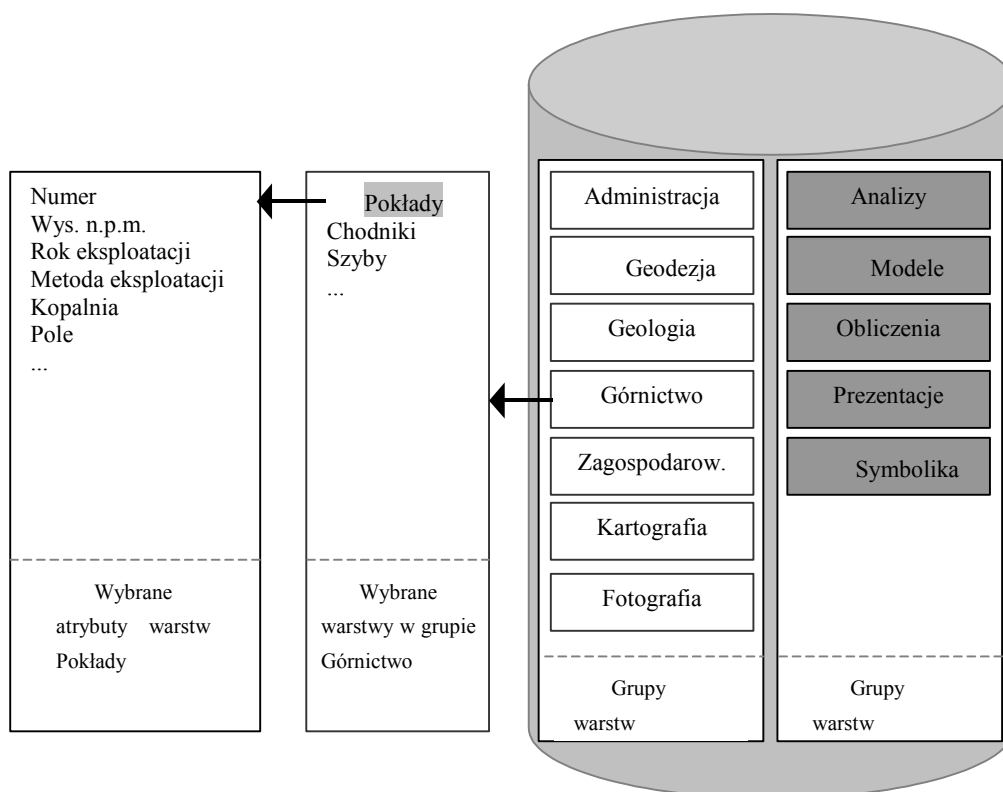
Wyjściowy podkład kartograficzny systemu stanowi mapa topograficzna w skali 1:10 000. Pozostałe materiały mapowe, po zeskanowaniu lub wcześniej zeskanowane, wpasowywane były w przyjęty źródłowy układ współrzędnych (PUWG 1992), dane wektorowe transformowano z ich układów pierwotnych do układu docelowego projektu. Podkłady rastrowe oraz dokumentacje użyto następnie do budowy przestrzennej (wektorowej) i opisowej bazy danych. Do najważniejszych należą: warstwy tematyczne z eksploatowanymi pokładami węgla, chodniki podziemne, uskoki tektoniczne, geologia, położenie reperów geodezyjnych, itd. Warstwom wektorowym przypisano dodatkowe atrybuty, na przykład dla warstw reprezentujących pokłady węgla: wysokość (numer) pokładu (n.p.m.), metodę i okres eksploatacji. Dodatkowe warstwy tematyczne generowano także z plików tekstowych np. położenie reperów linii niwelacyjnych, obliczone teoretyczne wartości osiadań itd.

Wszystkie gromadzone dane podzielono na grupy tematyczne m.in: administracja, geodezja, geologia, górnictwo, górnictwo powierzchniowe, kartografia, powierzchnia, rzeźba, zagospodarowanie i inne. Warstwy pochodne podzielono wstępnie na grupy: analizy, modele, obliczenia. Zestawiane w nich są wyniki obliczeń przemieszczeń reperów między kolejnymi pomiarami, rezultaty wielokryterialnych analiz przestrzennych, np. korelacji danych dot. eksploatacji podziemnej i geologii z wynikami pomiarów geodezyjnych, modele oraz wizualizacje przestrzenne i inne. Ogólną strukturę bazy danych przedstawiono na rysunku 2. Zebrano w niej także informacje z rekonesansów terenowych (np. fotografia).

Opracowano dodatkowe warstwy pochodne. Na przykład cyfrowy model terenu (CMT), do budowy, którego wykorzystano warstwy wektorowe ze zbiorem punktów z zadanym atrybutem wysokości. Warstwy te powstały z digitalizacji warstw i punktów wysokościowych mapy topograficznej. Wynikowy rastrowy model powierzchni terenu zapisano w formacie GRID (z wartością wysokości dla każdej komórki powierzchni) oraz w postaci nieregularnej siatki trójkątów – model TIN. Do budowy modelu wysokościowego powierzchni zastosowano dwie metody interpolacji: minimalnej krzywizny (*Spline*) i IDW (*Inverse Distance Weighted*) dające dobre rezultaty dla danych typu ciągłego (wysokość) [2]. Model TIN, przydatny w wizualizacjach) doskonalono wprowadzając np. elementy infrastruktury powierzchniowej (sieć kolejowa) i hydrografii. Detale te dodawano jako tzw. *breakline* – gdzie kształt i położenie n.p.m. obiektu ma wpływ na kształt modelu wynikowego lub *softline* – bez wpływu na kształt modelu. Trwają prace nad dodatkowymi elementami takimi jak hałdy i osadniki.

Do przygotowania przestrzennego modelu kopalń, na obecnym etapie „Victoria” i „Thorez” wykorzystano warstwy wektorowe wyrobisk, chodników oraz pokładów węglowych powstałe w wyniku digitalizacji map pokładowych. W ten sam sposób wykonane zostaną modele przestrzenne pozostałych części kopalń.

Opracowane modele wykorzystywane są w wizualizacjach infrastruktury i przebiegu eksploatacji podziemnej, analizach budowy geologicznej (uskoki) i rezultatów przemieszczeń reperów geodezyjnych oraz interpretacjach zjawiska deformacji z uwzględnieniem warunków geologiczno-górnicznych i innych.



Rys. 2. Schemat struktury bazy danych geograficznych WKWK

Fig. 2. General structure of the WKWK database

Podstawowe problemy, które wystąpiły w trakcie budowy geograficznej bazy danych to precyzyjne wpasowanie materiałów rastrowych, nie posiadających odniesienia przestrzennego, w układ współrzędnych projektu oraz wektoryzacja bardzo różnorodnych materiałów źródłowych i opracowanie dodatkowych, niezbędnych, atrybutów. Zachowanie odpowiednich kryteriów dokładnościowych tych procesów to zasadnicze warunki właściwego przygotowania bazy danych i ich wykorzystania w badaniach deformacji. Pozyskiwanie bardzo zróżnicowanych materiałów wejściowych z wielu rozproszonych źródeł wymagało zachowania szczególnych procedur kontrolnych i utrudniało budowę systemu. Proces ten usprawniono analizując dostępne materiały źródłowe i definiując strukturę logiczną bazy danych na etapie planowania projektu. W toku trwających blisko 1.5 roku prac, zdigitalizowano obszar kopalni „Victoria” oraz fragment kopalni „Thorez” (rys. 1).

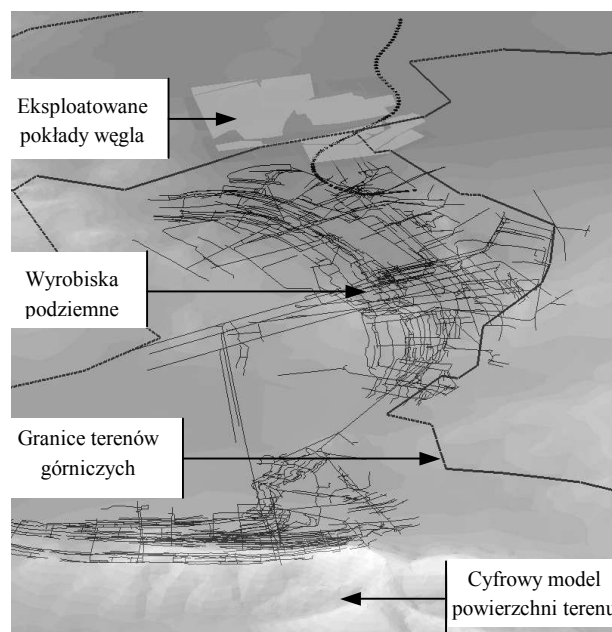
4. GIS–WKWK W BADANIACH DEFORMACJI

4.1. AKTUALNY STAN PRAC

Obecnie badania deformacji powierzchni w rejonie Wałbrzycha skoncentrowane są na analizie przemieszczeń reperów w liniach niwelacyjnych, państwowych i lokalnych, obliczonych na podstawie porównania rejestrowanych zmian ich wysokości w końcowym okresie eksploatacji węgla (lata 80 i 90). Ze względu na ograniczony przestrzennie do kilku linii zbiorów danych (pomiarów wysokości reperów w ciągach wysokościowych) prace realizowane są w wybranych obszarach, pod którymi prowadzono eksploatację w okresie wykonywania pomiarów geodezyjnych i które charakteryzują się największymi osiadaniami określonymi na podstawie obliczeń teoretycznych [13]. Są to fragmenty terenów górniczych kopalń „Victoria” i „Thorez” (rys. 1). W badaniach wykorzystywane są m.in. informacje o warunkach górniczych i geologicznych wprowadzone do systemu oraz funkcje GIS do korelacji i łącznego przetwarzania danych. Analizowane są wpływy czynników, takich jak: okres, zasięg i głębokość eksploatacji, nachylenie pokładów czy budowa tektoniczna. Wstępne rezultaty, które wykazały bezpośredni związek między czasem i miejscem eksploatacji a wielkością osiadań oraz prawdopodobny wpływ uskoku tektonicznych, w sąsiedztwie pokładów węglowych, na charakter zmian prezentowano m.in. w pracach [5, 8].

Równolegle opracowano, na podstawie analiz: budowy geologicznej, planów kopalń, znanych zasięgów niecek obniżeniowych, zagospodarowania i ukształtowania terenu oraz przebiegu linii niwelacyjnych, projekt lokalizacji stanowisk do pomiarów satelitarnych GPS i uzupełniających linii niwelacyjnych. Sieć 18 punktów badawczych GPS zlokalizowanych w obszarach stabilnych (wschodnie skał krystalicznych) i stwierdzonych osiadań powierzchni wraz z 6 punktami nawiązania (stacje ciągłych obserwacji GPS poza obszarem WZW). Sieć została skonfigurowana jako podstawa do prowadzenia okresowych obserwacji powierzchni terenu w przyszłości i weryfikacji obliczeń modelowych [7].

Kolejnym elementem prac są przestrzenne modele kopalń oraz powierzchni terenu i otrzymanych osiadań. Metodykę ich budowy opisano w skrócie w rozdziale 3.2. Modele te są doskonalone wraz z opracowaniem kolejnych materiałów, np.: wyrobisk podziemnych, rezultatów pomiarów, elementów zagospodarowania powierzchni. Trójwymiarowe wizualizacje są wykorzystywane do analiz i interpretacji przestrzennych badanego zjawiska, np. przestrzennych korelacji zasięgu eksploatacji, lokalizacji linii niwelacyjnych i obliczonych obniżień terenu. Wybrany przykład modelu powierzchni terenu, infrastruktury podziemnej pokładów węgla eksploatowanych w ostatnich latach działalności oraz lokalizacji reperów linii wysokościowej przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Przykład trójwymiarowej wizualizacji kopalni „Victoria” na tle cyfrowego modelu powierzchni terenu

Fig. 3. An example 3D visualisation of the “Victoria” mine and digital surface model

4.2. PLANOWANE BADANIA

Prace ukierunkowane są na określenie charakteru osiadań dla całego obszaru zagłębia węglowego i opracowanie modeli tego zjawiska ze szczególnym uwzględnieniem schyłkowego okresu eksploatacji oraz od momentu jej zakończeniu. Metody numeryczne posłużą do opracowania modeli deformacji, prognozowania zmian powierzchni terenu i identyfikacji obszarów stabilnych i niestabilnych. Rezultaty są w czytelny sposób przedstawiane na mapach cyfrowych i interaktywnych prezentacjach. Rezultaty analiz mogą być weryfikowane o wyniki pomiarów satelitarnych GPS i satelitarnej interferometrii radarowej. W tym celu baza danych GIS będzie rozbudowana o ortofotomapy dawnych terenów górniczych oraz sceny satelitarne (radarogramy) z misji satelitów Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA). Pierwsze zawierają najbardziej aktualną informację o stanie zagospodarowania tych obszarów (początek XXI wieku). Drugie służą do opracowania interferogramów (poprzez nałożenie dwóch kolejno wykonanych scen) na podstawie, których określa się deformacje powierzchni między analizowanymi obrazowaniami (kolejnymi okresami). Archiwum ESA gromadzi materiały od początku lat 90. Dodatkowo, w odróżnieniu od dyskretnych pomiarów geodezyjnych (punkty), obrazy takie dają czytelną informację o charakterze deformacji powierzchni całego zagłębia węglowego. Metodę prowadzenia

badan deformacji z zastosowaniem satelitarnej interferometrii radarowej i GIS opisali Blachowski i Milczarek [6]. Opracowany system GIS jest najwłaściwszym narzędziem do przetwarzania, analiz i interpretacji w powiązaniu z danymi dot. eksploatacji, geologii czy zagospodarowania.

5. PODSUMOWANIE

W ramach badań deformacji powierzchni terenów górniczych dawnych Wałbrzyskich Kopalń Węgla Kamiennego podjęto budowę kompleksowego systemu informacji geograficznej gromadzącego możliwe do pozyskania i istotne dla efektywności i wiarygodności prowadzenia tych prac materiały. Opracowano strukturę logiczną i fizyczną przestrzennej i atrybutowej, cyfrowej bazy danych. Stanowi ona podstawę efektywnego zarządzania danymi używanymi w pracach badawczych. Zgromadzono i przekonwertowano do jednolitego układu archiwalne materiały dla terenów kopalń „Victoria” i „Thorez”. Prace te są kontynuowane dla dalszych części WKWK.

System geoinformacyjny został użyty w analizach i interpretacjach przemieszczeń wybranych fragmentów WKWK na podstawie rezultatów geodezyjnych pomiarów niwelacyjnych wykonanych w latach 80 i 90 XX wieku. System zastosowano do opracowania projektu sieci punktów do prowadzenia kontrolnych obserwacji stanu powierzchni z użyciem pomiarów satelitarnych GPS oraz budowy przestrzennych modeli powierzchni terenu i kopalń podziemnych.

Realizowana rozbudowa systemu o pozostałe części WKWK oraz pozyskania satelitarnych obrazów radarometrycznych (SAR) da podstawę do analiz deformacji całego obszaru WZW w schyłkowym okresie eksploatacji oraz po jej zakończeniu i wyznaczenie stref stabilnych i obszarów osiadań.

Przedstawione prace stanowią przykład metodyki badań deformacji powierzchni całości terenów górniczych z zastosowaniem nowoczesnych narzędzi pozyskiwania, przetwarzania i modelowania danych przestrzennych.

Opracowanie i wykorzystanie systemów geoinformacyjnych GIS w takich pracach prowadzi do zwiększenia efektywności i dokładności prowadzonych analiz oraz wspomaga interpretacje ich rezultatów.

LITERATURA

- [1] BOOTH B., *Using ArcGIS 3D Analyst*, Environmental Systems research Institute Inc. – ESRI, 2000.
- [2] BOOTH B., SHANER J., MACDONALD A., SANCHEZ P., PFAFF R., *ArcGIS 9 – Geodatabase Workbook*, ESRI Inc., 2004.
- [3] BLACHOWSKI J., *System geoinformacyjny w badaniach deformacji powierzchni górotworu dawnych terenów górniczych Wałbrzycha*, Raporty Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Seria SPR, nr 13, Wrocław, 2007.
- [4] BLACHOWSKI J., CACÓN S., GRZEMPOWSKI P., *Project of ground surface deformation stu-*

- dies in the former underground coal mining region of Walbrzych (DZW)*, 6, w: Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie, Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Sroka A., Wittenburg R. (red), 2005, 313–320.
- [5] BLACHOWSKI J., CACON S., MILCZAREK W., *The influence of mining in complicated geological conditions on surface of the ground*, Mat. 13th International Congress of the International Society for Mine Surveying, 24 – 28 September 2007, Budapest, 2007.
- [6] BLACHOWSKI J., MILCZAREK W., *Możliwości zastosowania satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR) w badaniach deformacji powierzchni dawnych terenów górniczych Walbrzyskiego Zagłębia Węglowego (WZW)*, Prace Naukowe Instytutu Górniczo Politechniki Wrocławskiej nr 120, Seria 49 Konferencje, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007, 59–71.
- [7] CACON S., BLACHOWSKI J., *Monitoring of ground surface changes following the end of mining with satellite GPS technique*, Mat. International Global Navigation Satellite Systems Society Symposium, Surfers Paradise, Australia, 17 – 21 July 2006, 2006.
@ [http://www.ignss.org/conf2006/review/CACON,%20Stefan%20\(24\).pdf](http://www.ignss.org/conf2006/review/CACON,%20Stefan%20(24).pdf)
- [8] CACON S., BLACHOWSKI J., MILCZAREK W., *Analiza zmian powierzchni niejednorodnego górotworu w warunkach podziemnej eksploatacji górniczej*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Nr 1752, GÓRNICZTWO, Zeszyt 278, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2007, 81–90.
- [9] DJAMALUDDIN I., ESAKI T., MITANI Y., IKEMI H., *Development of GIS-based analytical method for predicting mining subsidence*, Mat. ESRI International User Conference, July 25–29, 2005, San Diego, 2005.
- [10] FISZER J., *Dolnośląskie Zagłębie Węglowe*, w: Hydrogeologia polskich złóż kopalin i problemy wodne górnictwa, Tom 1, WILK Z. (red.), Uczel. Wydaw. Nauk.–Dydakt. AGH, Kraków, 2003, 338–392.
- [11] GE L., CHENG E., LI X., RIZOS CH., *Quantitative Subsidence Monitoring: The Integrated InSAR, GPS and GIS Approach*, Mat. 6th International Symposium on Satellite Navigation Technology Including Mobile Positioning & Location Services, Melbourne, 22–25 July 2003.
- [12] GRZYBEK I., GOGOLEWSKA A., *Spatial and depth distribution of methane and carbon dioxide contents in the selected areas of the Walbrzych Coal District*, w: *Gas hazard in the near-surface zone of the Walbrzych Coal District caused by coal mine closure: geological and geochemical controls*, Kotarba M. (red.), Wydawnictwo Towarzystwa Badania Przemian Środowiska „Geosfera”, Kraków, 2002, 53–68.
- [13] JĘDRZEJEC E., KOMINOWSKI K., KOWALSKI A., WINNICKI A., *Zagrożenia powierzchni spowodowane dokonaną działalnością górniczą i likwidacją kopalń*, w: Kowalski A., (red.) *Eksploatacja górnicza a ochrona powierzchni. Doświadczenia z walbrzyskich kopalń*, Główny Instytut Górniczo, Katowice, 2000, 343–366.
- [14] KŁYŻ J., *Zagospodarowanie powierzchni*, w: Kowalski A., (red.) *Eksploatacja górnicza a ochrona powierzchni. Doświadczenia z walbrzyskich kopalń*, Główny Instytut Górniczo, Katowice, 2000, 22–32.
- [15] PIĄTEK E., PIĄTEK Z., *Zarys dziejów dolnośląskiego górnictwa węglowego 1434–2000*, Szczawno Zdrój, 2002, @ <http://www.boehm-chronik.com/bergbau/gorn1434-2000.pdf>.
- [16] PLAYER R., *Geographic Information System (GIS) as a Tool in Identifying, Documenting, and Investigating Abandoned Underground Mines*, Mat. 4th Biennial Interstate Technical Group on Abandoned Underground Mines, Davenport, May 1–3, 2002.
- [17] RIZOS CH., GE L., CHANG H.-CH., NESBITT A., *The Integration of GPS, Satellite Radar Interferometry, and GIS Technologies for Ground Subsidence Monitoring*, The University of New South Wales, Sydney, 2006, @ <http://www.gmat.unsw.edu.au>.

GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM OF THE WALBRZYCH UNDERGROUND COAL
MINES A WAY TO IMPROVE EFFECTIVENESS AND ACCURACY OF MINING GROUNDS
DEFORMATION STUDIES

Deformation studies of mining grounds involve gathering and managing large and diversified data sets. Most of such data sets have specified spatial reference. Therefore, managing and processing of such data for analyses can be streamlined through the use of Geographical Information Systems (GIS). In this paper structure of geographical database and attributive information developed for deformation studies of abandoned Walbrzych Hard Coal Mines mining grounds (geodatabase) have been presented. Basing on selected examples useful functions and applications of geoinformation system developed for supporting ground deformation studies and visualizing and interpreting their results have been demonstrated.