

# Osiadanie powierzchni terenu pod wpływem eksploatacji węgla kamiennego na przykładzie rejonu miasta Knuruwa

Tomasz Wojciechowski\*



**Subsidence of the terrain surface due to hard coal underground exploitation, exemplified by the area of Knurów town.** Prz. Geol., 55: 589–594.

*S u m m a r y.* The strong terrain surface changes in Knurów town, Upper Silesian Coal Basin, are caused by underground exploitation of hard coal. Based on Digital Terrain Models (DEM), constructed from archival and modern topographic maps, the 18 metres of lowering due to subsidence and 25 m of relative uplift have been recorded. The relative uplift was observed at recent mine-waste storages and was identified as the effect of waste dumping. The map of surface changes was compared with geological maps and maps of underground mining to explain the spatial distribution of subsidence. The presented analysis shows the effectiveness of the applied GIS approach to evaluate the anthropogenic impact on the terrain surface. SAR interferometry plays a very important role as an independent tool, which allows to effectively map the recent ground movements.

**Key words:** Digital Elevation Model, Geographic Information System, cartography, mining deformations, SAR interferometry

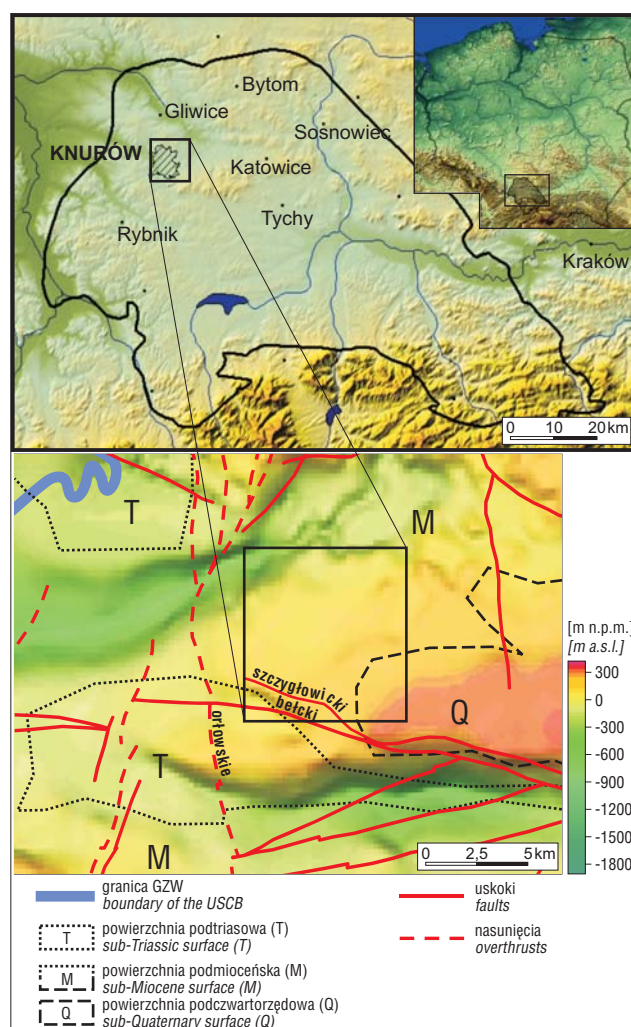
Badania deformacji powierzchni terenu górniczego przeprowadzono na obszarze miasta Knuruwa i okolic o łącznej powierzchni 84,6 km<sup>2</sup>, leżącego w zachodniej części Górnosląskiego Zagłębia Węglowego (ryc. 1). Historia rozwoju miasta jest związana ze złożami węgla kamiennego, którego występowanie stwierdzono w 1880 r. Eksploatację rozpoczęto w 1903 r. w północnej części obecnego Knuruwa. W części południowej wydobywcie węgla rozpoczęto w 1961 r. (Wojciechowski, 2005).

W ponad stuletnim okresie wydobywania węgla kamiennego morfologia terenów górniczych znacznie się zmieniła. Prowadzenie eksploatacji z zawalem stropu pod obszarem miasta, na głębokości od 200 m do 850 m, spowodowało deformacje powierzchni terenu w postaci progów i zapadlisk. Osiadania terenu powstałe w wyniku eksploatacji górniczej doprowadziły do destrukcji powierzchniowych obiektów budowlanych, zmian hydrologicznych i hydrogeologicznych. Ich objawem są naruszenia konstrukcji budowlanych, częste podtopienia oraz antropogeniczne, powierzchniowe zbiorniki wodne. W części budynków szkody górnicze da się naprawić, a podtopienia i zbiorniki wodne często są zasypywane płonnym materiałem mineralnym pochodzącym z procesu eksploatacji węgla.

W celu określenia wielkości zmian powierzchniowych przeprowadzono analizę porównawczą map topograficznych. Brano pod uwagę wartości ujemne, pokazujące wielkość obniżonej powierzchni terenu, oraz wartości dodatnie, które są związane przede wszystkim ze składowaniem skał płonnych, z nasypami drogowymi i kolejowymi oraz obwałowaniem rzeki Bierawki. Za powierzchnię odniesienia wybrano niezmienną przez eksploatację górniczą powierzchnię terenu, zachowaną na archiwalnych mapach topograficznych z roku 1936.

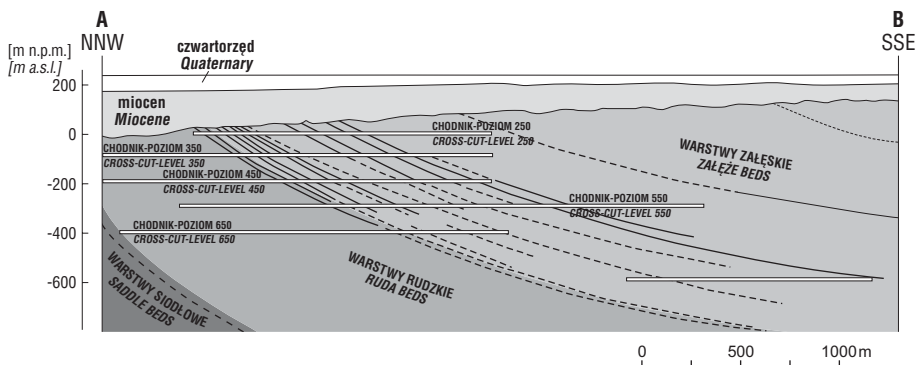
## Charakterystyka obszaru badań

Powierzchnia terenu Knuruwa leży na wysokości 215–305 m n.p.m. i charakteryzuje się niską, falistą rzeźbą



**Ryc. 1.** Lokalizacja obszaru badań na tle GZW. Poniżej — mapa powierzchni stropu karbonu GZW wg Jury (2001, zmodyfikowana)  
**Fig. 1.** Location of the study area against the background of the USC. Top of the Carboniferous in the USC after Jura (2001, modified)

\*Katedra Geologii Podstawowej, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; twojcie@wnoz.us.edu.pl



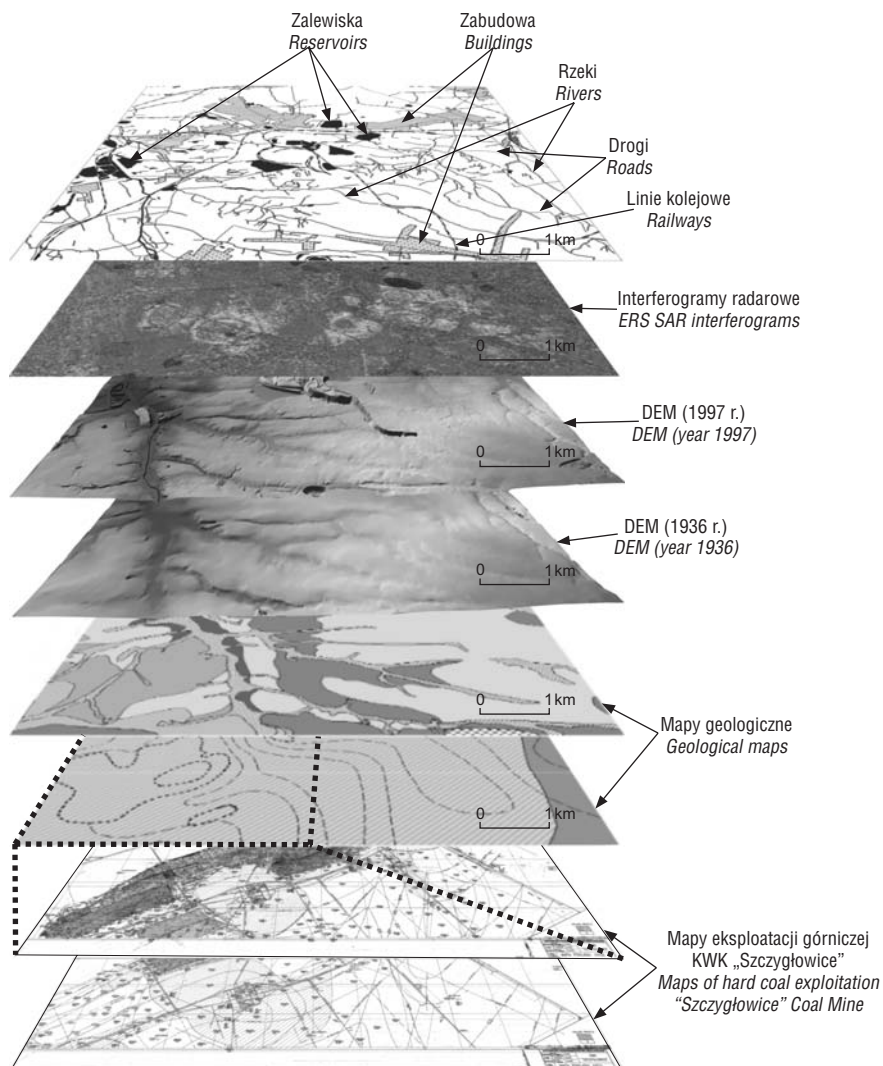
Ryc. 2. Przekrój geologiczny A-B (lokalizacja przekroju na rycinie 4) wg Perskiego i Jury (2000)  
 Fig. 2. Geological cross-section A-B (location of the cross-section is shown in Fig. 4) after Perski & Jura, 2000

z pagórkami o spłaszczonych wierzchołkach i rozdzielającymi je kotlinowatymi obniżeniami wciętymi 15–25 m. Obszar odwadniany jest przez Bierawkę, która jest prawobrzeżnym dopływem Odry. Osiadanie terenu wywołało w wielu miejscach miasta kilkumetrowe depresje względem sieci rzecznej. Podczas powodzi w 1997 r. obszary te zostały wypełnione wodą. Bezodpływowe zagłębienia przez ciągłe przekształcenia powierzchni terenu wywołane działalnością górniczą zmieniają swój kształt, wielkość i położenie i są jednym ze wskaźników najlepiej dokumentujących obniżanie terenu.

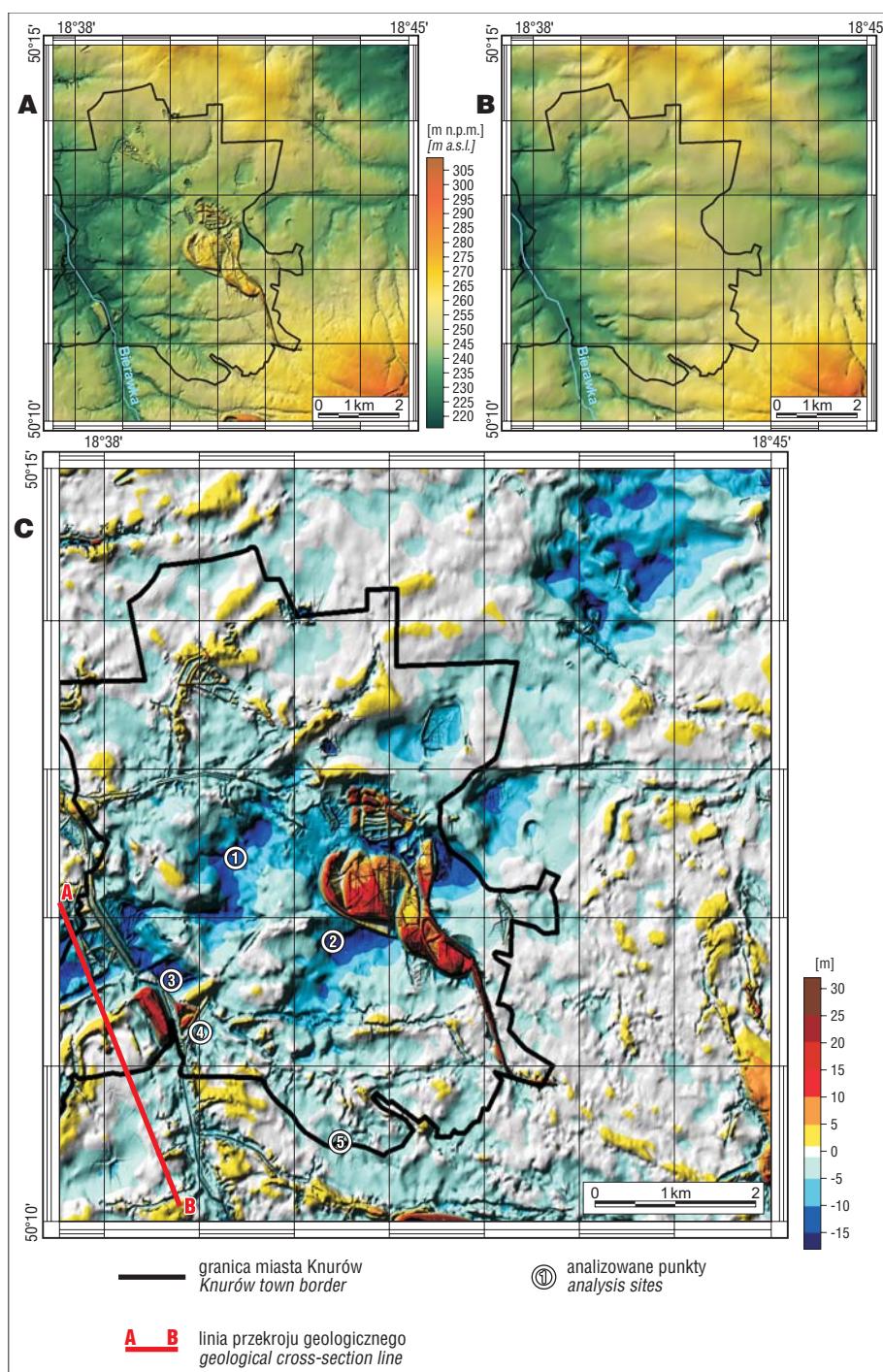
Eksploatacja węgla jest prowadzona w warstwach siodłowych (namur B), rudzkich (namur C i westfal A),

oraz załęskich (westfal B). Miąższość warstw siodłowych zbudowanych z gruboławicowych piaskowców, wśród których występują pokłady węgla kamiennego oraz gruboklastyczne mułowce i iłowce, szacuje się na 320 m. Na nich leżą warstwy rudzkie reprezentowane głównie przez piaskowce z wkładkami ilasto-mułowcowymi zawierającymi pokłady węgla. Ich miąższość może sięgać 800 m. Warstwy załęskie są zbudowane z mułowców i iłowców z licznymi pokładami węgla, wśród których sporadycznie występują ławice piaskowców drobnoziarnistych.

Utwory karbonu tworzą asymetryczną synklinę fałdu knurowskiego o biegu południkowym (ryc. 2), zlokalizowanego na wschód od nasunięcia orłowskiego i są pocięte



Ryc. 3. Schemat bazy danych GIS obszaru badań  
 Fig. 3. Scheme of the GIS database of the study area



Ryc. 4. A — DEM obszaru Knurowa w 1936 r.; B — DEM obszaru Knurowa w 1997 r.; C — obraz zmian powierzchni terenu Knurowa (A-B=C)

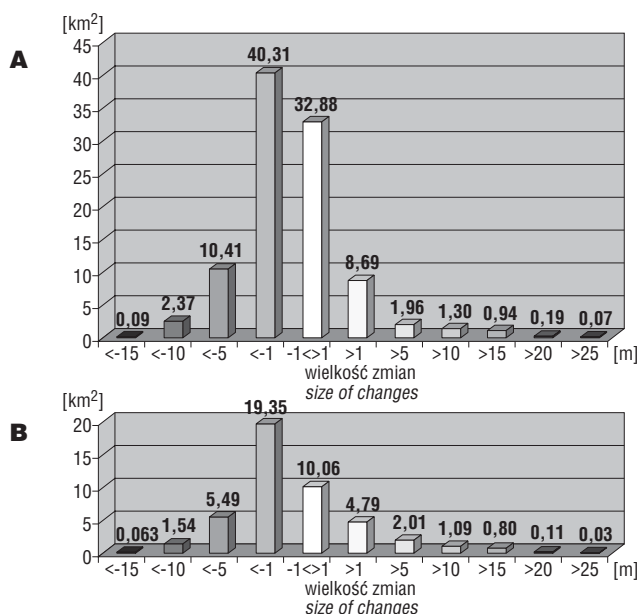
Fig. 4. A — DEM of the area of Knurów town (in 1936); B — DEM of the area of Knurów town (in 1997); C — image of changes on the surface terrain, Knurów town (A-B=C)

licznymi uskokami równoleżnikowymi, o zrzucie od 5 do 50 m. Największe z nich to uskoki bełcki i szczygłowski (ryc. 1), które mają zrzucone skrzydła południowe (Buła & Kotas, red., 1994; Jureczka i in., 2005).

W nadkładzie karbonu występuje trias, miocen i osady czwartorzędowe. Piaskowce triasu występują w południowej części opisywanego obszaru, a ich miąższość osiąga 50 m. Bezpośrednio na triasie i karbonie występują iły miocenijskie badenu i sarmatu o łącznej miąższości do 200 m, wśród których występują wapienie, margle, łupki ilaste z wkładkami gipsu i iły, niekiedy piaszczyste lub margliste.

Osady plejstocenu stanowią pokrywę miąższość 30 m. Są to przede wszystkim gliny zwałowe, z których są zbudowane wysoczyzny, oraz piaski aluwialne (Haisig, 2003; Lewandowski, 2003).

Na terenie miasta są wyznaczone obszary górnicze KWK *Knurów* i KWK *Szczygłowice*, a poza granicami Knurowa — KWK *Sośnica*, KWK *Budryk* oraz KWK *Dębieńsko*. Analizę zmian rzeźby ograniczono do południowej części miasta – dzielnicy *Szczygłowice* – gdzie węgiel jest wydobywany z 29 pokładów, w ilości 12 600 ton/dobę.



**Ryc. 5.** Diagramy, na których pokazano wielkości zmian powierzchni terenu; A — na obszarze badań; B — w Knurowie  
**Fig. 5.** Diagrams showing the sizes of changes on the surface terrain; A — in the study area; B — in Knurów town

### Metodyka badań

W pierwszym etapie badań utworzono bazę danych GIS obszaru Knuruwa (ryc. 3), umożliwiającą selektywne wybieranie elementów pochodzących z różnych źródeł, w celu komponowania map o dowolnej konfiguracji treści oraz przeprowadzenia różnego rodzaju obliczeń i analiz.

Podstawą bazy danych stały się informacje o ukształtowaniu powierzchni terenu przed eksploatacją oraz dzisiejszym. Najstarszymi mapami topograficznymi, które wybrano do GIS, są arkusze typu Messtischblätter w skali 1 : 25 000 wydane w 1936 r. Są to najstarsze mapy topograficzne, jakie udało się pozyskać, dlatego przedstawioną na tych mapach powierzchnię terenu przyjęto za powierzchnię odzwierciedlającą stan wyjściowy. Dzisiejszy obszar Knuruwa obejmują cztery arkusze: Kieferstädtel, Gleiwitz, Golleow i Orzesche. Aby porównać zmiany, jakie zaszły na powierzchni terenu pod wpływem eksploatacji górniczej, i ukazać ich wielkość, wykorzystano *Mapę topograficzną Polski w skali 1 : 10 000* z 1997 r., na której miasto zobrażone jest na czterech arkuszach (Knurów, Gierałtówice, Knurów-Szczygłowice i Dębieńsko).

W skład bazy danych weszły również zdigitalizowana *Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1 : 50 000* (Arkusz Gliwice) oraz *Mapa sozologiczna* i *Mapa hydrograficzna*. Jeden z ważniejszych zbiorów utworzonych na potrzeby badań zawiera dane górnicze z 29 map pokładów eksploatowanych przez KWK *Szczygłowice*. Dodatkowe dane uzyskano, stosując satelitarną interferometrię radarową InSAR do lokalizacji tworzących się niecek osiadania (Perski & Jura, 2000).

Dane topograficzne na mapie archiwalnej i współczesnej zostały zwektoryzowane w programie Digger 3, dzięki temu uzyskano dane o współrzędnych prostokątnych 46 692 punktów z map archiwalnych i 338 427 punktów z map współczesnych. Dane te pozwoliły na stworzenie

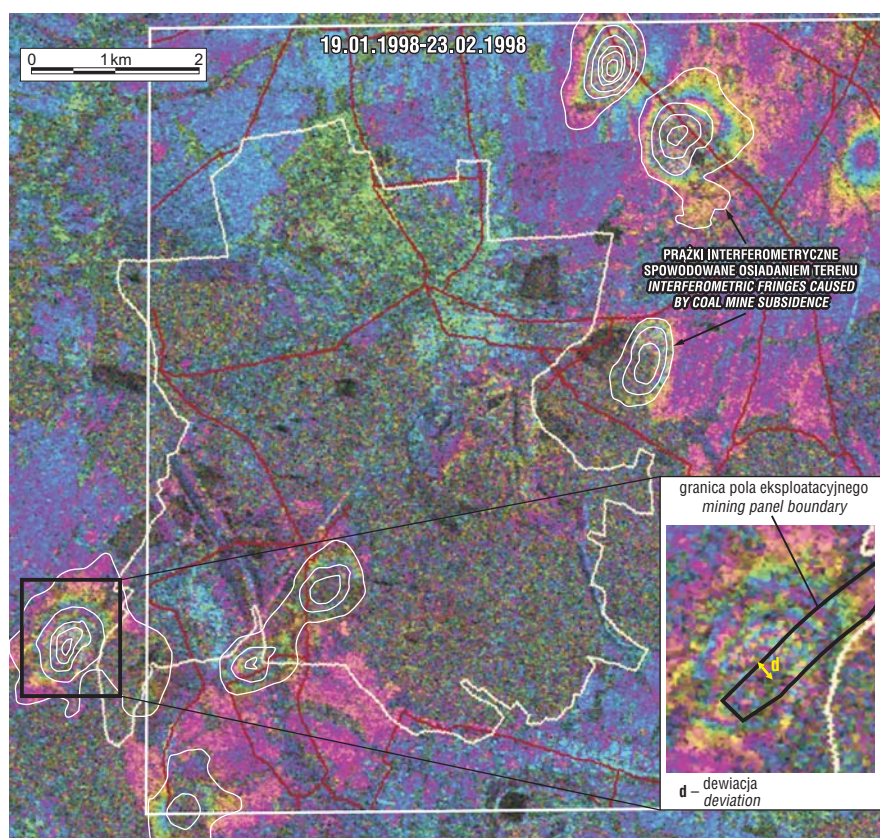
modeli topograficznych oraz na przeliczenie różnic wysokościowych pomiędzy obiema powierzchniami (ryc. 4) w programie Surfer 8.

### Ilościowy obraz zmian powierzchni terenu

Numeryczne modele rzeźby terenu (DEM) przedstawiają sytuację wysokościową jednego obszaru w latach 1997 (ryc. 4A) i 1936 (ryc. 4B). W obu modelach zastosowano dokładnie tę samą siatkę pikseli (*grid*) złożoną z 2000 kolumn i 1340 rzędów, dzięki temu było możliwe obliczenie różnic wysokościowych zawartych w odpowiadających sobie oczkach siatki. Uzyskano obraz zmian powierzchni terenu (ryc. 4C) na obszarze badań w ciągu 61 lat eksploatacji węgla kamiennego.

Ilościowy obraz zmian powierzchni terenu (ryc. 4C) jest obarczony błędami wynikającymi z różnych czynników. Błędy te są jednak trudne do określenia i zależą od wiarygodności danych, na podstawie których wygenerowano modele DEM. Cięcie poziomicowe na mapach topograficznych z lat 1936 i 1997 wynosi 1,25 m i określa dokładność pionową. Tolerancja błędu wielkości poziomych wynosi 4,6 m i wynika z podziału modeli na 2000 kolumn i 1340 rzędów. Porównanie ze sobą DEM (ryc. 4A, B) wykazało trudne do wyjaśnienia zmiany powierzchni terenu. W południowo-wschodniej i północnej części obrazu (ryc. 4C) są widoczne obszary wyniesione ok. 2–4 m w stosunku do pierwotnej powierzchni. Jest to mało prawdopodobne, gdyż na obszarach tych nie prowadzono działalności zmierzającej do podniesienia powierzchni terenu. Zmiany te można wyjaśnić przeobrażeniami budowlanymi, a raczej tłumaczyć różną jakością, dokładnością i generalizacją map topograficznych, wynikającą z różnej skali porównywanych map. Ponadto wpływ na błąd obrazu zmian mogą mieć różne układy odniesienia wysokościowego opisywanych map (archiwalne — Amsterdam, współczesne — Kronsztadt), jednakże milimetrowe różnice poziomów morza w porównaniu z wyżej wymienionymi czynnikami mają znikomą wpływ na dokładność obrazu. Również nie bez znaczenia jest fakt, że archiwalne mapy zostały rejestrowane wg punktów charakterystycznych, a nie jak w przypadku map z 1997 r. wg siatki współrzędnych geograficznych. Jeżeli weźmie się pod uwagę wszystkie czynniki wpływające na dokładność danych, zmieni się szacunkowa granica błędu na omawianym obrazie, która z 1,25 m wzrasta do 2 m, a w niektórych przypadkach do 4 m.

Z ilościowego obrazu zmian przedstawionego na rycinach 4C i 5 wynika, że obszar o powierzchni 40,3 km<sup>2</sup> został obniżony przynajmniej o 1 m, co stanowi 48,9% powierzchni obszaru badań. Obniżenia są rozmieszczone równomiernie w zachodniej i centralnej części mapy, a nieregularnie w części wschodniej (ryc. 4C). Największe obniżenie terenu jest widoczne w granicach Knuruwa i stanowi 56,6% obszaru miasta. Tereny, których rzędna powierzchni zmniejszyła się więcej niż 5 m, występują przede wszystkim w centralnej części miasta oraz na północno-wschodnim skraju mapy — łącznie zajmują 10,4 km<sup>2</sup> (ryc. 4C, 5). Największe, 18-metrowe osiadanie stwierdzono w dwóch miejscach: w dzielnicy Szczygłowice, gdzie zostało zalane jedno z osiedli mieszkaniowych, oraz we wschodniej części miasta, koło składowiska odpadów górniczych kopalni *Knurów*.



**Ryc. 6.** 35-dniowy interferogram ERS SAR obszaru Knurowa. W dolnym rogu porównanie fragmentu interferogramu z zasięgiem eksploатовanego pokładu

**Fig. 6.** The 35-day ERS SAR interferograms from Knurów. Comparison of part of interferogram with the range of layer under exploitation is shown in the lower corner

W badaniach obliczono kubaturę zmian terenu. Wartość osiadania powierzchni wynosi  $0,162 \text{ km}^3$ , nadsypany materiał skalny na powierzchnię pierwotną obejmuje zaś  $0,043 \text{ km}^3$ . Zsumowana kubatura zmian powierzchni terenu w czasie 61 lat (pomiędzy datami wydania porównywanych map topograficznych) zmieniła się o  $0,205 \text{ km}^3$ , a zmiany te objęły obszar  $66,24 \text{ km}^2$ . Wyliczone wartości nie we wszystkich miejscach odpowiadają faktycznej wielkości zmian. Kopalnie kierują składowaniem odpadów na hałdach tak, by zasypywały zalewiska wypełniające niecki osiadania i zapadliska. Powoduje to zatarcie w topografii powstałych obniżen na rzecz składowisk. Składowiska zaś nie stanowią rzeczywistego nasypu względem pierwotnej powierzchni terenu, ponieważ są obniżone. Wartości ujemne i dodatnie często nachodzą na siebie. Wynika z tego, że ilościowy obraz zmian powierzchni terenu rejestruje końcowe stadium przekształceń powierzchniowych, nie uwzględnia jednak ich przebiegu. Takie sytuacje są obserwowane m.in. w centralnej części obszaru badań wokół hałd.

Zmiany powstałe na powierzchni terenu są ściśle związane z eksploatacją górniczą. Duża liczba eksploатовanych pokładów i długi czas ich wydobywania sprawiły, że skały zmieniły właściwości. Materiał skalny stał się coraz bardziej osłabiony, skutkiem czego przebieg pro-

ców deformacyjnych był gwałtowniejszy. Niecki osiadania zaczęły powstawać w jednym miejscu kilka razy, było to uwarunkowane miąższością eksploатовanych pokładów w danym miejscu. W rezultacie obniżenia składają się z kilku generacji struktur bardzo trudnych do identyfikacji bez śledzenia ich przebiegu.

Aby określić związek geologii i eksploatacji górniczej z powstałymi deformacjami, przeprowadzono analizę porównawczą pięciu wybranych miejsc pokazanych na ilościowym obrazie osiadania, w których było możliwe uzy-

**Tab. 1. Punktowa analiza porównawcza osiadania z warunkami górniczymi i geologicznymi**

Table. 1. Punctual comparative analysis of subsidence and mining and geological conditions

		<b>Punkt 1</b>	<b>Punkt 2</b>	<b>Punkt 3</b>	<b>Punkt 4</b>	<b>Punkt 5</b>
		<i>Point 1</i>	<i>Point 2</i>	<i>Point 3</i>	<i>Point 4</i>	<i>Point 5</i>
<b>1</b>	Wielkość osiadania (m) <i>Size of subsidence (m)</i>	12	10	18	6	4
<b>2</b>	Suma miąższości wyeksploatowanych pokładów (m) <i>Summarised thickness of extracted layers (m)</i>	16,69	14,7	25,6	7,59	6,13
Miąższość nadkładu (m): <i>Overburden thickness (m):</i>						
<b>3</b>	neogen <i>Neogene</i>	160	180	120	110	130
	plejstocen <i>Pleistocene</i>	14	10	22	30	40
<b>4</b>	Współczynnik osiadania (1/2) <i>Subsidence coefficient (1/2)</i>	0,72	0,68	0,70	0,79	0,65

skanie największej ilości danych (ryc. 4C). W każdym punkcie obliczono sumaryczną miąższość wybieranych pokładów, uwzględniając nachylenie warstw oraz miąższość nadkładu, a wyniki przedstawiono w tabeli (tab. 1). Granica błędu spowodowana trudnością w interpretowaniu map eksploatowanych pokładów może wynosić kilka procent. Wyniki zawarte w tabeli pokazują, że w silnie zdeformowanym górotworze wpływ litologii nie jest widoczny. Próbowano znaleźć związek wielkości osiadania z różnicą w miąższości osadów karbonu, neogenu oraz z różnorodnością osadów plejstocenu, jednakże nie zaobserwowano ich wpływu na deformowanie powierzchni terenu. Można stwierdzić, że istotny wpływ na wielkość osiadania ma przede wszystkim sumaryczna miąższość wybranych pokładów (tab. 1), której stosunek do osiadania waha się w granicach 0,68–0,79. Wielkość obniżenia stanowi średnio 75% sumarycznej miąższości eksploatowanych pokładów.

Zastosowanie satelitarnej interferometrii radarowej do pomiaru zasięgu tworzących się obniżzeń pozwoliło wykazać wpływ nachylenia pokładów węgla na przestrzenny rozkład przyrostów osiadania (ryc. 6). Centra eliptycznych prążków wykazują przesunięcie (dewiację) w kierunku nachylenia eksploatowanych warstw (Perski, 2000a, b; Wojciechowski, 2006). Na interferogramie wygenerowanym z danych radarowych ERS-2 SAR z 19.01.1998 r. i 23.02.1998 r. porównanym z mapami eksploatowanych pokładów jest widoczne przesunięcie osiągające 60 m (+/- 40 m) w kierunku upadu, gdy pokład leżący na głębokości 550 m jest pochylony pod kątem 5°. Osiedlenia widoczne na ilościowym obrazie zmian powierzchni terenu nie zostały zatem wywołane eksploatacją pokładów 352, 360, 364, 401, 403, 404, 405, 406. Ponieważ przeważająca większość pokładów węgla jest pochylona, obniżenia powierzchni terenu są poziomo przesunięte w stosunku do eksploatowanych pokładów (Greń & Popiołek, 1990; Chudek, 2002).

### Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono wielkości zmian powierzchni terenu, jakie zaszły od 1936 r., przede wszystkim pod wpływem eksploatacji górniczej pod obszarem Knuruwa i okolicy. Zmiany te obejmują powierzchnię 66,24 km<sup>2</sup>, co stanowi 78,3% obszaru badań. Obniżenie terenu sięgnęło w niektórych miejscach 18 m i spowodowało zmiany hydrologiczne prowadzące do powstawania zalewisk wypełniających niecki osiadania. Odpady górnicze usypywane na hałdach osiągnęły wysokość 25 m względem powierzchni zobrazowanej na archiwalnych mapach topograficznych. Ponadto stwierdzono, że podstawowymi czynnikami wpływającymi na przekształcenia powierzchni terenu są uwarunkowania górnicze. Najistotniejsza jest sumaryczna miąższość eksploatowanych pokładów, których stosunek do osiadania waha się w granicach 0,68–0,79, a wielkość obniżenia stanowi średnio 75% miąższości eksploatowanych pokładów.

Zastosowanie satelitarnej interferometrii radarowej InSAR do pomiaru zasięgu tworzących się niecek pozwoliło zaobserwować wpływ nachylenia pokładów węgla na przestrzenny rozkład przyrostów osiadania.

Przedstawione rezultaty badań opracowano metodami GIS. Czasochłonne gromadzenie danych oraz ich wektoryzacja procentuje wieloma możliwościami prowadzenia badań nad antropogenicznymi zmianami powierzchni terenu. Utworzona baza danych dała podstawę do przeprowadzenia dokładnych obliczeń oraz pozwoliła na różnorodność wizualizacji wyników.

### Literatura

- BUŁA Z. & KOTAS A. (red.) 1994 — Atlas geologiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego część III. Mapy geologiczno-strukturalne 1:100 000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- CHUDEK M. 2002 — Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice: 311–317.
- GREŃ K. & POPIOŁEK E. 1990 — Wpływ eksploatacji górniczej na powierzchnię i górotwór. Skrypt uczelniany nr 1179, Wyd. AGH, Kraków: 143–148.
- HAISIG J. 2003 — Budowa geologiczna i rzeźba powierzchni podczwartorzędowej Kotliny Raciborsko-Oświęcimskiej. [W:] Haisig J. & Lewandowski J. (red.). Plejstocen Kotliny Raciborsko-Oświęcimskiej na tle struktur morfotektonicznych podłoża czwartorzędowego, X Konferencja „Stratygrafia Plejstocenu Polski”, Rudy 1–5.09.2003. Sosnowiec: 11–15.
- JURA D. 2001 — Morfotektonika i ewolucja różnowiekowej niezgodności w stropie utworów karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wyd. UŚI, Katowice: 95–114.
- JURECZKA J., DOPITA M., GAŁKA M., KRIEGER W., KWARCINŃSKI J. & MARTINEM P. 2005 — Atlas geologiczno-złożowy polskiej i czeskiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- LEWANDOWSKI J. 2003 — Plejstocen glacialny Kotliny Raciborsko-Oświęcimskiej i obszarów sąsiednich. [W:] Haisig J. & Lewandowski J. (red.). Plejstocen Kotliny Raciborsko-Oświęcimskiej na tle struktur morfotektonicznych podłoża czwartorzędowego, X Konferencja „Stratygrafia Plejstocenu Polski”, Rudy 1–5.09.2003. Sosnowiec: 16–28.
- PERSKI Z. 2000a — Zastosowanie satelitarnej interferometrii radarowej do określania dynamiki i zasięgu górniczych deformacji terenu na przykładzie wybranych obszarów Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. [W:] Ostaficzuk S. (red.) Z prac Katedry Geologii Podstawowej Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego. Pr. Wydz. Nauk o Ziemi UŚI, nr 8: 9–40.
- PERSKI Z. 2000b — The interpretation of ERS1 and ERS2 InSAR data for the mining subsidence monitoring in Upper Silesian Coal Basin, Poland. IAPRS, vol. 33, Amsterdam.
- PERSKI Z. & JURA D. 2000 — Mining subsidence in the “Szczygłowice” coal mine and its interpretation by ERS SAR interferometry. [In:] 4th European Coal Conference Ustroń, Poland, September 26–28 2000. Guide to Field Trips. Pre-conference field trip: Conditions of hard coal exploitation and its environmental impact in the western part of Upper Silesian Coal Basin. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa: 33–39.
- WOJCIECHOWSKI T. 2005 — The dynamics of mining subsidence in Knuruw Area in Poland derived from SAR Interferometry and Topographic Data. Fringe 2005 Workshop, ESA ESRIN 28 November – 2 December 2005, Frascati, Italy.
- WOJCIECHOWSKI T. 2006 — Zastosowanie satelitarnej interferometrii radarowej InSAR w pomiarach deformacji powierzchni terenu na obszarach górniczych. Pr. Nauk. Inst. Gór. PWR, nr 116, seria 47: 191–198.

Praca wpłynęła do redakcji 15.02.2006 r.  
Akceptowano do druku 13.04.2007 r.