

**Izabela SKRZYPCZAK**  
**Dawid ZIENTEK**  
Politechnika Rzeszowska

## **OCENA DEFORMACJI POWIERZCHNI TERENÓW GÓRNICZYCH ZA POMOCĄ MIERNIKA SYNTETYCZNEGO**

W artykule przedstawiono koncepcję bazy danych przestrzennych umożliwiającą zwiększenie efektywności i wiarygodności badań deformacji powierzchni terenów górniczych na przykładzie kopalni PIAST. Badania deformacji terenów górniczych wiążą się z gromadzeniem i opracowywaniem różnorodnych zbiorów danych, z których większość posiada odniesienie przestrzenne. Celem artykułu jest konstrukcja systemu informacji przestrzennej z wykorzystaniem miernika syntetycznego, opartego na najważniejszych zmiennych charakteryzujących badania deformacji powierzchni na terenach górniczych. Aby zbudować miernik syntetyczny, surowe dane poddawane były unitaryzacji oraz przekształceniu w stymulanty (w przypadku zmiennych będących destymulantami). Wszystkim zmiennym zostały przyporządkowane wagi w celu uwzględnienia ich różnych znaczeń w ocenie deformacji powierzchni. Ostatecznie otrzymuje się klasyfikację obszarów KWK PIAST, w którym każdemu obszarowi kopalni przyporządkowano wartość miernika syntetycznego z przedziału od 0 do 1. Im wyższa wartość miernika, tym lepsza pozycja oceny deformacji powierzchni dla danego obszaru.

### **1. Wprowadzenie**

Eksploatacja węgla kamiennego powoduje deformacje powierzchni oraz uszkodzenia infrastruktury podziemnej i naziemnej. Badania deformacji terenu i predykcja osiadań w głównej mierze polega na analizie pomiarów geodezyjnych wykonywanych najczęściej niwelacją precyzyjną. Wykorzystując odpowiednie oprogramowanie, można prognozować dalsze zachowanie się powierzchni terenu, tj. przewidzieć skutki, jakie niesie za sobą dalsza eksploatacja górnicza. Geodezyjne obserwacje wpływu działalności górniczej na powierzchnię wykonywane są okresowo, w lokalnych, specjalnie zakładanych liniach obserwacyjnych. Teoretyczne obliczenia wielkości osiadań powierzchni spowodowanych górnictwem eksploatacją złoża węgla kamiennego można wykonać, stosując m.in. teorię Budryka–Knothego [1].

Przykładowe obliczenia osiadań wyznaczone dla obszaru Bieruń Nowy – O1 (pokład 209).

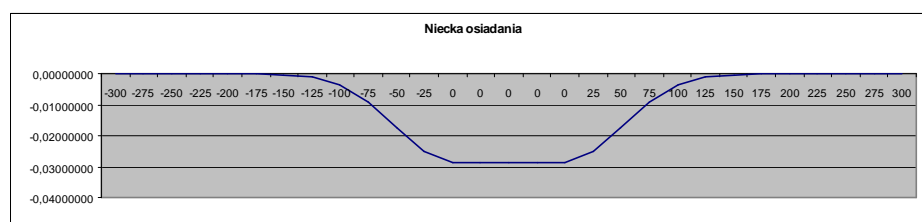
Teoria Budryka–Knothea

Grubość pokładu węgla:	$m = 5,5 \text{ m}$ ,	$w_{\max} = 3,575 \text{ m}$ ,
Głębokość eksploatacji:	$H = 500 \text{ m}$ ,	$r = 250 \text{ m}$ ,
Współczynnik osiadania:	$a = 0,65$ ,	$T_{\max} = 0,0143 \text{ m/m}$ ,
Kąt zasięgu wpływów:	$\text{tg}\beta = 2$ ,	$\varepsilon_{\max} = 0,00858 \text{ m/m}$ ,
		$K_{\max+} = 0,000087 \text{ 1/m}$ ,
	$T^2 = 0,000204$ ,	$K_{\max-} = -0,000087 \text{ 1/m}$ .

Wykres niecki osiadania sporządzono na podstawie równania (krzywej) Gaussa (rys. 1.):

$$f(x) = w_{\max} \frac{T}{\sqrt{\pi}} e^{-T^2 x^2} \quad (1)$$

Ocena deformacji powierzchni byłaby dokładniejsza i wiarygodniejsza, gdyby mogła być dokonana na podstawie nie jednego lub dwóch, ale kilku parametrów (zmiennych). Wiąże się to z koniecznością budowy systemu informacji geograficznej z kompleksową bazą danych geodezyjnych, górniczych i geologicznych wykorzystywanych w badaniach i predykcji deformacji.



Rys. 1. Niecka osiadania dla obszaru Bieruń Nowy – O1 (pokład 209)

## 2. Charakterystyka złoża KWK „Piaś” w Bieruniu

Obserwacja deformacji powierzchni nad obszarami eksploatacji w Bieruniu Starym, Bieruniu Nowym, Chełmie Śląskim i na przedpolu zbiornika Dzieńkowice jest prowadzona nieprzerwanie. Charakter deformacji zmienia się głównie w zależności od stosowanej metody wydobywania, charakterystyki pokładów węglowych (miąższość, głębokość zalegania pod powierzchnią terenu, odległość od filara ochronnego, odległość od frontu ściany), budowy geologicznej, właściwości utworów geologicznych. Złoże węgla kamiennego KWK PIAST ma charakter złoża pokładowego, z pokładami zalegającymi monoklinalnie w po-

szczególnych blokach tektonicznych. W budowie geologicznej złoża do głębokości dokumentowania (do 1000 m) biorą udział utwory czwartorzędu, trzeciorzędu, triasu i karbonu produktywnego. Grubość nadkładu jest zmienna i wynosi w rejonie Chełma Śląskiego od ok. 0,5 m do ok. 296 m. W złożu KWK PIAST występują następujące ogniwa litostratygraficzne: warstwy libiąskie, łaziskie i orzeskie. Złoże to posiada kształt łagodnej synkliny o osi nachylonej w kierunku wschodnim. Jest pocięte licznymi uskokami, wyznaczającymi naturalne granice poszczególnych bloków tektonicznych. Złoże od początku istnienia kopalni stanowią dwa poziomy eksploatacyjne:

- poziom 500 m,
- poziom 650 m.

Eksploatacja górnicza prowadzona jest systemem ścianowym z zawalem stropu. Ściany wydobywcze prowadzone są od granic złoża lub od stref większych dyslokacji tektonicznych. Eksploatacja tego typu powoduje ujawnianie się na powierzchni znacznych obniżen terenu. W związku z występowaniem licznych uskoków i dyslokacji, między które wpasowane są eksploatowane ściany, eksploatacja ma charakter wysypowy, co powoduje tworzenie się na powierzchni terenu wielu niecek obniżeniowych o maksymalnych obniżeniach sięgających do 7 m. Niecki te często mają charakter niecek bezodpływowych, co jest związane z niewielkim zróżnicowaniem rzeźby terenu. Wiąże się to z koniecznością ich odwadniania, a więc budową rowów odwadniających, przepompowni i rurociągów. W związku z deformacjami obszar górniczy KWK Bieruń należy w znacznej części do III kategorii przydatności do zabudowy, przez co kopalnia ponosi znaczne koszty z tytułu odszkodowań dla mieszkańców Bierunia za zniszczenia ich budynków [2].

### 3. Obserwacje i pomiary osiadań na terenie Bierunia Nowego

Eksploatacja pokładów węgla bezpośrednio pod Bieruniem Nowym odbywała się w pokładzie 207 (w latach 1984÷1990) oraz w pokładzie 206/1÷2 (w latach 1993÷2001). Pomiary geodezyjne i obserwacje były prowadzone na terenie Bierunia Nowego od kwietnia 1998 r. do czerwca 2004 i objęły 28 cykli niwelacyjnych. W chwili obecnej czynny front eksploatacyjny w pokładach tych znajduje się w innym miejscu obszaru górniczego, a górotwór nie ulega już tak wielkim deformacjom. Zaniechano zatem dalszych pomiarów niwelacyjnych. Średnia głębokość zalegania pokładu 206/1÷2 w rejonie Bierunia Nowego wynosi ok. 460 m, a miąższość ok. 1,8 m. Eksploatacja była prowadzona z kierunku NE do SW od stycznia 1996 r. do czerwca 2001.

Do analizy deformacji górotworu na terenie Bierunia Nowego zastabilizowano 19 reperów na budynkach wzdłuż ulicy Warszawskiej i Jagiełły. Pomiary wysokościowe były prowadzone za pomocą niwelacji precyzyjnej, a częstotliwość wykonywanych pomiarów geodezyjnych wynosiła raz na kwartał (rys. 2.).



Rys. 2. Rozmieszczenie reperów obserwacyjnych na terenie Bierunia Nowego

### Wyniki obserwacji geodezyjnych

Do analizy obserwacji stworzono dwie „sztuczne” linie obserwacyjne obejmujące repery założone na budynkach. Pierwsza linia biegnie wzdłuż ulicy Warszawskiej (repery 1÷4, 10÷15), a druga wzdłuż ulicy Jagiełły (repery 4÷9). Wyniki pomiarów geodezyjnych uzyskanych na reperach ściennych w Bieruniu Nowym wskazują, że deformacje mają następujący charakter:

- największe deformacje powierzchni terenu w wyniku eksploatacji górniczej wystąpiły w punktach 4., 9., 10., 11., czyli centralnej części eksploatacji,
- maksymalną prędkość obniżenia i maksymalne osiadanie powierzchni zaobserwowano w punkcie pomiarowym 11.,
- gdy front eksploatacyjny znajdował się w odległości 100 m przed punktem pomiarowym 11., punkt osiadł o 4 cm (czerwiec 1998 r.),
- gdy front eksploatacyjny znajdował się w odległości 120 m za punktem pomiarowym 11., prędkość obniżania punktu wzrosła do 35,6 cm (listopad 1998 r.),
- gdy front eksploatacyjny znajdował się w odległości 275 m za punktem pomiarowym 11., powierzchnia obniżyła się o 51,9 cm (luty 1999 r.) w stosunku do poprzedniego pomiaru,
- począwszy od marca 1999 r. nastąpiło stopniowe zmniejszenie się osiadań, które wynosiło średnio kilkanaście mm w okresie trzech miesięcy.

Analogicznie zachowywały się punkty 4., 9., 10., w których również zaobserwowano największe deformacje w okresie zbliżania się bezpośrednio pod dany punkt frontu eksploatacyjnego. Prowadząc obserwacje i analizę poszczególnych cykli pomiarowych na określonych punktach, można wyróżnić trzy główne fazy: okres narastania obniżeń, okres największych prędkości obniżeń i okres końcowy, w którym obserwuje się stopniową stagnację osiadań.

#### **4. Metodyka budowy systemu informacji geograficznej**

Badania deformacji terenów górniczych wymagają zebrania i analizy wielu różnorodnych zbiorów danych. Pozyskiwane dane pochodzą z różnych materiałów wejściowych (opracowanych w różnych układach). Efektywne zarządzanie takimi zbiorami danych byłoby więc możliwe poprzez zastosowanie systemu informacji geograficznej, który umożliwiłby opracowanie przestrzennego modelu kopalni, analizę metod i okresów eksploatacji, analizę i interpretację okresowych pomiarów geodezyjnych. System GIS umożliwi gromadzenie i zarządzanie materiałami archiwalnymi i bieżącymi oraz wykonywanie różnego typu analiz i obliczeń przy użyciu wielu zbiorów danych [3, 4].

##### **Dane źródłowe**

Materiały źródłowe stanowią przede wszystkim papierowe archiwalne materiały pochodzące z zasobów kopalni PIAST. Wśród zmiennych, które zawierają najważniejsze informacje o poszczególnych obszarach kopalni, a tym samym powinny składać się na miernik syntetyczny, należy wymienić przede wszystkim:

- mapy wyrobisk górniczych,
- mapy sytuacyjne w skali 1:5000,
- dokumentacje geologiczno-górnice kopalni PIAST,
- wykazy reperów i operaty pomiarowe linii obserwacyjnych,
- wykazy wysokości i przemieszczeń pionowych i poziomych reperów w liniach obserwacyjnych,
- profile geologiczne,
- przeglądową mapę podziału złoża KWK PIAST.

Należy również wymienić następujące opracowania samodzielne:

- odległość od filara ochronnego,
- odległość od frontu ściany,
- wpasowanie i kalibracja map,
- odczytanie współrzędnych reperów na liniach obserwacyjnych,
- generowanie profili podłużnych poszczególnych linii obserwacyjnych.

Budowę systemu oparto na programach: Excel, AutoCAD, nakładka geodezyjna GEOLISP, które to umożliwiły zarządzanie danymi, ich opracowanie i analizę.

### **Baza danych**

Wyjściowy podkład kartograficzny stanowią mapy wyrobisk górniczych i mapy sytuacyjne w skali 1:5000. Materiały te po zeskanowaniu i kalibracji zostały wpasowane w przyjęty układ współrzędnych. Podkłady rastrowe użyto do budowy wektorowej bazy danych w Auto CAD oraz opisowej bazy danych w programie Excel. Nakładka geodezyjna GEOLISP służy do interpolacji warstw, a współpracując z programem EDN autorstwa prof. J. Białka, można prognozować deformacje dla obszarów górniczych. Gromadzone dane podzielono na trzy działy tematyczne: geodezja, geologia, górnictwo.

## **5. Budowa miernika syntetycznego do oceny deformacji powierzchni terenów górniczych**

W punkcie tym przedstawiono próbę skonstruowania miernika syntetycznego do oceny oddziaływania wybranych informacji geograficznych na efektywność i wiarygodność badań deformacji powierzchni dla obszarów kopalni PIAST na podstawie wymienionych zmiennych. Schemat sporządzania klasyfikacji obszarów kopalni PIAST z uwzględnieniem oceny oddziaływania wybranych informacji geograficznych na efektywność i wiarygodność badań deformacji powierzchni można podzielić na następujące etapy:

- analiza wartości cech dla czterech obszarów: Bieruń Nowy – O1, Bieruń Stary – O2, Chełm Śląski – O3, przedpole zbiornika Dzieńkowice – O4, dla trzech wybranych działów:
  - geodezji,
  - górnictwa,
  - geologii,
- przyjęcie wag dla poszczególnych cech według zasady  $\sum w_i = 1$  w obrębie działu (tab. 1.).

Analizowany zestaw zmiennych diagnostycznych został ustalony na podstawie kryteriów merytorycznych. W opracowaniu wykorzystano zarówno charakterystyki klasyczne stosowane do oceny deformacji powierzchni – teoria Budryka–Knothego, jak również dane, które według autorów mają wpływ na deformację powierzchni, a które nie są uwzględniane w klasycznych metodach wyznaczania osiadań. Powszechnie stosowane sposoby wyznaczania osiadań ograniczają się do jednego z wymienionych działów. Miernik syntetyczny umożliwia wykorzystanie wszystkich dostępnych informacji, które mają wpływ na osiadanie powierzchni.

Tabela 1. Wartości dla poszczególnych cech i ich wagi

Cecha	O1	O2	O3	O4	Waga
<b>Geodezja</b>					
Mapy wyrobisk górniczych	1	1	1	1	0,20
Mapy sytuacyjne powierzchni terenu	1	1	1	1	0,05
Wykazy reperów i operaty pomiarowe linii obserwacyjnych	1	1	1	1	0,20
Wykazy wysokości i przemieszczeń pionowych reperów w liniach obserwacyjnych	1	1	1	1	0,35
Wykazy wysokości i przemieszczeń poziomych reperów w liniach obserwacyjnych	1	1	1	1	0,20
<b>Górnictwo</b>					
Mięszczość, głębokość zalegania pokładu pod powierzchnią terenu	1	1	1	1	0,20
Odległość od filara ochronnego (zasięg)	1	0	0	0	0,30
Odległość od frontu ściany	1	0	0	0	0,30
Przeglądowa mapa podziału złoża KWK PIAST	1	1	1	1	0,20
<b>Geologia</b>					
Dokumentacje geologiczno-górnictwa kopalni PIAST	1	1	1	1	0,50
Mapa geologiczna	1	1	1	1	0,20
Analiza profili pionowych	1	0	0	0	0,30

Wagi do oceny wartości cech między działami dla mierników syntetycznych przyjęto subiektywnie, kierując się przeprowadzoną analizą wyników badań deformacji powierzchni sieciami neuronowymi (tab. 2.).

Tabela 2. Wagi dla poszczególnych działów

Dział	k	Waga
Geodezja	1	0,40
Górnictwo	2	0,40
Geologia	3	0,20

### Obliczanie mierników

Średnie ważone cech w działach dla każdego obszaru KWK PIAST oblicza się ze wzoru (tab. 3.):

$$s_j = \frac{1}{\sum w_i} \sum c_i w_i \quad (j = 1, 2, 3, 4) \quad (2)$$

gdzie:  $c_i$  – wartość cechy w danym  $j$ -tym dziale,  
 $w_i$  – odpowiadająca jej waga.

Tabela 3. Średnie ważone cech w poszczególnych działach dla każdego obszaru KWK PIAST

Cecha	O1	O2	O3	O4	$s_{\max}$
Geodezja	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Górnictwo	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
Geologia	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60

Normalizacja cech dla ułatwienia porównywania wartości pomiędzy działami (tab. 4.):

$$Czn_k = (s_j / s_{\max})_k \quad (3)$$

gdzie  $k$  – numer kolejny obszaru KWK PIAST,  $k = 1, 2, 3, 4$ .

Tabela 4. Cechy znormalizowane

Cecha	O1	O2	O3	O4	Waga
Geodezja	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40
Górnictwo	1,00	0,40	0,40	0,40	0,40
Geologia	1,00	1,00	1,00	0,44	0,20

Wartości mierników syntetycznych dla poszczególnych obszarów KWK PIAST wyznacza się z zależności:

$$W_k = \sum_{k=1}^5 (Czn_k w_k) \quad (4)$$

W analizie otrzymanych wyników można się posłużyć dodatkowo wzorcem i antywzorcem. Wzorec będzie miał wartość miernika syntetycznego równą 1, przy założeniu, że opisują go maksymalne wartości poszczególnych zmiennych zunitaryzowanych i przekształconych w stymulanty. Wzorcem jest więc hipotetyczny obszar, najlepszy pod względem każdej uwzględnionej w mierniku syntetycznym zmiennej. Natomiast antywzorec będzie miał wartość miernika syntetycznego równą 0, przy założeniu, że opisują go minimalne wartości poszczególnych zmiennych zunitaryzowanych i przekształconych w stymulanty. Antywzorec jest to więc hipotetyczny obszar, najgorszy pod względem każdej uwzględnianej w mierniku syntetycznym zmiennej.



Tabela 5. Mierniki syntetyczne do oceny efektywności i wiarygodności deformacji powierzchni terenu dla wybranych obszarów KWK PIAST

Obszar	$W_k$
O1	1,00
O2	0,76
O3	0,76
O4	0,36

Obszar, który uzyskał najwyższą wartość miernika syntetycznego efektywności i wiarygodności deformacji powierzchni terenu to obszar O1 – Bieruń Nowy (tab. 5.). Wartość uzyskanego wskaźnika potwierdza, że kluczowym zagadnieniem przy określeniu wartości deformacji jest precyzyjne wpasowanie materiałów rastrowych. Dotyczy to przypadków nieposiadających odniesienia przestrzennego w przyjęty układ bazy danych oraz opracowania dodatkowych atrybutów.

## 6. Wnioski

Skonstruowana klasyfikacja obszarów kopalni PIAST ma następujące zalety:

- syntetyczny charakter, gdyż powstał na podstawie kilku bardzo ważnych zmiennych, charakteryzujących obszary kopalni,
- jego forma sprawia, że jest on przystępny dla każdego i łatwo na jego podstawie porównywać obszary,
- zastosowany miernik syntetyczny przyjmuje wartości z przedziału od 0 do 1 – im wartość miernika jest bliższa 0, tym dany obszar jest bardziej podobny do hipotetycznego obszaru, najsłabszego pod względem każdej analizowanej zmiennej cząstkowej, tworzącej miernik syntetyczny, natomiast im wartość miernika syntetycznego jest bliższa 1, tym dany obszar jest bardziej podobny do hipotetycznego obszaru, najlepszego pod względem każdej analizowanej zmiennej cząstkowej, dla którego dysponuje się największą liczbą materiałów i danych wyjściowych do oceny oddziaływania wybranych informacji geograficznych na efektywność i wiarygodność badań deformacji powierzchni,
- wartość uzyskanego wskaźnika potwierdza, że kluczowym zagadnieniem przy określeniu wartości deformacji jest precyzyjne wpasowanie materiałów rastrowych, nieposiadających odniesienia przestrzennego w przyjęty układ bazy danych oraz opracowanie dodatkowych atrybutów,

- przedstawiony w opracowaniu sposób klasyfikowania obszarów kopalń mógłby stanowić bardzo istotne źródło informacji dla przewidywania osiadań na terenach górniczych bądź dokonujących dopiero wyboru danych do oceny oddziaływania wybranych informacji geograficznych do badań deformacji powierzchni. Podejmowane decyzje o wyborze danych i materiałów mogłyby stać się bardziej racjonalne, a jest to przecież bardzo istotne z punktu widzenia oceny wpływu działalności górniczej na powierzchnię.

## Literatura

- [1] Cała M., Flisiak J., Tajduś A.: Wpływ niepodszczepionych wyrobisk przyszybowych na deformacje powierzchni. AGH, Kraków 2001.
- [2] Bieroński D., Olearczyk K.: Analiza skutków wpływu eksploatacji na powierzchnie terenu w zależności od wielkości otwarcia frontów eksploatacyjnych dla Obszaru Górniczego „Bieruń I” – KWK „Piast”. Bieruń 2005.
- [3] Blachowski J.: System informacji geograficznej wałbrzyskich kopalń węgla kamiennego podstawą zwiększenia efektywności i wiarygodności badań deformacji powierzchni terenów pogórniczych. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, nr 123, 2008.
- [4] Piwowski W., Krawczyk A.: Koncepcja geoprzestrzennego systemu informacji o terenie górniczym. AGH, Kraków 2001.

## ASSESSMENT OF SURFACE DEFORMATION OF MINING AREAS WITH APPLICATION OF SYNTHETIC MEASURE

### Summary

In the article there was presented the concept of the spatial database which enables to increase the efficiency and reliability of research on surface deformations of the mining areas on the example of the “PIAST” coalmine. The research on the deformation of the mining areas is connected with obtaining and developing various sets of data, and most of it is of the spatial character. The aim of the article is to develop the system of spatial information with the application of the synthetic measure based on the most important variables which characterize the research on the surface deformation of the mining areas.

In order to develop the synthetic measure the rough data underwent unitarisation and in case of variable which are destimulants they were transformed into stimulants. To all the variables there were assigned the weights in order to take into account their different meaning in the surface deformation assessment. Finally, the areas classification of the “PIAST” coalmine is obtained and to each area of the coalmine is assigned the value of the synthetic measure from the range from 0 to 1. The higher the measure value is, the better assessment of surface deformation for the given area.

*Złożono w Oficynie Wydawniczej w lutym 2011 r.*