



Prognozowanie czasu trwania końcowej fazy poeksploatacyjnych ruchów terenu górniczego

Prediction of deformations in the transient state with regard to the duration of the final phase of mining area movements

Prof. dr hab. inż. gór. Piotr Strzalkowski*)

Treść: W pracy przedstawiono analizę wyników pomiarów geodezyjnych z uwzględnieniem czasu trwania końcowej fazy ruchów terenu górniczego. Wzór empiryczny pozwalający na obliczanie powyższego czasu poddano weryfikacji w oparciu o wyniki pomiarów geodezyjnych, a następnie podano formułę określania wartości współczynnika prędkości osiadania. Przeprowadzone obliczenia kontrolne wykazały możliwość stosowania wzoru przy uzyskiwaniu zgodności czasu trwania końcowej fazy procesu deformacji z wykorzystanym wcześniej wzorem empirycznym.

Abstract: This paper presents an analysis of results of land surveying with regard to the duration of the final phase of the mining area movements. An empirical formula which allows to calculate the abovementioned duration was verified on the basis of land surveying results and, as a result, a formula of determination of the value of subsidence rate coefficient was given. The checking calculations showed a possibility of applying the formula by obtaining accordance of the duration of the deformation process' final phase with the earlier used empirical formula.

Słowa kluczowe:

deformacje terenu górniczego

Key words:

deformations of mining area

1. Wprowadzenie

Analizując oddziaływanie eksploatacji górniczej na powierzchnię spotykamy się często z problemem określania czasu trwania procesu deformacji. Zagadnienie to jest szczególnie istotne w przypadkach rozstrzygania o zasadności rozszeżeń o naprawę tzw. szkód górniczych, czy też przy planowaniu inwestycji na terenach górniczych. Poglądy na temat czasu trwania procesu deformacji są bardzo zróżnicowane. Część praktyków sporządzając opinie geologiczno-górnice dla biegłych sądowych zakłada a priori, że wpływy eksploatacji górniczej na powierzchni nie trwają dłużej niż trzy lata od zakończenia robót. Czas ten traktuje się przy tym jako maksymalnie długi okres, niezależnie od głębokości eksploatacji, czy też własności mechanicznych górotworu, choć wiadomo [4], że zależy on od szeregu czynników, z których najważniejsze to:

- głębokość eksploatacji,
- własności wytrzymałościowe górotworu,
- prędkość postępu frontu wybierania,
- sposób kierowania stropem.

W warunkach polskiego górnictwa węglowego prędkość postępu frontu eksploatacyjnego zmienia się w małych granicach, oscylując wokół 5 m/dobę, natomiast większość wydobywania uzyskuje się ze ścian zawałowych. Zatem czas

trwania procesu deformacji dla warunków geologiczno-górnicznych GZW należy rozpatrywać w zależności od głębokości eksploatacji i własności górotworu. Znajduje to swoje potwierdzenie w pracach [1 i 6], w których określono czas trwania końcowej fazy procesu deformacji. Końcowa faza procesu rozumiana była jako okres od zakończenia eksploatacji lub oddalenia się ruchomej krawędzi ściany na odległość większą niż zasięg wpływów od rozpatrywanego punktu, do czasu ustania obniżenia terenu. W wyniku przeprowadzonych analiz statystycznych podano następujące wzory dotyczące eksploatacji zawałowej w pracy [1]

$$T_k = 0.015 \frac{H}{(\operatorname{tg}\beta)^{0.5}} + 2.394, \text{ miesiące} \quad (1)$$

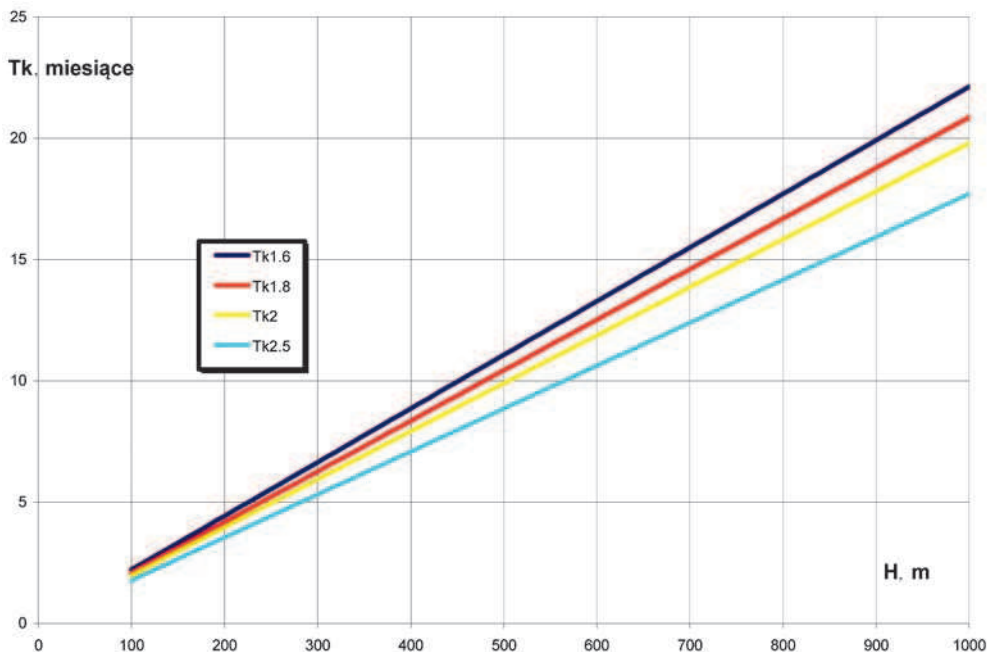
gdzie :

- T_k – czas trwania końcowej fazy ruchów górotworu, miesiące
- H – głębokość eksploatacji w przedziale 140 m – 1030 m, m
- $\operatorname{tg}\beta$ – parametr teorii S.Knothego w pracy [6]

$$T_k = 0.028 \frac{H}{(\operatorname{tg}\beta)^{0.5}}, \text{ miesiące} \quad (2)$$

Równanie (2) dla różnych wartości parametru $\operatorname{tg}\beta$ i głębokości eksploatacji przedstawiono graficznie na rys. 1

*) Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Gliwice



Rys. 1. Czas trwania końcowej fazy procesu deformacji dla różnych głębokości i wartości parametru $tg\beta$

Fig. 1. Duration of the final phase of the deformation process for different depths and values of parameter $tg\beta$

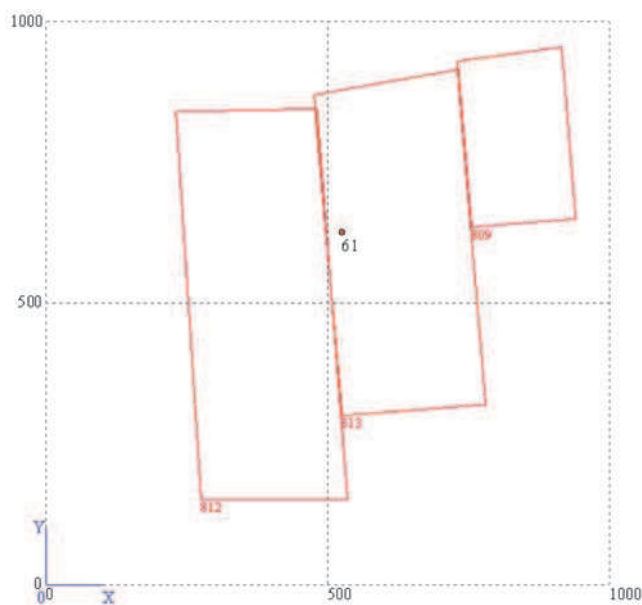
W pracy [5] przedstawiono m.in. analizę zgodności wzoru (1) z wynikami pomiarów, z których nie korzystano opracowując ten wzór. Wskazano tam na jego praktyczną przydatność, przy czym zauważono, że czas trwania końcowej fazy procesu deformacji był w rzeczywistości nieco dłuższy. Wzór (2) natomiast pozwala na uzyskiwanie większych wartości niż wzór (1), dlatego w ramach niniejszej pracy postanowiono sprawdzić jego zgodność z tymi samymi wynikami pomiarów co w pracy [5]. Przedstawiono również zależność pomiędzy czasem trwania końcowej fazy procesu deformacji oraz współczynnikiem prędkości osiadania, w celu ułatwienia prowadzenia analiz przebiegu deformacji w czasie.

2. Analiza wyników pomiarów geodezyjnych

Wzór (2) postanowiono poddać weryfikacji, korzystając z tych samych co w pracy [5] wyników pomiarów geodezyjnych. Analizowano przebieg obniżeń punktu obserwacyjnego nr 61, którego lokalizację względem wybranych ścian przedstawiono na rys. 2. Podstawowe dane o warunkach geologiczno-górnicych eksploatacji zestawiono w tablicy 1, w której podano również czas prowadzenia robót.

W pierwszej kolejności dokonano obliczeń obniżeń reperu 61, symulując postęp ścian, przy założeniu natychmiastowego ujawniania się wpływów eksploatacji, podobnie jak w pracy [8]. Do obliczeń wykorzystano program DEFK-Win [7], przyjmując wartość parametru $a = 0.77$, co odpowiada wartości uzyskanej przy uwzględnianiu obrzeża oraz wartość parametru $tg\beta = 2.1$. Przebieg obniżeń punktu uzyskany w wyniku obliczeń symulacyjnych przedstawiono na rys. 3 (krzywa koloru czerwonego – wn), na którym pokazano również wyniki pomiarów (znacznik opisany $wpom$). Obniżenie w ostatnim pomiarze z dn. 18.03.2010 r. wyniosło 1523 mm, a w pomiarze z 28.11.2009 r. – 1512 mm. Z uwagi na wartość różnicy obniżeń pomiędzy obydwooma pomiarami, wynoszącą 11 mm (co odpowiada mniej więcej dokładności pomiaru dokonywanego przy pomocy niwelacji technicznej), można

uznać, że zakończenie procesu deformacji nastąpiło praktycznie dnia 28.11.2009 r. Czas trwania końcowej fazy procesu deformacji dla warunków dokonanej eksploatacji określony ze wzoru (2), przy przyjęciu wartości $tg\beta=2.1$ i $H=530$ m wynosi 10.2 miesiąca. Jeśli czas ten wynosi ok. 10 miesięcy wstecz od dn. 28.11.2009, to oznacza, że ruchoma krawędź ściany powinna oddalić się na odległość równą zasięgowi wpływów około 28.01.2009 r. Obliczona wartość obniżeń odpowiadająca położeniu ściany w tym dniu wyniosła, przy założeniu natychmiastowego ujawniania się wpływów, 1586.8 mm.



Rys. 2. Lokalizacja punktu pomiarowego względem dokonanej eksploatacji górniczej

Fig. 2. Location of the measuring point in relation to the performed mining exploitation

Tablica 1. Podstawowe dane o dokonanej eksploatacji górniczej
Table 1. Basic data on the performed mining exploitation

Pokład Ściana/ parcela	Początek eksploatacji	Koniec eksploatacji	Grubość pokładu m	Kąt up. deg	Głębokość m	Odl. Kier km	Kąt odl. deg	a	System
349	809 20-12-2008	30-03-2009	2.1	3	518	0.23 NE	66	0.77	z
349	812 01-04-2008	30-09-2008	2.1	3	543	0.03 SW	87	0.77	z
349	813 15-08-2008	31-12-2008	2.1	3	533	0.00 Bezp	90	0.77	z

Obliczona końcowa wartość obniżenia punktu wyniosła natomiast 1590 mm. Różnica pomiędzy tymi wartościami wynosi 3.2 mm, co pozwala uznać, że prowadzona dalej eksploatacja nie oddziaływała już praktycznie na punkt. Konsekwencją tego jest możliwość uznania, że wzór (2) okazał się w tym przypadku wystarczająco dokładny dla celów praktycznych. Na rys. 3 przedstawiono również przebiegi obniżenia obliczone przy różnych wartościach parametru c . Przyjęte do obliczeń wartości wyniosły: 0.015, 0.020 i 0.025 1/dobę.

Jak widać z rys. 2, najlepszą zgodność z wynikami pomiarów uzyskano przy wartości parametru $c=0.025$ 1/dobę, jednak w początkowej i końcowej fazie procesu największa zbieżność z wynikami pomiarów wystąpiła przy wartości $c=0.015$ 1/dobę. Przy tej wartości parametru czas trwania ruchów górotworu był najbardziej zbliżony do zarejestrowanego pomiarami geodezyjnymi.

3. Zależność pomiędzy czasem trwania ruchów górotworu i współczynnikiem prędkości osiadania

Powszechnie znane równanie modelu deformacji nieustalonych wg S. Knothe'go [2] ma postać

$$\frac{dw(t)}{dt} = c \cdot (w_k(t) - w(t)) \quad (3)$$

gdzie

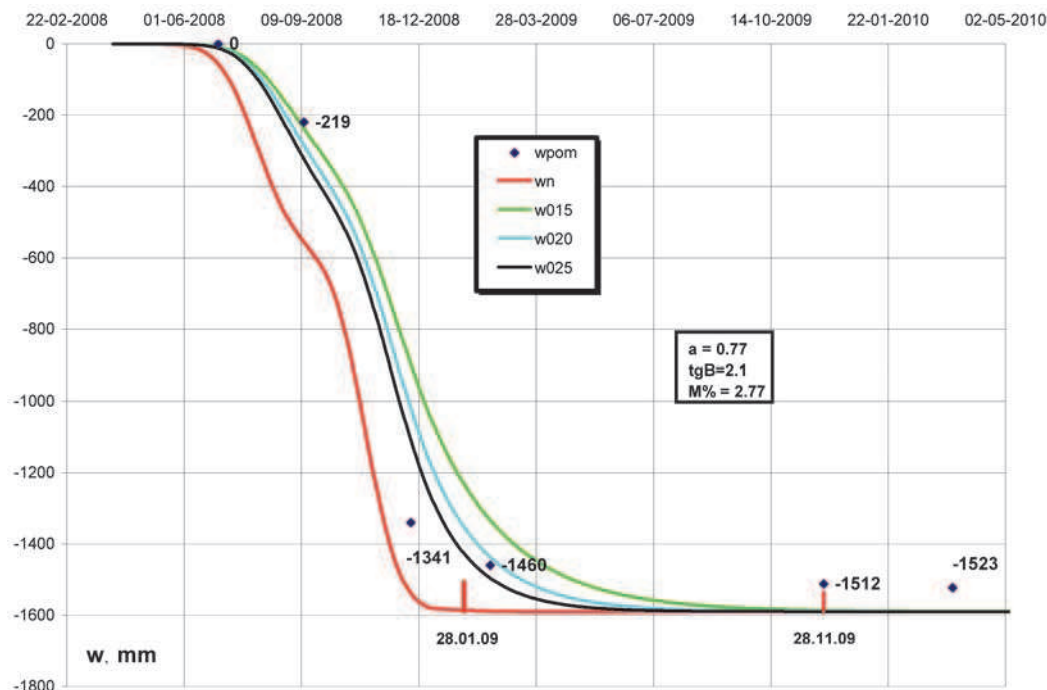
- $w_k(t)$ - końcowa (asymptotyczna) wartość osiadania
- $w(t)$ - chwilowa wartość osiadania
- c - współczynnik prędkości osiadania (czasu) o stałej wartości

Rozwiązanie równania (3) dla teoretycznego przypadku natychmiastowego wybrania elementarnego pola pokładu (przy założeniu $w_k(t)=const.$) i uwzględnieniu warunku początkowego (dla $t=0$ $w(t)=0$), ma postać

$$w(t) = w_k \cdot (1 - e^{-ct}) \quad (4)$$

W pracy [3] wykorzystano powyższy wzór dla określenia czasu trwania procesu deformacji zakładając, że wpływ ustąpił, gdy obniżenie chwilowe osiągnęło wartość 99% obniżenia końcowego. Tym sposobem, przekształcając równanie (4) obliczono, że czas trwania ruchów górotworu wyrazić można równaniem

$$T = \frac{4.6}{c} \quad (5)$$



Rys. 3. Przebieg obniżenia reperu 61 w czasie stwierdzony pomiarami oraz wyliczony przy założeniu natychmiastowego ujawniania się wpływów i przy różnych wartościach parametru c

Fig. 3. Subsidence process of the benchmark 61 ascertained by measurements and calculated under the assumption of immediate disclosure of the influences and at different values of parameter c

Biorąc pod uwagę fakt, że równanie (4) stanowi rozwiązanie równania (3) przy założeniu wybrania elementarnego pola pokładu w czasie zdążającym do zera, przyjętą można, że równanie (5) wyraża czas trwania końcowej fazy procesu deformacji po zakończeniu eksploatacji ($T=T_k$). Obliczając T_k na podstawie równania (2) można na podstawie równania (5) wyliczyć wartość parametru c .

Zależność wartości parametru c od głębokości eksploatacji H i parametru $tg\beta$, dla wartości równych: 1.6, 1.8, 2 i 2.5, przedstawiono graficznie na rys. 4.

Należy mieć świadomość pewnego uproszczenia czyniąc założenie, że czas trwania końcowej fazy procesu deformacji odpowiada całkowitemu czasowi deformacji przy natychmiastowym wybraniu elementarnego pola pokładu. Dlatego postanowiono wykonać obliczenia sprawdzające dla modelu zdyskretyzowanego. Obliczenia wykonano dla punktu położonego nad środkiem ściany o długości 250 m i wybiegu 1000 m, eksploatowanej na głębokości 1000 m, na wysokość 2 m z zawalę skał stropowych. Podstawowe dane o eksploatacji zamieszczono w tabeli 2. Lokalizacja punktu obliczeniowego względem ściany pokazana została schematycznie na rys. 5.

Do obliczeń obniżenia punktu w czasie przyjęto następujące założenia:

$a = 0.8$, $tg\beta = 2$, $c = 0.0077$ 1/dobę. Wartość parametru c została określona na podstawie wzoru (5), przy czym czas

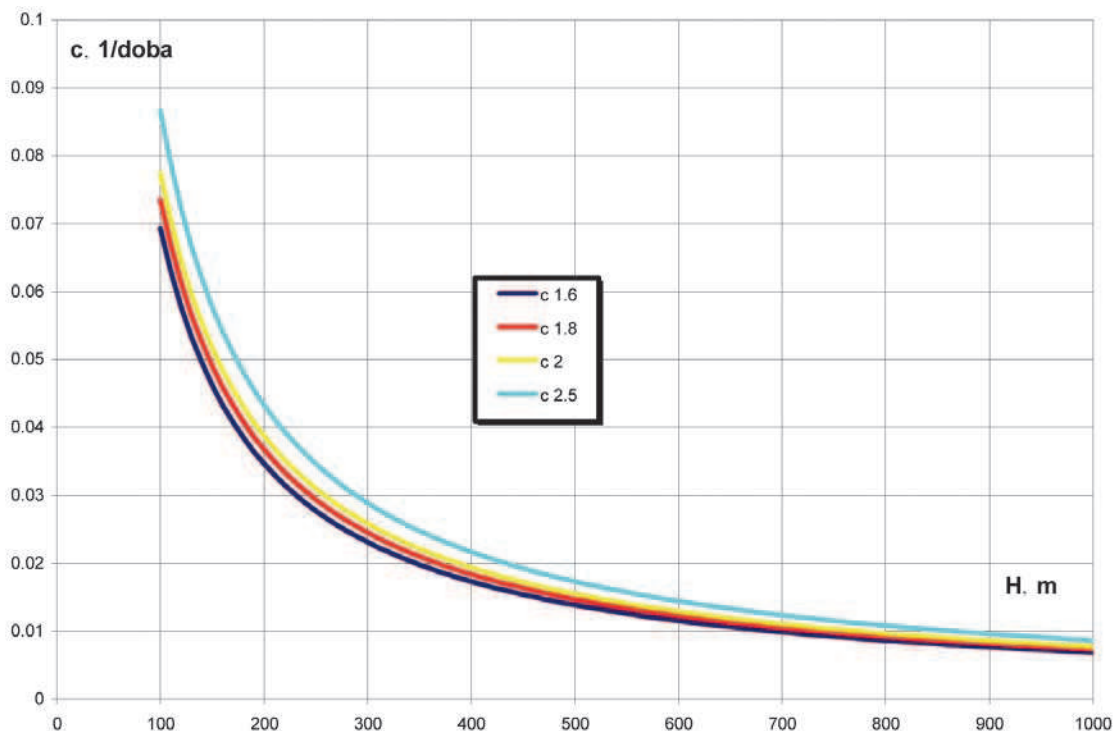
trwania końcowej fazy deformacji obliczony na podstawie wzoru (2) wyniósł $T_k = 20$ miesięcy. Korzystając z programu DEFK-Win [7] obliczono obniżenia punktu w czasie symulując eksploatację ścianą opisaną wyżej. Wyniki obliczeń zilustrowano graficznie na rys. 5. Bieg ściany zakończył się 30.06.2010, co oznaczono na rys. 5 pionową linią czerwoną po lewej stronie. Okres 20 miesięcy od tej daty wypada w końcu lutego 2012 r. (czerwona pionowa linia po prawej stronie rysunku). Obniżenie obliczone w tym dniu wyniosło 739 mm, a jego końcowa, asymptotyczna wartość wyniosła 743 mm. Pozwala to uznać, że proces deformacji w końcu lutego 2012 r. uległ zakończeniu. Należy zatem uznać, że wzór (2) oraz zastosowany za pracą [3] sposób określenia wartości parametru c dla elementarnego pola wybierania jest słuszny w przypadku modelu zdyskretyzowanego opisu obniżen nieustalonych.

4. Podsumowanie i wnioski

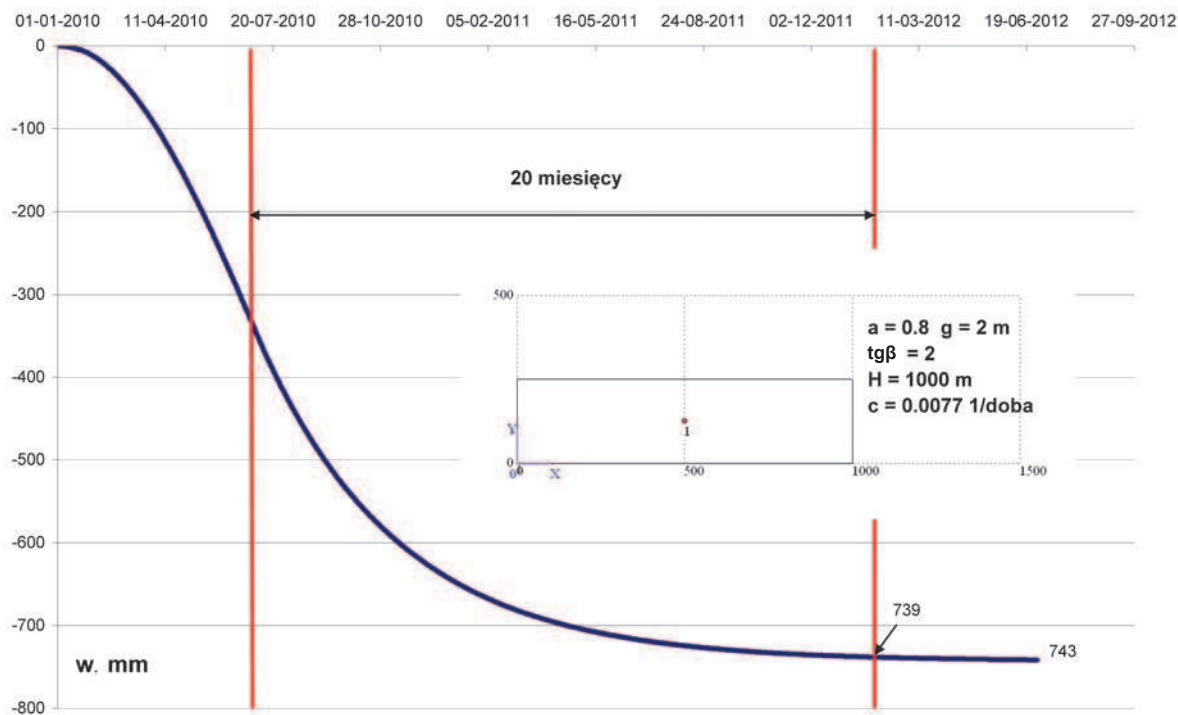
W ramach pracy przedstawiono analizy wyników pomiarów geodezyjnych i obliczeń w celu stwierdzenia praktycznej przydatności wzoru (2), służącego do określania czasu trwania końcowej fazy ruchów terenu górniczego. Zaproponowano również [3] formułę wiążącą powyższy czas z wartością

Tabela 2. Podstawowe dane o warunkach geologiczno-górnich eksploatacji
Table 2. Basic data on geological and mining exploitation

Pokład Ściana/ parcela	Początek eksploatacji	Koniec eksploatacji	Grubość pokładu m	Kąt up. deg	Głębokość m	Odległość km	Kierunek	Kąt odl. deg	a	Sys- tem
1	1 01-01-2010	30-06-2010	2	0	1000	0.00	Bezp	90	0.80	z



Rys. 4. Zależność wartości parametru c od głębokości eksploatacji H , przy różnych wartościach parametru $tg\beta$
Fig. 4. Dependence of the value of parameter c on the depth of exploitation H at different values of parameter $tg\beta$



Rys. 5. Przebieg obniżenia punktu obliczony dla symulacji biegu ściany z zaznaczonym czasem zatrzymania biegu ściany i okresem uspokojenia się ruchów górotworu

Fig. 5. Subsidence process of the point calculated for the simulation of the wall run with the time of stop of the wall run marked on the diagram above and time of calming down of the rock mass movement

współczynnika prędkości osiadania - c . Przeprowadzone analizy upoważniają do poczynienia następujących stwierdzeń i wniosków:

1. Możliwość określania czasu trwania procesu deformacji górotworu jest istotna z uwagi na często spotykane rozszczenia o tzw. szkody górnicze, czy też planowanie inwestycji na terenach górniczych. Uzasadnia to celowość prezentowanych w pracy analiz i rozważań.
2. Przedstawione w pracy analizy potwierdzają przydatność praktyczną wzoru (2). Zastosowany za pracę [3] sposób obliczania wartości współczynnika prędkości osiadania c pozwala na dokonywanie prognoz deformacji chwilowych przy uzyskiwaniu czasu trwania końcowej fazy obniżenia zgodnego ze wzorem (2).

Literatura

1. Chudek M., Strzałkowski P., Ścigala R.: Czas trwania poeksploatacyjnych deformacji powierzchni terenu w zależności od warunków geologiczno-górnictwowych. „Budownictwo Górnicze i Tunelowe. Kwartalnik Naukowo-Techniczny” 2000, nr 3.
2. Knothe S.: Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1984.
3. Kowalczyk Z.: Określenie wpływów eksploatacji górniczej metodą przekrojów pionowych. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1972.
4. Strzałkowski P.: Zarys ochrony terenów górniczych. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2010.
5. Strzałkowski P.: Wybrane aspekty określania stanu deformacji terenu górniczego. „Przeгляд Górnictwa” 2012, nr 6.
6. Strzałkowski P., Ścigala R.: Determination of the duration of surface subsidence caused by underground extraction. Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg. Freiberg 2010. (p. 77-81)
7. Ścigala R.: Komputerowe wspomaganie prognozowania deformacji górotworu i powierzchni wywołanych podziemną eksploatacją górniczą. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2008.
8. Ścigala R.: Określenie czasu trwania końcowej fazy ruchów powierzchni terenu w przypadku dużego natężenia eksploatacji. „Przeгляд Górnictwa” 2004, nr 12.