

Piotr STRZAŁKOWSKI

Politechnika Śląska, Gliwice

Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochroną Powierzchni

PROGNOZOWANIE WPLYWU PRĘDKOŚCI POSTĘPU FRONTU WYBIERANIA NA PRZEBIEG DEFORMACJI W CZASIE

Streszczenie. W pracy przedstawiono przykład prognozy wpływu prędkości wybierania na przebieg deformacji w czasie. Obliczenia przeprowadzono na podstawie analiz wyników pomiarów i własnych modeli opisu deformacji chwilowych.

PREDICTING OF INFLUENCE OF FACE ADVANCE SPEED ON MINING SUBSIDENCE RATE

Summary. The influence of face advance speed on mining subsidence rate has been presented in the paper. Calculations were executed on the basis of results geodetic measurements as well as own mathematical model of land surface deformations description in transient state.

1. Wprowadzenie

Jaka powinna być optymalna prędkość postępu frontu eksploatacyjnego? Jeszcze na początku lat 90. uważano, że należy prowadzić eksploatację możliwie z największą prędkością postępu frontu. Zmniejszanie do ok. 60% wartości maksymalnych chwilowych nachyleń i odkształceń poziomych w wyniku wzrostu prędkości postępu frontu eksploatacji zauważono m.in. w pracach [6, 23]. Wzrost mechanizacji robót górniczych, konstruowanie i wdrażanie wysoko wydajnych kompleksów ścianowych spowodowały, że prędkość postępu wybierania zaczęła znacznie wzrastać. Prędkości postępu frontu osiągane w Niemczech przekraczały 20 m/dobę, co w konsekwencji prowadziło do występowania znacznych przyrostów deformacji w czasie i uszkodzenia budynków. W warunkach dużej sztywności warstw stropowych dochodziło ponadto do gwałtownego pękania tworzących się wspomników skalnych i występowania progów terenowych.

Problem ten sygnalizowany był już w pracy [6], w której podano propozycję rozszerzenia klasyfikacji terenów górniczych o wartości prędkości dobowych obniżeń i odkształceń punktów oraz przyspieszeń obniżeń (tabela 1).

Tabela 1

Propozycja rozszerzenia klasyfikacji terenów górniczych wg [6, 17]

Kategoria	dw/dt [mm/dobę]	d^2w/dt^2 [mm/dobę ²]	$d\varepsilon/dt$ [mm/m/dobę]
0	1	0,002	0,005
I	3	0,020	0,015
II	6	0,080	0,030
III	12	0,250	0,060
IV	18	0,500	0,100

W pracy [17] rozszerzono tematykę szkodliwego wpływu prędkości postępu frontu i przestojów ścian na przebieg deformacji oraz uszkodzenia obiektów na powierzchni. Podobne poglądy znaleźć można w pracach [1, 2, 4, 5, 9, 12, 13], przy czym podkreślano również niekorzystny wpływ przestojów w eksploatacji na uszkodzenia obiektów [4, 5, 17, 19].

W świetle powyższych poglądów można uznać, że w zależności od odporności danego obiektu, dla konkretnych warunków geologiczno-górniczych należy tak dobrać prędkość postępu frontu wybierania, aby prędkość obniżeń nie przekraczała wartości dopuszczalnych [17, 19]. Podkreślić należy również, że dogłębne poznanie problemu wymaga dysponowania odpowiednimi wynikami pomiarów prowadzonymi nad eksploatacją dokonywaną z dużą prędkością. Wśród polskich kopalń jedynie w KWK „Staszic” [9, 10] i KWK „Wesoła” [7] prowadzono takie pomiary.

W ramach niniejszej pracy przedstawiono rozważania dotyczące wpływu prędkości postępu frontu eksploatacyjnego na chwilowe wartości wskaźników deformacji na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych i własnego modelu matematycznego opisu deformacji nieustalonych.

2. Przyjęty do analiz model opisu deformacji chwilowych

W ramach pracy zastosowano model matematyczny zakładający zmienność parametru c od zmiennej czasowej [18, 19, 20]. Założenie to prowadzi, przy teoretycznym przyjęciu natychmiastowego wybrania pewnego pola pokładu ($w_k(t_k, x) = \text{const}$) i dyskretnej reprezentacji czasu, do zapisania równania wyjściowego w postaci:

$$\frac{dw(t, x)}{dt} = c(t) \cdot [w_k(t_k, x) - w(t, x)], \quad (1)$$

gdzie: $w(t, x)$ – obniżenie chwilowe,

$w_k(t_k, x)$ – obniżenie końcowe,

t_k – czas potrzebny do uspokojenia się ruchów powierzchni terenu wywołanych eksploatacją pewnej partii pokładu,

x – współrzędna przestrzenna, $x \in \mathbb{R}^2$.

Rozwiązanie równania (1) ma następującą postać [18]:

$$w(t; x) = w_k(t_k, x) + E \cdot e^{-\int c(t) dt}, \quad (2)$$

gdzie E – stała całkowania, której wartość dla danego stanu frontu wynosi $w_k(t_k, x)$.

Z uwagi na przyjętą konwencję ujemnych wartości obniżen $|w(t; x)| \leq |w_k(t_k, x)|$, $E > 0$.

Analizy przedstawione w pracy [18] wskazują, że przebieg zmienności parametru $c_c = \int c dt$ można aproksymować funkcją w postaci:

$$c_c = a_1 \cdot \text{tgh}\left(\frac{t}{b} + d\right), [1/\text{doba}] \quad (3)$$

gdzie: a_1 – współczynnik [1/doba],

b – współczynnik [doba],

d – bezwymiarowy współczynnik.

3. Analiza wyników pomiarów

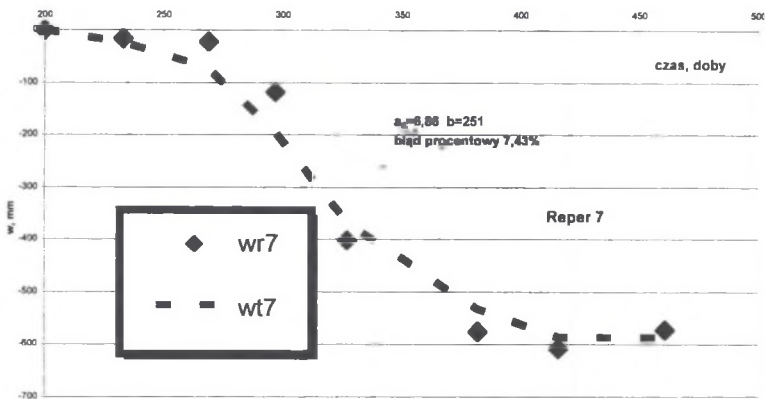
Analizom poddano wyniki pomiarów prowadzonych nad eksploatacją dokonywaną systemem ścianowym podłużnym z zawalem stropu, na wysokość średnią 1,7 m, na głębokości ok. $720 \div 750$ m. Długość ściany wynosiła 240 m, a jej wybieg 1100 m. Średnia prędkość postępu frontu wynosiła zatem od ok. 1m/dobę do ok. 5 m/dobę [21].

W pierwszej kolejności dokonano identyfikacji parametrów teorii W. Budryka – S. Knothego [8] na podstawie niecki statycznej. Otrzymano następujące wartości parametrów:

- współczynnik kierowania stropem – $a = 0,59$,
- tangens kąta zasięgu wpływów głównych – $tg\beta = 2,1$.

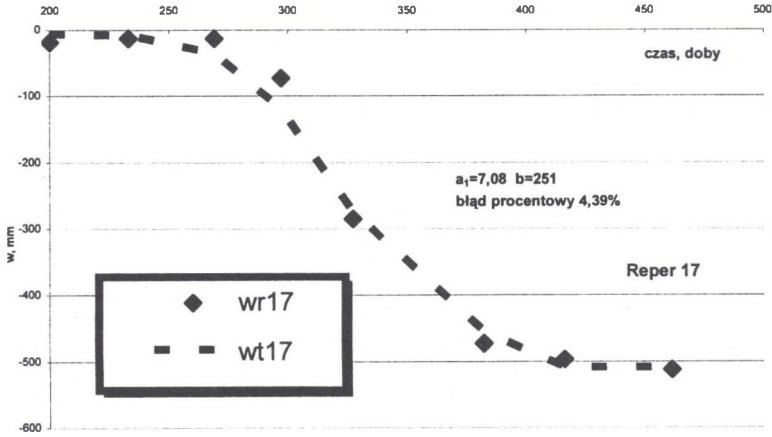
Tak mała wartość współczynnika kierowania stropem spowodowana była niewielką długością ściany w stosunku do promienia zasięgu wpływów głównych.

Następnie identyfikacji poddano wartości współczynników równania (3) na podstawie przebiegów obniżen w czasie wybranych reperów, przy przyjęciu wartości parametrów: a , $tg\beta$ na podstawie niecki ustalonej. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przebiegi obniżen określonych na podstawie wyników pomiarów i obliczeń oraz wyznaczone wartości współczynników równania (3) i błędu procentowego obniżen.



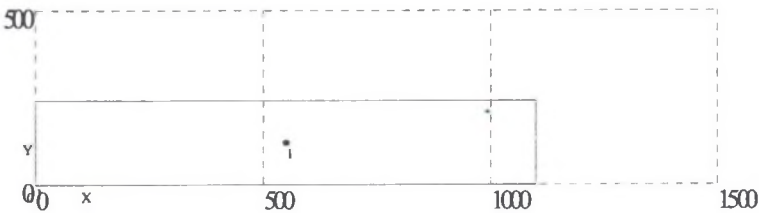
Rys. 1. Przebieg obniżen w czasie punktu 7

Fig. 1. Graph of the subsidence of Point 7 in time



Rys. 2. Przebieg obniżeń w czasie punktu 17
 Fig. 2. Graph of the subsidence of Point 17 in time

Dysponując wartościami parametrów wyznaczonymi na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych i stosownym oprogramowaniem komputerowym autorstwa R. Ścigały [22], dokonano symulacji biegu ściany o identycznych wymiarach jak poprzednio opisana. Obliczano wartości: obniżeń, prędkości obniżeń oraz nachyleń i odkształceń poziomych maksymalnych oraz w kierunku osi x w punkcie przyjętym nad środkiem wyrobiska – rys. 3. Obliczenia przeprowadzono dwukrotnie: dla prędkości postępu 3 m/dobę i 5 m/dobę.

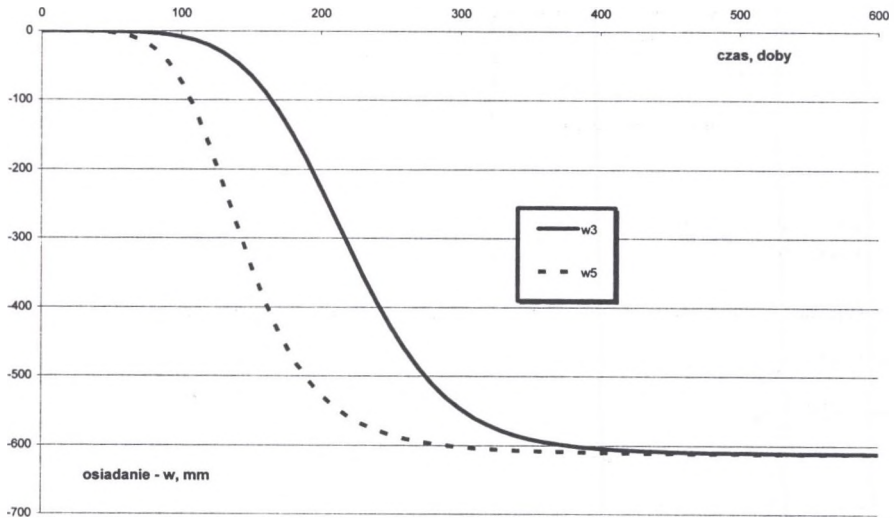


Rys. 3. Schemat lokalizacji punktu obliczeniowego względem eksploatacji
 Fig. 3. Location of the calculation point as related to the extraction field

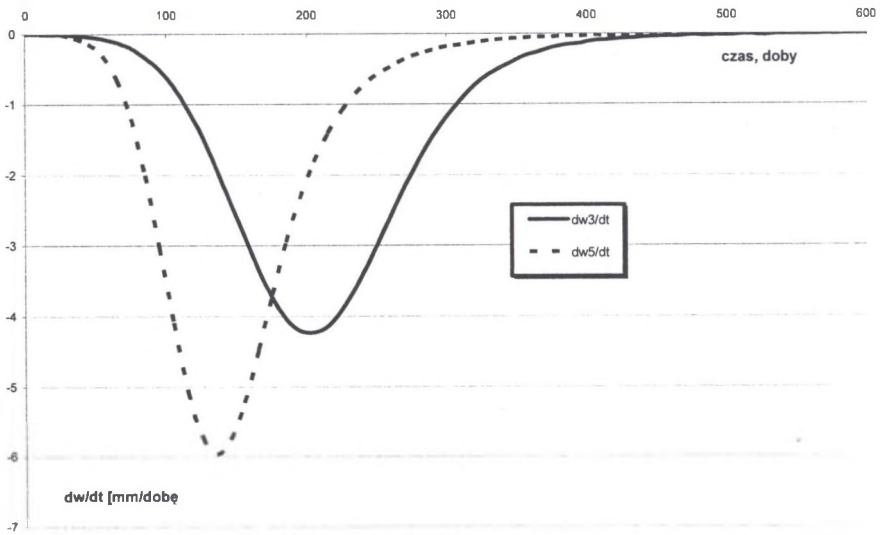
Oczywiście wartości parametrów opisujących przebieg deformacji w czasie powinny zależeć od prędkości postępu frontu eksploatacyjnego. Dla uproszczenia jednak przyjęto stałe wartości parametrów, motywując to faktem, że w przypadku identyfikacji wartości parametrów na podstawie wyników pomiarów, prędkość postępu frontu zmieniała się w przedziale od ok. 1 m/dobę do ok. 5 m/dobę. Obliczenia dokonywano z zadaniem krokiem 5-dniowym. Wyniki obliczeń dla obu założonych prędkości postępu frontu eksploatacyjnego przedstawiono na rysunkach: obniżenia punktu w – rys. 4, prędkości obniżenia dw/dt – rys. 5,

nachylenia maksymalne T_{max} – rys. 6, odkształcenia poziome w kierunku x - $Ea1$ oraz maksymalne E_{max} – rys. 7.

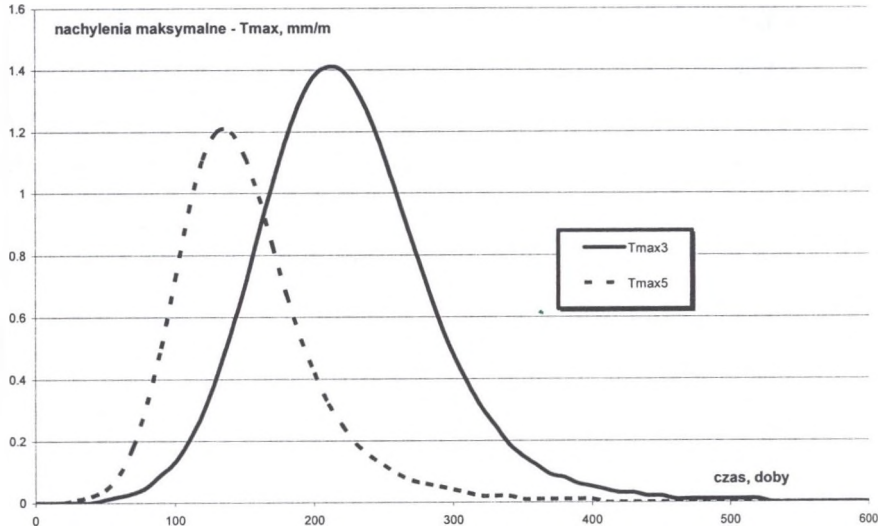
Na wszystkich rysunkach przedstawiono przebiegi wskaźników deformacji odpowiadające obu założonym prędkościom postępu frontu, przy czym indeksy 3 i 5 odpowiadają odpowiednio prędkościom postępu 3 i 5 m/dobę.



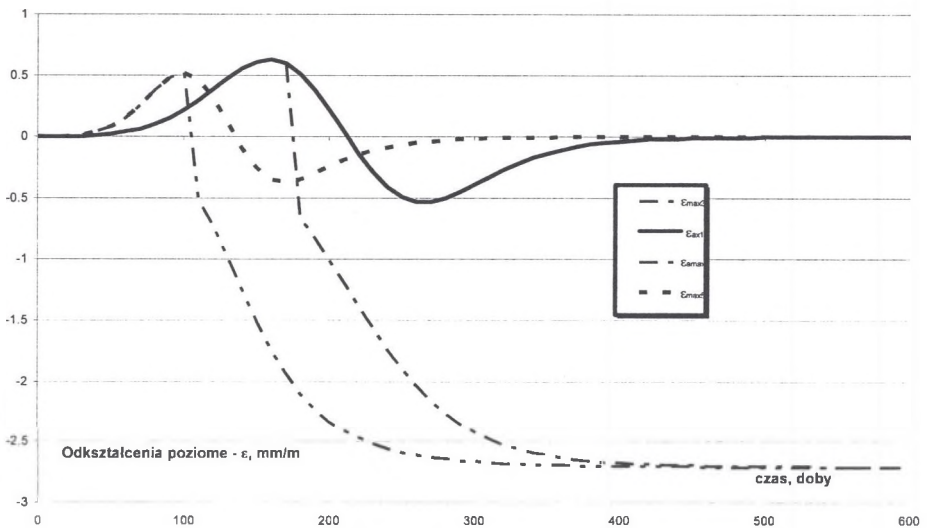
Rys. 4. Przebiegi obniżenia punktu w czasie dla rozpatrywanych prędkości eksploatacji
 Fig. 4. Graph of the subsidence of the point over time for the considered rate of extraction



Rys. 5. Przebiegi prędkości obniżenia punktu w czasie dla rozpatrywanych prędkości eksploatacji
 Fig. 5. Graph of subsidence speed of the point in time for the considered rate of extraction



Rys. 6. Przebiegi w czasie nachyleń obliczonych w punkcie dla rozpatrywanych prędkości eksploatacji
 Fig. 6. Graph of the inclinations of the point over time for the considered rate of extraction



Rys. 7. Przebiegi w czasie odkształceń poziomych obliczonych w punkcie dla rozpatrywanych prędkości eksploatacji

Fig. 7. Graph of the horizontal deformation of the point over time for the considered rate of extraction

Wzrost prędkości eksploatacji z 3 m/dobę do 5 m/dobę spowodował nieznaczne zmniejszenie wartości nachyleń maksymalnych, lecz w obu przypadkach zawierały się one w I kategorii terenów górniczych. Zmniejszeniu uległy wartości odkształceń poziomych w kierunku postępu frontu eksploatacyjnego, natomiast odkształcenia maksymalne końcowe przyjmowały identyczne wartości i mieściły się w przedziale II kategorii. Zatem prawie dwukrotny wzrost prędkości postępu frontu nie spowodował mniejszego zagrożenia obiektu wpływami końcowymi eksploatacji.

Jeśli chodzi o wpływ postępu frontu eksploatacyjnego na narastanie deformacji w czasie, to można zauważyć, że:

- w przypadku prowadzenia eksploatacji z prędkością 3 m/dobę wartość maksymalnej prędkości obniżenia wyniosła 4,2 mm/dobę (II kategoria), maksymalna wartość przyspieszenia obniżen wyniosła 0,03 mm/dobę² (II kategoria), a maksymalna wartość prędkości narastania odkształceń poziomych 0,019 mm/m/dobę (II kategoria).
- w przypadku prowadzenia eksploatacji z prędkością 5 m/dobę wartość maksymalnej prędkości obniżenia wyniosła ok. 6 mm/dobę (II kategoria), maksymalna wartość przyspieszenia obniżen wyniosła 0,107 mm/dobę² (III kategoria), a maksymalna wartość prędkości narastania odkształceń poziomych 0,026 mm/m/dobę (II kategoria).

4. Podsumowanie

Z przedstawionych analiz wynika, że zwiększenie prędkości postępu frontu powoduje wprawdzie zmniejszenie wartości wskaźników deformacji w wybranych kierunkach, lecz końcowe wartości maksymalnych odkształceń pozostają niezmiennie (w przypadku prowadzenia eksploatacji nie dość szerokim frontem). Wzrost prędkości postępu frontu eksploatacji może natomiast powodować zbyt duże przyrosty deformacji w czasie, a to z kolei prowadzić może do uszkodzeń obiektów. Zatem dla danego obiektu, w zależności od kategorii jego odporności, należy dobierać indywidualnie prędkość postępu frontu, mając na względzie maksymalne wartości końcowe wskaźników deformacji, wartości wskaźników deformacji w wybranych kierunkach (obiekty liniowe) i przyrosty wskaźników deformacji w czasie.

BIBLIOGRAFIA

1. Białek J.: Opis nieustalanej fazy obniżenia terenu górniczego z uwzględnieniem asymetrii wpływów końcowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 194, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1991.
2. Chudek M., Stefański L.: Wpływ postępu frontu górniczego na szybkość deformacji terenu na powierzchni. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 145, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1990.
3. Chudek M., Flisowski A.: Propozycja obliczania nieustalonych obniżenia powierzchni terenu przy zastosowaniu oryginalnej funkcji wpływów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 225, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1995.
4. Drzęzła B.: Wzrost prędkości wybierania – ekonomiczna konieczność, ujemne strony i próba nowego opisu oddziaływania na powierzchnię. Konferencja pt.: „Działalność górnictwa węgla kamiennego w warunkach gospodarki rynkowej i ograniczeń ekologicznych”, Gliwice 1992.
5. Drzęzła B.: Przybliżona ocena niektórych parametrów kinematyki niecki osiadania przy zmianach prędkości wybierania i postojach ścian. Przegląd Górniczy, nr 9/1995.
6. Dżęgniuk B., Sroka A.: Prędkość postępu frontu eksploatacji górniczej a proces deformacji górotworu i powierzchni. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej pt.: „Wpływ prędkości eksploatacji na ochronę obiektów na powierzchni”, Komisja Ochrony Terenów Górniczych PAN, Katowice 1978.

7. Gustkiewicz J. et al.: The influence of pauses in longwall working on surface strains as measured by soil strain measurement devices. Archives of Mining Sciences, Vol. 48, No. 2, 2003.
8. Knothe S.: Wpływ czasu na kształtowanie się niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, t. I, z. I., 1953.
9. Kowalski A.: Wpływ prędkości eksploatacji na deformacje powierzchni na przykładzie eksploatacji KWK „Staszic”. Szkoła Eksploatacji Podziemnej 96’, Sympozja i Konferencje, nr 20, Kraków 1996.
10. Kowalski A.: Nieustalone górnictwo deformacje powierzchni w aspekcie dokładności prognoz. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, nr 871, Katowice 2007.
11. Kruczkowski M.: Wpływ dużego postępu frontu i przerw w eksploatacji na rozkład deformacji na powierzchni. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Gliwice 2006.
12. Kwiatek J.: Wpływ prędkości podziemnej eksploatacji górniczej na obiekty budowlane. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 5 (93)/2002.
13. Kwiatek J.: O reologicznych aspektach zagrożenia obiektów budowlanych na terenach górniczych. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, nr 827, Katowice 1998.
14. Pielok J., Piwowarski W.: Kinematik des Deformationsvorganges einer Eisenbahnstrecke infolge der Einwirkungen vom Bruchbach eines Kohlenfozes. IX Congres ISM, Praha 1994.
15. Piwowarski W.: Prognozowanie przemieszczeń pionowych powstałych w procesie rozwijającej się eksploatacji górniczej w oparciu o liniowy model matematyczny zjawiska. Praca doktorska, Kraków 1977 (praca niepublikowana).
16. Piwowarski W.: Opis przemieszczeń pionowych aktywnego procesu deformacji górotworu w warunkach eksploatacji górniczej. Zeszyty Naukowe AGH, s. Geodezja, z. 106, Kraków 1989.
17. Sroka A.: Dynamika eksploatacji górniczej z punktu widzenia szkód górniczych. Polska Akademia Nauk, s. Studia, rozprawy, monografie, nr 58, Kraków 1999.
18. Strzałkowski P.: A model of deformation of a rock mass with respect to relations of a subsidence coefficient and a time co-ordinate and spatial co-ordinates. Geodezja i Kartografia, t I, z. 2/2001.
19. Strzałkowski P.: Neues Gebirgsdeformationsmodell unter Berücksichtigung der Absenkgeschwindigkeit. Glückauf Forschungshefte, Nr. 1/2002.
20. Strzałkowski P.: Anwendung des Gebirgsdeformationsmodells unter Berücksichtigung der Veränderung der den zeitlichen Verlauf des Prozesses beschreibenden Parameter. Glückauf Forschungshefte, Nr. 142 /2006.

21. Strzałkowski P.: Ochrona środowiska na terenach górniczych. Wybrane problemy. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
22. Ściagała R.: System komputerowy do prognozowania deformacji w stanie nieustalonym z uwzględnieniem zmienności w czasie parametru odpowiedzialnego za kinetykę niecki osiadania. Międzynarodowa Konferencja VI SZKOŁA GEOMECHANIKI, Ustroń, październik 2003.
23. Trojanowski K.: O możliwościach aproksymowania czasoprzestrzennych zjawisk deformacji powierzchni wywołanych wpływem podziemnej eksploatacji górniczej. Praca habilitacyjna, Wydawnictwo GIG, Katowice 1964.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Wiesław PIWOWARSKI

Abstract

The development of mining machinery is responsible for an increase of a face advance. The speed of mining subsidence increases as a result of this. High speed of mining subsidence and other deformation indices are reason of damage in buildings, too. It is a very actual and important problem to calculate values of deformation indices in transient state. The influence of face advance speed on mining subsidence rate has been presented in the paper. The calculations were executed on the basis of results geodetic measurements and own mathematical model of deformations description in transient state.

The proposal of the Knothe model modification has been presented, with involved assumption, that parameter c changes over time. Practical possibilities of using the mathematical model for prediction mining subsidence in transient state, (especially for determine admissible speed of subsidence and connected with it face advance) has been presented in the paper too.