

Mirosław Chudek, Piotr Strzałkowski*, Roman Ścigala**

PRZYKŁAD ANALIZY WPŁYWU PRĘDKOŚCI POSTĘPU FRONTU EKSPLOATACYJNEGO NA PRZEBIEG DEFORMACJI NA POWIERZCHNI TERENU

1. Wstęp

W ostatnich latach w związku ze zmieniającymi się warunkami geologiczno-górnictwicznymi prowadzenia eksploatacji złóż coraz większego znaczenia nabiera problem wpływu prędkości postępu frontu eksploatacyjnego na wielkość i rozkład deformacji na powierzchni terenu. Poglądy w tym zakresie są wśród badaczy zróżnicowane. Niektórzy z nich twierdzą [2, 7, 8, 12] w oparciu o wyniki analiz modelowania matematycznego, że duża prędkość postępu frontu eksploatacyjnego wpływa korzystnie na wielkość deformacji. Kształt niecki osiadania ulega złagodzeniu wraz ze wzrostem prędkości eksploatacji, co oznacza, że chwilowe nachylenia i pozostałe wskaźniki deformacji maleją. Prowadzi to do poglądu, że korzystnie jest prowadzić wybieranie z jak największą prędkością postępu frontu. Poglądy innych badaczy procesu deformacji są wręcz przeciwne [9]. Niezależnie jednak od powyższych poglądów należy uznać, że wzrost prędkości postępu frontu eksploatacyjnego powoduje duże prędkości osiadania oraz narastania w czasie innych wskaźników deformacji. Należy brać pod uwagę fakt, że odporność obiektów budowlanych na wpływ poeksploatacyjnych deformacji powierzchni terenu wyraża się nie tylko zdolnością do przenoszenia nachyleń, krzywizn pionowych i odkształceń poziomych, lecz również prędkości osiadania [6, 12]. Problem ten zauważono zresztą dość dawno, bo już w pracy [5] B. Dżegniuk i A. Sroka podali propozycję rozszerzenia klasyfikacji terenów górniczych o wartości prędkości dobowych osiadań punktów. Klasyfikację tę rozszerzył następnie A. Sroka [12] o chwilowe wartości maksymalne prędkości i przyspieszenia osiadania oraz prędkości narastania odkształceń poziomych.

W świetle powyższych stwierdzeń należy zwrócić uwagę, że prędkość postępu frontu eksploatacyjnego powinna być odpowiednio dobrana dla poszczególnych obiektów budowlanych w zależności od kategorii ich odporności na wpływy eksploatacji górniczej. Ponadto

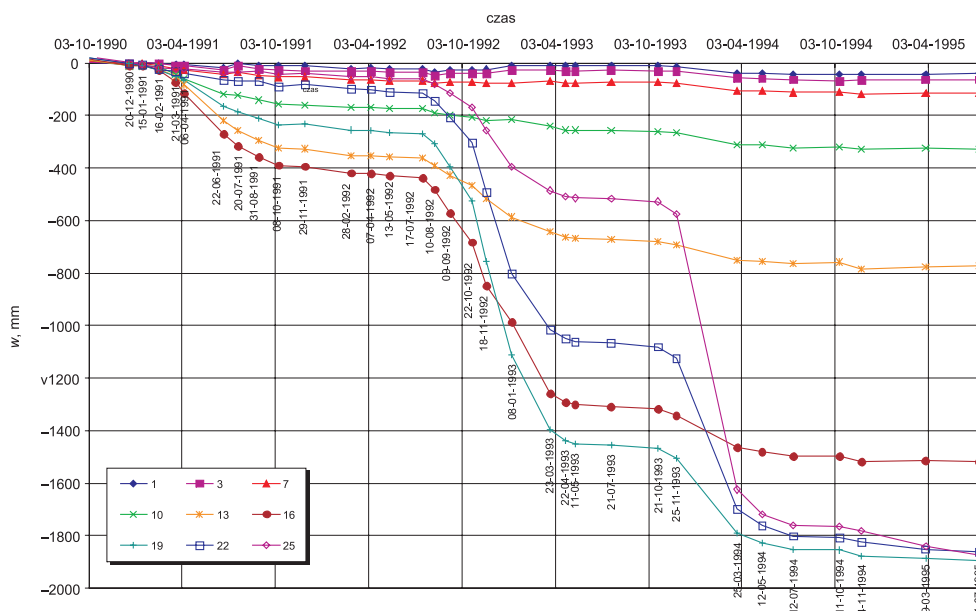
* Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice

niezależnie od słuszności przedstawionych wyżej poglądów należy uznać, że dla danych warunków geologiczno-górnicyznych istnieje pewna optymalna prędkość postępu frontu. W artykule przedstawiono przykład kompleksowej analizy przeprowadzonej w oparciu o wyniki pomiarów geodezyjnych, a także wyniki obliczeń prędkości narastania deformacji. Analizy wyników pomiarów przedstawione w części 2 artykułu dotyczyły identyfikacji wartości współczynnika prędkości osiadania, niezbędnego do oceny prognozowanych prędkości narastania wskaźników deformacji pod wpływem projektowanej eksploatacji.

Bazując na otrzymanych wynikach, w 3 części artykułu przedstawiono wyniki obliczeń prognozowanych prędkości narastania wybranych wskaźników deformacji w oparciu o komputerową symulację postępu frontu eksploatacyjnego.

2. Identyfikacja wartości współczynnika prędkości osiadania

Identyfikacji dokonano na podstawie wyników obserwacji geodezyjnych przeprowadzonych wzdłuż linii kolejowej, zlokalizowanej na obszarze górniczym kopalni „M”. W rejonie linii prowadzono eksploatację w pokładzie 341, ścianami nr 20, 21 i 22. Punkty 1–13 położone były na zachód od ściany 20, punkty 14–19 zlokalizowane były bezpośrednio nad ścianą 20, a punkty 20–25 na wschód od niej. Pomiaru dokonywane były od 3.10.1990 r. do 11.07.1995 r. Czasokresy wykonywania pomiarów wynosiły od 1 miesiąca do 2 miesięcy. Na rysunku 1 przedstawiono przebiegi osiadań wybranych punktów w czasie.



Rys. 1. Przebieg osiadań w czasie dla wybranych punktów z rozpatrywanej linii

Dla celów identyfikacji wartości parametru c rozpatrywano przebiegi osiadania w czasie punktu 16. Identyfikowano wartości parametru c na podstawie przebiegów osiadania wywołanych eksploatacją kolejno ścian: 20, 21 i 22. Wynik identyfikacji przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1
Zestawienie wartości parametru c otrzymanych w wyniku identyfikacji

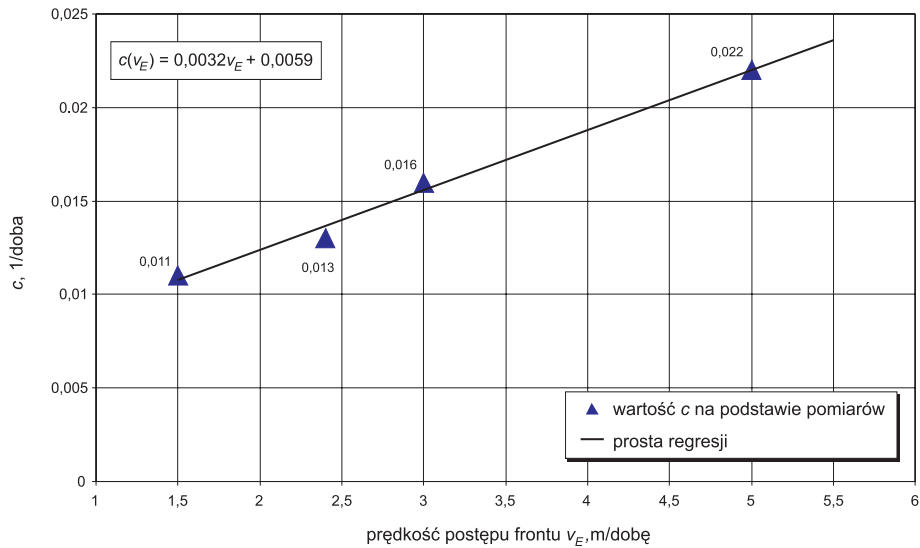
Numer punktu	H m	V_E m/doba	Ściana / pokład	c 1/doba
16	440	1,5	20 / 341	0,011
		2,4	21 / 341	0,013
		3,0	22 / 341	0,016

3. Analiza wpływu prędkości postępu frontu na prędkość osiadań

W celu przeanalizowania wpływu prędkości postępu frontu eksploatacyjnego na wielkość wskaźników deformacji wykorzystano program komputerowy DEFK — Win [14]. Z analizy danych dotyczących projektowanej eksploatacji górniczej wynika, że zakres głębokości zalegania projektowanych pól eksploatacyjnych waha się od ok. 395 m do ok. 1015 m. Prowadzeniu eksploatacji górniczej na najmniejszej głębokości towarzyszyć będzie oczywiście największa prędkość osiadania punktów powierzchni terenu. Stąd postanowiono przeprowadzić symulację komputerową dla ściany 56 w pokładzie 334 położonej na najmniejszej głębokości ($H = 395$ m); wyniki obliczeń dla tego bowiem przypadku prezentować będą obraz najbardziej intensywnych deformacji na powierzchni terenu, dzięki czemu analizując wpływy eksploatacji głębszych, zawsze będziemy dysponowali pewnym marginesem bezpieczeństwa. Do obliczeń przyjęto $\operatorname{tg}\beta = 2,0$ i $a = 0,7$. Obliczono wartości wskaźników deformacji przy założeniu natychmiastowego ujawniania się wpływów ($c \rightarrow \infty$) i przyjęciu wartości c wyznaczonych na podstawie wyników pomiarów, odpowiednio dla poszczególnych prędkości postępu frontu: 1,5, 2,4 i 3 m/dobę. Wykonano także obliczenia dla prędkości postępu frontu 5 m/dobę, dla której nie wyznaczono wartości parametru c na podstawie analiz wyników pomiarów, lecz obliczono na podstawie ekstrapolacji zależności regresyjnej przedstawionej na rysunku 2.

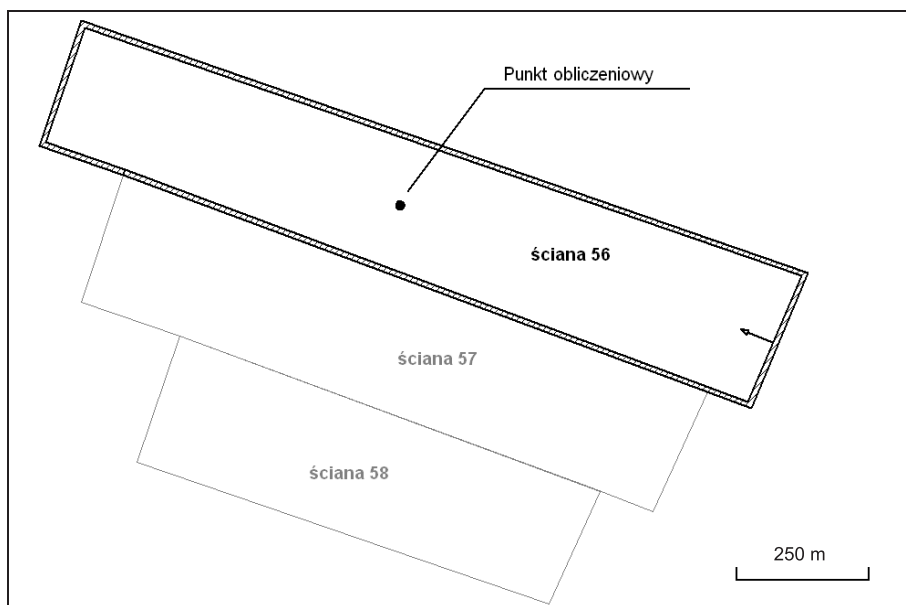
Przyjęte wartości c przedstawiają się następująco:

- dla $v = 1,5$ m/dobę: $c = 0,011$ 1/dobę ($\sim 4,02$ 1/rok),
- dla $v = 2,4$ m/dobę: $c = 0,013$ 1/dobę ($\sim 4,75$ 1/rok),
- dla $v = 3,0$ m/dobę: $c = 0,016$ 1/dobę ($\sim 5,84$ 1/rok),
- dla $v = 5,0$ m/dobę: $c = 0,022$ 1/dobę ($\sim 8,07$ 1/rok).



Rys. 2. Przebieg zmienności parametru c wyznaczonego na podstawie wyników pomiarów w zależności od prędkości postępu frontu

Symulację eksploatacji przeprowadzono dla punktu położonego nad środkiem ściany 56 (rys. 3). Ściana ta ma według projektu długość około 250 m, a wybieg około 1450 m.



Rys. 3. Lokalizacja punktu obliczeniowego względem rozpatrywanej ściany 56

W tabeli 2 zestawiono wartości maksymalne następujących wskaźników deformacji: prędkości osiadania, nachyleń i odkształceń poziomych. W tabeli podano wartości maksymalne powyższych wskaźników deformacji dla wpływów ujawniających się natychmiastowo ($c \rightarrow \infty$) oraz otrzymanych przy obliczeniach wykonanych dla stanów nieustalonych.

TABELA 2

Wartości maksymalne wskaźników deformacji dla eksploatacji prowadzonej na głębokości $H = 395$ m

Prędkość postępu frontu, m/dobę	Prędkość osiadania dw/dt mm/dobę		Nachylenia maksymalne T_{max} mm/m		Odkształcenia maksymalne E_{max} mm/m	
	$c \rightarrow \infty$ wpływy natychm.	wpływy nieustalone	$c \rightarrow \infty$ wpływy natychm.	wpływy nieustalone	$c \rightarrow \infty$ wpływy natychm.	wpływy nieustalone
1,5	8,18	5,24	5,49	3,50	2,67/-4,02	1,45/-4,02
2,4	13,10	7,20	5,49	3,01	2,67/-4,02	1,21/-4,02
3,0	16,38	8,92	5,49	2,98	2,67/-4,02	1,20/-4,02
5,0	27,24	13,30	5,49	2,67	2,67/-4,02	1,05/-4,02

Na podstawie przedstawionych wyżej wyników obliczeń można zauważyć, że wzrost prędkości postępu frontu górniczego spowoduje zmniejszenie wartości nachyleń i odkształceń poziomych maksymalnych rozciągających (przy zachowaniu wartości maksymalnych odkształceń ściskających), w zależności od prędkości postępu frontu eksploatacyjnego. Wartości tzw. współczynników zmniejszenia deformacji f_T i f_E dla rozpatrywanych głębokości eksploatacji zestawiono w tabeli 3.

TABELA 3

Wartości współczynników zmniejszenia deformacji dla poszczególnych prędkości postępu frontu

Prędkość postępu frontu m/dobę	f_T	f_E
1,5	0,64	0,58
2,4	0,55	0,45
3,0	0,55	0,44
5,0	0,49	0,39

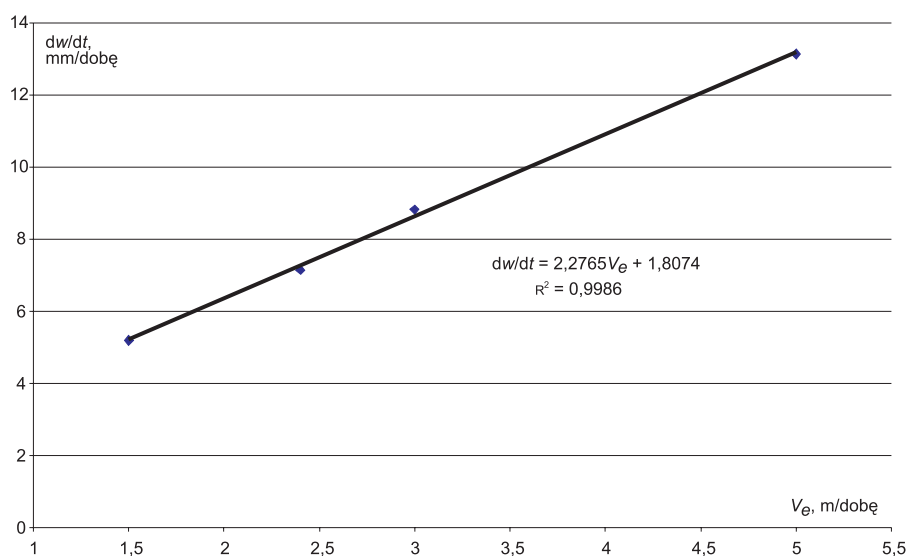
Jak widać z powyższej tabeli, wartości f_T i f_E , będące stosunkiem odpowiednio maksymalnych nachyleń i odkształceń poziomych chwilowych do asymptotycznych, mieściły się

w przedziale od ok. 0,40 do 0,64 dla rozpatrywanej głębokości eksploatacji $H = 395$ m. Otrzymane wartości generalnie odpowiadają wartościom podawanym w literaturze [12].

Dysponując powyższymi wynikami analiz, podjęto próbę znalezienia zależności pomiędzy prędkością postępu frontu eksploatacyjnego v_E i maksymalną prędkością osiadania powierzchni terenu dw/dt dla rozpatrywanego zakresu prędkości postępu frontu górniczego. Otrzymano zależność w postaci

$$\frac{dw}{dt} = 2,277 \cdot v_E + 1,807 \quad (1)$$

Zależność empiryczną oraz wartość współczynnika determinacji podano na rysunku 4. Wzór ten, otrzymany na podstawie wyników obliczeń, ma oczywiście charakter orientacyjny, lecz pozwala on oszacować prędkość osiadania dla danej prędkości postępu frontu bez konieczności wykonywania szczegółowych analiz, takich jaką przedstawiono w tym artykule.



Rys. 4. Uzyskana w wyniku symulacji zależność prędkości osiadania punktu na powierzchni terenu dw/dt od prędkości postępu frontu v_E dla głębokości eksploatacji $H = 395$ m

4. Podsumowanie

Na podstawie przedstawionych w pracy rezultatów analiz dotyczących identyfikacji wartości parametru c w oparciu o wyniki pomiarów geodezyjnych oraz symulacji kompu-

terowej przebiegu deformacji terenu górniczego położonego nad eksploatacją górniczą, sformułować można następujące wnioski i stwierdzenia:

- 1) Wyniki przedstawionych analiz posiadają jedynie charakter jakościowy, co spowodowane jest brakiem wyników pomiarów geodezyjnych prowadzonych nad eksploatacją górniczą dokonywaną z różną prędkością, przy niezmienności innych warunków geologiczno-górniczych.
- 2) Otrzymane w wyniku symulacji komputerowej wartości wskaźników deformacji odpowiadające prędkościom postępu frontu wybierania od 1,5 do 5 m/dobę wskazują na zmniejszenie nachyleń i odkształceń poziomych od 40 do 60% w stosunku do wartości asymptotycznych. Wyniki te są zbieżne z doświadczeniami uzyskanymi w Niemczech [12].
- 3) Wzrost prędkości wybierania powoduje wzrost prędkości obniżenia powierzchni terenu. Na podstawie przeprowadzonych rozważań stwierdzono liniową zależność pomiędzy tymi dwoma wielkościami. Wniosek ten należy jednakże traktować jako wstępny, z uwagi na przybliżony charakter przeprowadzonych badań. W celu jego weryfikacji konieczne jest prowadzenie dalszych analiz wyników pomiarów geodezyjnych w odpowiednio szerokim zakresie.
- 4) Zarówno wyniki badań własnych, jak też analizy znane z literatury przedmiotu, wskazują na konieczność doboru prędkości postępu frontu górniczego do danych warunków geologiczno-górniczych i odporności obiektów. Zatem o optymalnej prędkości frontu można mówić w odniesieniu do konkretnych warunków prowadzenia eksploatacji i sytuacji na powierzchni terenu.

LITERATURA

- [1] *Bialek J.*: Opis niestabilnej fazy obniżenia terenu górniczego z uwzględnieniem asymetrii wpływów końcowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Górnictwo, 194, 1991
- [2] *Chudek M., Stefański L.*: Wpływ postępu frontu górniczego na szybkość deformacji terenu na powierzchni. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Górnictwo, 145, 1990
- [3] *Drzęźła B.*: Wzrost prędkości wybierania — ekonomiczna konieczność, ujemne strony i próba nowego opisu oddziaływania na powierzchnię. Konferencja nt. „Działalność górnictwa węgla kamiennego w warunkach gospodarki rynkowej i ograniczeń ekologicznych”, Gliwice 1992
- [4] *Drzęźła B.*: Przybliżona ocena niektórych parametrów kinematyki niecki osiadania przy zmianach prędkości wybierania i postojach ścian. Przegląd Górniczy, 9, 1995
- [5] *Dzeganuk B., Sroka A.*: Prędkość postępu frontu eksploatacji górniczej a proces deformacji górotworu i powierzchni. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Wpływ prędkości eksploatacji na ochronę obiektów na powierzchni”, Katowice, Komisja Ochrony Terenów Górniczych PAN 1978
- [6] *Dzeganuk B., Pielok J., Sroka A.*: Vorausberechnung von abbau bedingten dynamischen Deformationen — Kennziffern der Tagesoberfläche und des Gebirges. Das Markscheidewesen, 87, 1980
- [7] *Knothe S.*: Wpływ czasu na kształtowanie się niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, I, I, 1953
- [8] *Kwiatek J.*: Wpływ prędkości podziemnej eksploatacji górniczej na obiekty budowlane. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 5, 93, 2002
- [9] *Pflaiging K.*: Abbaugeschwindigkeit bei zu scutzenden Objekten. Aachen RWTH, Heft, 12, 1989
- [10] *Piwowarski W.*: Opis przemieszczeń pionowych aktywnego procesu deformacji górotworu w warunkach eksploatacji górniczej. Zeszyt Naukowe AGH, Geodezja, 106, 1989
- [11] *Praca zbiorowa pod red. J. Kwiatka*: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Katowice, Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa 1997

- [12] *Sroka A.*: Dynamika eksploatacji górniczej z punktu widzenia szkód górniczych. Kraków, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN 1999
- [13] *Strzałkowski P.*: Jakość prognozowania osiadań nieustalonych w początkowej fazie procesu deformacji w świetle analiz wyników pomiarów geodezyjnych. Przegląd Górniczy, 2, 2002
- [14] *Ścigala R., Strzałkowski P.*: Software for predictions of underground mining influences on the land surface and rock mass. Międzynarodowa Konferencja Geotechnika 2000, Tatry Wysokie 2000