

Piotr STRZAŁKOWSKI, Marek MARUSZCZYK  
Politechnika Śląska, Gliwice

## PROGNOZOWANIE DEFORMACJI GÓROTWORU Z UWZGLĘDNIENIEM ZMIENNEJ CZASOWEJ

**Streszczenie.** Dotychczas dokonywane prognozy deformacji górotworu prowadzone były przy założeniu natychmiastowego ujawniania się deformacji. W pracy [7] zbadano zmienność współczynnika prędkości osiadania w górotworze, co przy dysponowaniu odpowiednim oprogramowaniem [11] pozwala na dokonywanie analiz przebiegu procesu deformacji górotworu z uwzględnieniem zmiennej czasowej. Prowadzone w ten sposób prognozy pozwalają m.in. na dokładniejszą optymalizację czasu eksploatacji kostki przyszybowej z uwagi na wartości deformacji na wybranym horyzoncie nad stropem eksploatowanego pokładu.

## PREDICTING OF ROCK MASS DEFORMATION OPER TIME

**Summary.** The analyses of rock mass deformation prediction included in the literature usually have been led in situations, when influences of extraction were immediate. There has been presented the research results of variability of time factor in rock mass in this paper. If we have at disposal a specialized computer program that can employ this variability, the analyses of rock mass deformation can be more precise. As another advantage, we can determine proper moment of start of “shaft cube” extraction (extraction field near shaft) in relation to the main extraction front approaching shaft’s location, so the values of deformation indices could be reduced in certain locations along shaft’s tube as the effect of influences superposition.

### 1. Wprowadzenie

Wyczerpywanie się zasobów węgla kamiennego, do których można sięgać i prowadzić ich eksploatację w sposób nieskrępowany, powoduje konieczność wybierania filarów ochronnych. Wysoki stopień zurbanizowania w GZW oraz budowa nowych dróg kolejowych i autostrad powodują, że problem ten nabiera coraz większego znaczenia. Zarówno w przypadku obiektów budowlanych na powierzchni, jak i szybów, eksploatacja powinna być zaprojektowana i prowadzona w sposób gwarantujący bezpieczne użytkowanie tych obiektów. Z zagadnieniem tym wiąże się ściśle problem dokonywania prognoz deformacji o

możliwie jak największej zgodności z wynikami pomiarów. W przypadku prognoz dotyczących stanów końcowych deformacji terenu górniczego można uznać, że jakość ich jest wystarczająco wysoka dla celów praktycznych. Gorszą jakość prognoz deformacji uzyskuje się natomiast w przypadku prognoz stanów nieustalonych, zwłaszcza dokonywanych dla punktów zlokalizowanych w górotworze. Konieczność podnoszenia jakości prognoz dla punktów wewnątrz górotworu związana jest z zagadnieniem bezpiecznego użytkowania szybów, co jest bardzo istotne dla funkcjonowania kopalń.

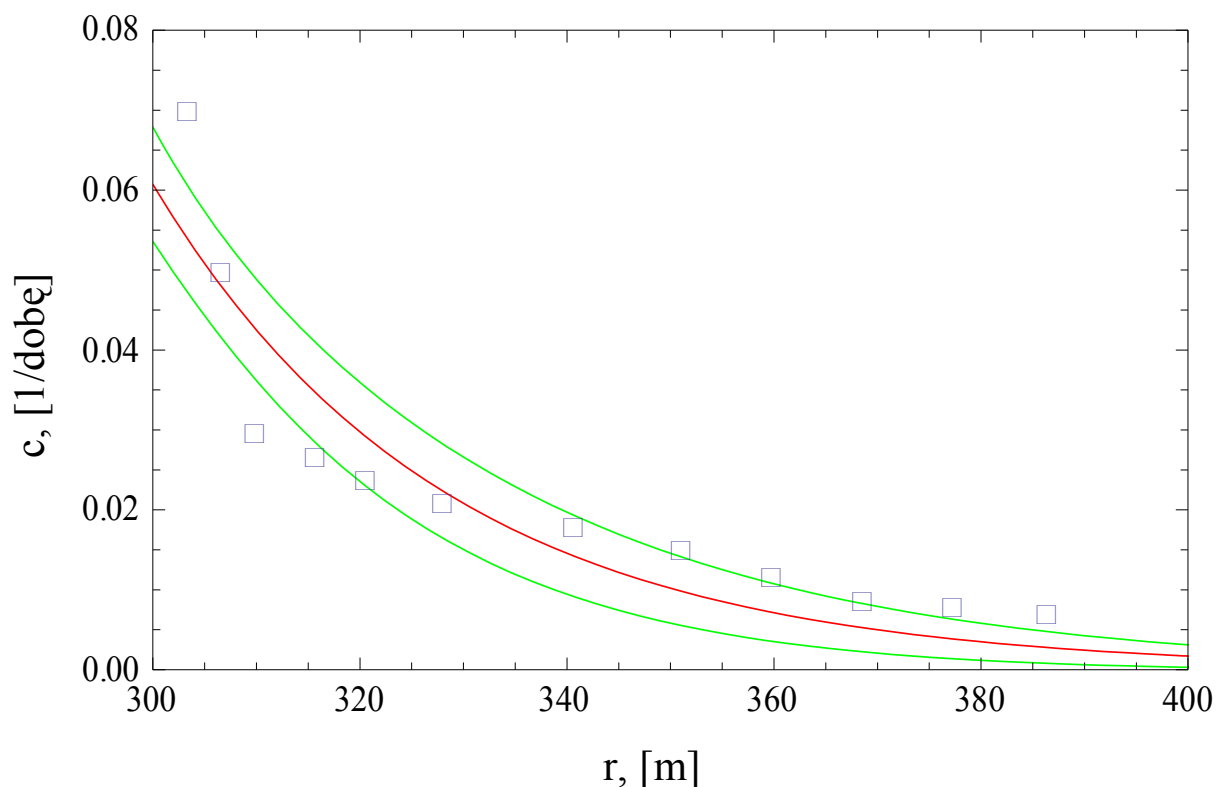
W związku z powyższym, w ramach niniejszej pracy przedstawiono analizy wyników prognozy deformacji na przyjętym horyzoncie w szybie. Obliczenia wykonano w dwóch wariantach: przy założeniu natychmiastowego ujawniania się wpływów (stan ustalony) oraz przy uwzględnieniu modelu opisującego chwilowe wartości deformacji [7]. Należy tu dodać, że dotychczas prowadzone analizy metod eksploatacji filarów szybowych [3, 8, 9] opierano na wynikach obliczeń prowadzonych bez uwzględnienia współrzędnej czasowej. Na tej podstawie określano również czas wybierania kostki przyszybowej. Jak wykazano w ramach niniejszej pracy, uwzględnianie w obliczeniach modelu opisującego przebieg deformacji w czasie prowadzi do znacznych różnic w stosunku do dotychczas uzyskiwanych wyników.

Wartość współczynnika prędkości osiadania można na danym horyzoncie identyfikować na podstawie wyników pomiarów. W ramach pracy [7] wyniki identyfikacji aproksymowano funkcją wykładniczą, przyjmując jako zmienną niezależną wartość promienia zasięgu wpływów  $r(z)$ :

$$c(z) = a \cdot e^{br(z)}. \quad (1)$$

W wyniku optymalizacji otrzymano następujące wartości współczynników:  $a = 2708,540$ ,  $b = -0,036$ , przy wartości kwadratu współczynnika korelacji wielokrotnej  $R^2 = 0,9697$ .

Wyniki aproksymacji przedstawiono na rys. 1, na którym pokazano również przedziały ufności na poziomie 0,95.



Rys. 1. Wartości parametru  $c$  uzyskane na podstawie analizy wyników pomiarów i aproksymująca je funkcja (1)

Fig. 1. The values of parameter  $c$  obtained on the basis of geodesic measurements and approximation function

## 2. Przykład prognozy stanu deformacji

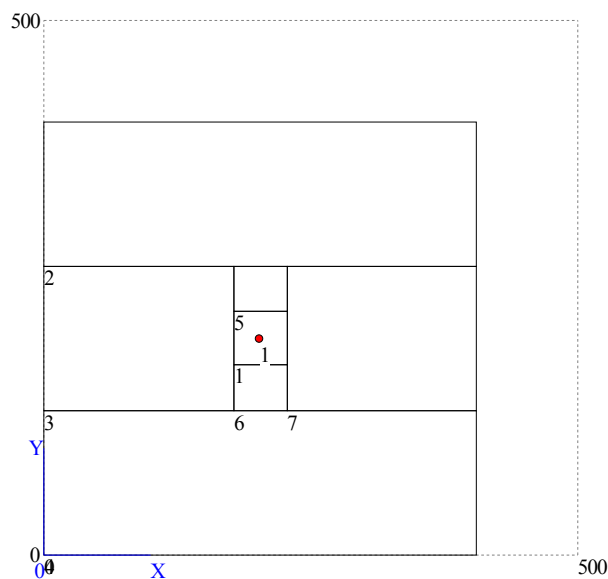
W celu przykładowego przedstawienia prognozy stanu deformacji, założono eksploatację filara ochronnego szybu o wymiarach 405 m na 405 m, w pokładzie zalegającym na głębokości 300 m. Przyjęto, że filar eksploatowany będzie trzema ścianami o wybiegach 405 m i długościach 135 m każda. Ściany prowadzone będą ze wschodu na zachód. Bezpośrednio przy szybie pokład wybierany będzie za pomocą kostki przyszybowej o wymiarach 50 m na 50 m. Eksploatacja kostki dokonywana będzie ubierką o biegu z południa na północ. Całość eksploatacji dokonywana będzie na wysokość 2 m z podsadzką hydrauliczną. Dla celów obliczeniowych wprowadzono następującą numerację parcel eksploatacyjnych – rys. 2:

- Parcela nr 1 – kostka przyszybowa. Eksploatacja w czasie od 11.02.01 do 26.02.01.
- Parcela nr 2 – ściana północna. Eksploatacja w czasie od 01.01.01 do 11.04.01.
- Parcela nr 3 – ściana środkowa na wybiegu od rozcinki ścianowej do wybiegu 177,5 m (do osiągnięcia granicy kostki). Eksploatacja w czasie od 11.01.01 do 25.02.01.

- Parcela nr 4 – ściana południowa. Eksploatacja w czasie od 21.01.01 do 01.05.01.
- Parcela nr 5 – ubierka na południe od kostki, stanowiąca przedłużenie ściany środkowej na wybiegu od 177,5 m do 227,5 m. Eksploatacja w czasie od 26.02.01 do 09.03.01.
- Parcela nr 6 – ubierka na północ od kostki, stanowiąca przedłużenie ściany środkowej na wybiegu od 177,5 m do 227,5 m. Eksploatacja w czasie od 26.02.01 do 09.03.01.
- Parcela nr 7 – ściana środkowa na wybiegu od 227,5 m do końca biegu (do 405 m). Eksploatacja w czasie od 10.03.01 do 21.04.01.

Założono, że front eksploatacyjny będzie przesuwiał się z prędkością 4 m/dobę. Przedmiotem analizy będzie oddziaływanie eksploatacji górniczej na punkt położony 50 m nad wybieranym pokładem (np. wlot do podszybia). Do obliczeń przyjęto następujące założenia [7, 10]:

- Wartość parametru  $\mathbf{tg\beta}$  dla powierzchni  $\mathbf{tg\beta = 1,6}$ .
- Wykładnik potęgi we wzorze opisującym zmienność promienia zasięgu wpływów w górotworze  $\mathbf{n = 0,6}$ , zatem przebieg zmienności parametru  $\mathbf{r(z)}$  jest podobny do tego w pracy [1].
- Wartość współczynnika kierowania stropem: dla kostki  $\mathbf{a = 0,15}$ , dla frontu zasadniczego  $\mathbf{a = 0,25}$
- Wartość współczynnika prędkości osiadania przyjęto dla wszystkich parcel  $\mathbf{c = 0,1}$  [1/doba].



Rys. 2. Schemat lokalizacji parcel eksploatacyjnych  
Fig. 2. The scheme of extracted fields location

Analizy rozpoczęto od symulacji biegu ścian bez uwzględnienia wpływu czasu na przebieg deformacji, czyli tak jakby wpływy eksploatacji ujawniały się w sposób natychmiastowy. Jest to sposób prowadzenia analiz zgodny z dotychczas stosowanym. Wszelkie obliczenia dokonywane były za pomocą programu DEFK – Win [11].

W początkowym etapie badań dokonano zatem obliczeń polegających na symulacji biegu ścian i wybierania kostki, przy założeniu natychmiastowego ujawniania się wpływów eksploatacji na górotwór. Rozpatrywano przy tym oddzielnie oddziaływanie frontu zasadniczego i kostki. Założono następujące umowne okresy prowadzenia robót:

- Początek eksploatacji parceli 2 – 01.01.2001.
- Początek eksploatacji parceli 3 – 11.01.2001.
- Początek eksploatacji parceli 4 – 21.01.2001.
- Eksploatacja kostki od 11.02.2001 do 26.02.2001.

Rozpatrywano przedział czasu od 11.02.2001 do 25.02.2001, kiedy do front zasadniczy (ściana środkowa, parcela 3) osiągnął granicę kostki.

Wyniki symulacji komputerowej w zakresie dotyczącym odkształceń pionowych pokazano na rys. 3. Odkształcenia obliczano na podstawie różnicy obniżen dwóch punktów odległych od siebie o 1 m, co pozwoliło na uproszczenie obliczeń w stosunku do obliczeń prowadzonych przy zastosowaniu wzoru:

$$\frac{dw}{dz} = \frac{\partial w}{\partial z} \cdot \frac{\partial r}{\partial z}, \quad (2)$$

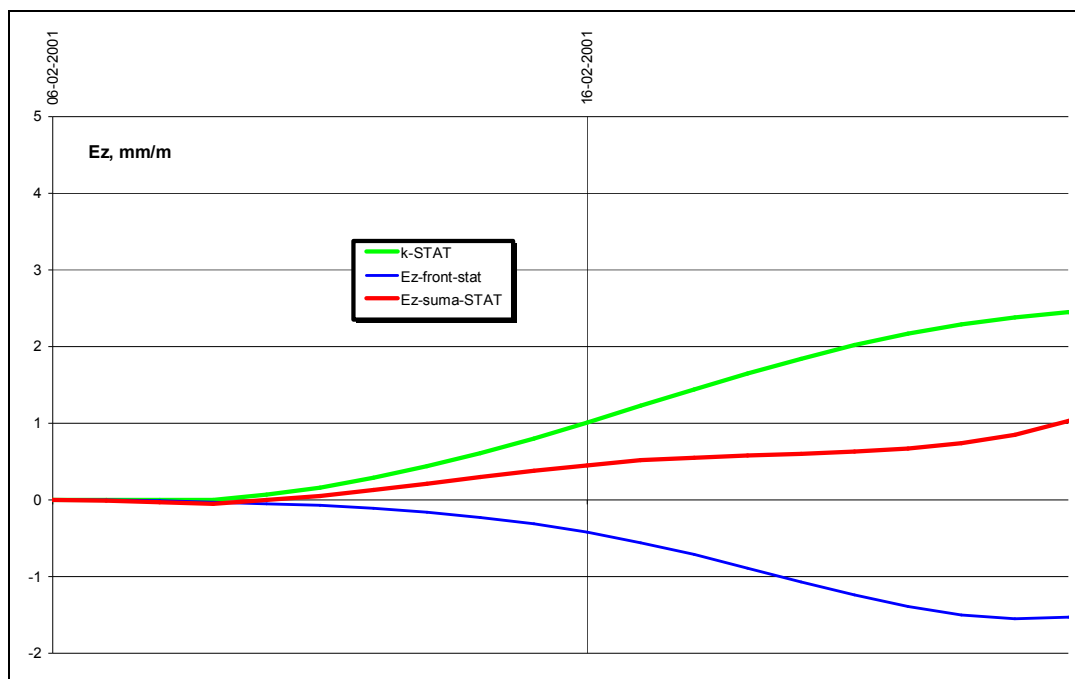
gdzie:

w – obniżenie,

z – współrzędna związana z osią pionową,

r – promień zasięgu wpływów głównych.

Jak widać na rysunku, front zasadniczy wywoływać będzie odkształcenia pionowe ściskające o wartościach maksymalnych 1,55 mm/m w dn. 24.02.2001 r. Eksploatacja kostki wywoła odkształcenia pionowe rozciągające o wartościach maksymalnych 2,45 mm/m, które występować będą począwszy od 26.02.2001. Wystąpi zatem kompensowanie się odkształceń różnych znaków wywołanych eksploatacją kostki i eksploatacją prowadzoną frontem zasadniczym – linia czerwona na rys. 3. W celu minimalnie lepszego efektu kompensacji, do eksploatacji kostki należałoby przystąpić o dwa dni wcześniej, tzn. 09.02.2001.

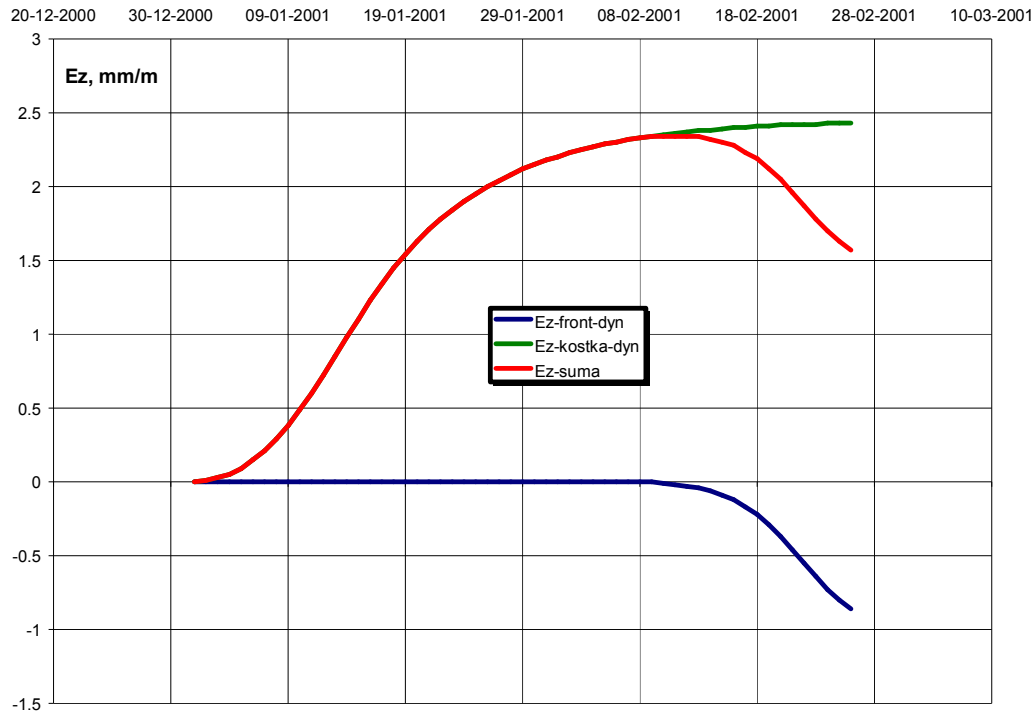


Rys. 3. Przebiegi obliczonych odkształceń pionowych dla eksploatacji kostki i eksploatacji prowadzonej frontem zasadniczym

Fig. 3. The course of horizontal strain calculated for extraction of “shaft cube” and main extraction panels

W dalszej kolejności przeprowadzono symulację eksploatacji, wykonując obliczenia z uwzględnieniem wpływu czasu na przebieg deformacji. Przeprowadzenie wariantowych obliczeń przy uwzględnieniu modelu opisu obniżenia nieustalonych [4, 5], dla założonego rozmieszczenia czasoprzestrzennego ścian, wykazało, że w celu możliwie maksymalnego kompensowania się odkształceń wywołanych wybieraniem pokładu frontem zasadniczym i kostką należy przystąpić do jej wybierania ok. 40 dni wcześniej niż założono pierwotnie, tj. od początku stycznia. Wykresy odkształceń pionowych wywołanych eksploatacją frontem zasadniczym, kostki oraz sumaryczne przedstawiono na rys. 4.

Jak widać na rysunku, odkształcenia wywołane prowadzeniem eksploatacji wg teoretycznego wariantu eksploatacji frontem zasadniczym wywoła odkształcenia maksymalne mniejsze niż bez uwzględniania wpływu czasu na przebieg deformacji, bo wynoszące zaledwie  $-0,80$  mm/m. Maksymalna wartość odkształceń wystąpi oczywiście później, bo w dn. 27.02.01. Prowadzenie eksploatacji kostki wywoła natomiast maksymalne wartości odkształceń, wynoszące (podobnie jak w przypadku nieuwzględniania czynnika czasu w obliczeniach)  $2,45$  mm/m. W celu skompensowania odkształceń wywołanych eksploatacją frontem zasadniczym, kostkę należałoby wybierać jednak o przeszło miesiąc wcześniej niż założono pierwotnie.



Rys. 4. Porównanie odkształceń pionowych wywołanych eksploatacją frontem zasadniczym i kostki  
 Fig. 4. The comparison of horizontal strain calculated for extraction of “shaft cube” and main extraction panels

Oczywiście przedstawiona analiza stanowi jedynie pewien przykład możliwości prowadzenia obliczeń z uwzględnieniem wpływu czasu na przebieg deformacji, gdy znana jest wartość parametru  $c$  na dowolnym horyzoncie w górotworze. Warunkiem jej stosowania jest dodatkowo dysponowanie stosownym oprogramowaniem [11]. W analizowanym przypadku celem prowadzenia obliczeń było ustalenie czasu wybierania kostki przyszybowej. W obliczeniach nie brano pod uwagę odkształceń poziomych, a z badań [12] wynika, że wartości tych odkształceń są wielokrotnie większe niż pionowych. Rozważania w powyższym zakresie wykraczają jednak poza zakres niniejszej pracy, w której postanowiono przedstawić jedynie kierunki prowadzenia dalszych badań z wykorzystaniem uzyskanych wyników.

### 3. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz ich wyników można przedstawić następujące uwagi i spostrzeżenia:

1. Warunkiem prowadzenia bezpiecznej eksploatacji filarów szybowych jest możliwość sporządzenia prognozy deformacji zgodnej z wynikami pomiarów. Konieczne wydaje się uwzględnianie w obliczeniach współrzędnej czasowej, gdyż można w ten sposób np. bardziej precyzyjnie określić moment rozpoczęcia wybierania kostki przyszybowej. Wykonywanie pełnej prognozy przebiegu deformacji wymaga analiz wszystkich podstawowych wskaźników deformacji. Prezentowane tu analizy mają jedynie przykładowy charakter.
2. Możliwość wykonania prognozy w powyższy sposób jest uwarunkowana nie tylko od dysponowania odpowiednim oprogramowaniem, lecz również znajomości wartości parametrów potrzebnych do wykonania obliczeń. Zachodzi zatem konieczność prowadzenia pomiarów obniżeń punktów w górotworze i analiz ich wyników, w celu identyfikacji zwłaszcza wartości współczynnika prędkości osiadania.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Chudek M., Stefański L.: Teoretyczne ujęcie wpływu podziemnej eksploatacji złóż na deformacje powierzchni przy uwzględnieniu warstwowej budowy górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górniczo, z. 145, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1987.
2. Chudek M., Sapicki K.F. i in.: Ochrona środowiska w Górnośląskim i Donieckim Zagłębiu Węglowym. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
3. Chudek M.: Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
4. Knothe S.: Wpływ czasu na kształtowanie się niecki osiadania. Archiwum Górniczo i Hutnictwa, t. I, z. I, 1953.
5. Knothe S.: Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1984.
6. Kwiatek J.: Wpływ prędkości podziemnej eksploatacji górniczej na obiekty budowlane. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górniczo, nr 5 (93)/2002.
7. Maruszczczyk M.: Zmienność współczynnika prędkości osiadania w górotworze. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Wydział Górniczo i Geologii, Gliwice 2009 (niepublikowana).
8. Piwowarski W., Dzegnikuk B., Niedojadło Z.: Współczesne teorie ruchów górotworu i ich zastosowania. Wydawnictwo AGH, Kraków 1995.
9. Praca zbiorowa: Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1980.
10. Strzałkowski P., Maruszczczyk M.: Zmienność współczynnika prędkości osiadania w górotworze. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górniczo, z. 279, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
11. Ściagała R.: Komputerowe wspomaganie prognozowania deformacji górotworu i powierzchni wywołanych podziemną eksploatacją górniczą. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008.



12. Zych J., Strzałkowski P.: Przemieszczenia i deformacje występujące w szybach pod wpływem eksploatacji górniczej. Problem resortowy MGİE nr 119: „Metody i środki eksploatacji na dużych głębokościach”, Gliwice 1987.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Wiesław Piwowski

### **Abstract**

The analyses of rock mass deformation prediction included in the literature usually have been led in situations, when influences of extraction were immediate. There has been presented the research results of variability of time factor in rock mass in this paper. If we have at disposal a specialized computer program that can employ this variability, the analyses of rock mass deformation can be more precise. As another advantage, we can determine proper moment of start of “shaft cube” extraction (extraction field near shaft) in relation to the main extraction front approaching shaft’s location, so the values of deformation indices could be reduced in certain locations along shaft’s tube as the effect of influences superposition.

In the paper there has been presented the example of prediction of deformation state over time at the selected point located on shaft support. On the basis of these calculations conclusions were drawn concerning evaluation of moment in time when shaft cube should be extracted in relation to position of main extraction front.