

Jan ZYCH

Politechnika Śląska, Gliwice

## ANALIZA OSIADAŃ NIEUSTALONYCH PRZY UWZGLĘDNIENIU ASYMETRII WPŁYWÓW NA PODSTAWIE POMIARÓW GEODEZYJNYCH Z KWK "BUDRYK" SA

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono osiadania w czasie z zastosowaniem teorii własnej (J. Zych, 1987) do opisu osiadań asymptotycznych i funkcji czasu zaproponowanej przez S. Knothe'go. Rozważania teoretyczne zweryfikowano na bazie wyników pomiarów geodezyjnych z KWK "Budryk".

## THE SUBSIDENCE ANALYSIS IN TIME TAKING INTO CONSIDERATION ASYMETRICAL INFLUENCE ON THE GROUNDS OF GEODETIC MEASUREMENTS FOR "BUDRYK" COAL MINE

**Summary.** There is presented subsidence in time with adaptation of author's theory (J. Zych, 1987) to description of asymptotic subsidence and time function was proposed by Knothe ( S. Knothe, 1953 ) in the paper. Theoretic speculation were verified on basis of geodetic measurement results from "Budryk" Coal Mine.

### 1. Wstęp

W celu ograniczenia szkód pod wpływem eksploatacji górniczej konieczne jest poznanie przebiegu procesu deformacji w czasie. W Polsce do prognozowania deformacji w czasie stosuje się najczęściej rozwiązanie zaproponowane przez Knothe'go (S. Knothe, 1953) przy zastosowaniu teorii Budryka-Knothe'go (S. Knothe, 1953) do prognozowania osiadań końcowych.

Na podstawie badań własnych oraz innych autorów (J. Białek, 1991, B. Drzęźła, 1993, R. Ściagała, 1999) można postawić hipotezę, że większy stopień dokładności opisu deformacji w

czasie można uzyskać stosując teorię lepiej opisującą statyczną nieckę osiadania, przy założeniu asymetrycznego opisu procesu deformacji (J. Zych, 1987).

## 2. Kinematyka niecki osiadania

Przyjmijmy układ współrzędnych prostokątnych  $(p, s, z)$ , którego osie  $p, s$  znajdują się w stropie poziomo zalegającego pokładu, a oś  $z$  jest skierowana pionowo ku górze. Drugi układ współrzędnych  $(x, y, z')$  związany jest z punktami na powierzchni terenu. Oś  $z'$  tego układu pokrywa się z osią  $z$ , a osie  $x, y$  są odpowiednio równoległe do osi  $p, s$  pierwszego układu i leżą w płaszczyźnie powierzchni terenu. W rozpatrywanym przypadku  $z = H = \text{const}$ .

Osiadania punktu  $A(x, y)$  położonego na powierzchni terenu pod wpływem eksploatacji o powierzchni  $P$  możemy opisać za pomocą wzoru (J. Zych, 1987) :

$$w(x, y) = -ag F \left[ f(p, s, x, y), \frac{\partial f(p, s, x, y)}{\partial x}, \frac{\partial f(p, s, x, y)}{\partial y} \right], \quad (1)$$

gdzie:

- $w(x, y)$  – osiadanie punktu A,
- $a$  - współczynnik osiadania,
- $g$  - grubość pokładu.

$F[f(p, s, x, y), \dots]$  - nieliniowa funkcja osiadania wyrażona wzorem:

$$F \left[ f(p, \cdot), \frac{\partial f(p, \cdot)}{\partial x}, \frac{\partial f(p, \cdot)}{\partial y} \right] = f(p, \cdot) - A_1 \left\{ \left[ \frac{\partial f(p, \cdot)}{\partial x} \right]^2 + \left[ \frac{\partial f(p, \cdot)}{\partial y} \right]^2 \right\}, \quad (2)$$

gdzie:

- $f(p, \cdot)$  - funkcja podstawowa osiadań,
- $A_1$  - współczynniki ujmujące stopień asymetrii wpływów.

Funkcja  $f(p, \cdot)$  we wzorze (2) oznacza całkę podwójną z funkcji wpływów dowolnej teorii geometryczno-całkowej przy odpowiednich parametrach, rozciągniętą na obszar  $P$  wybranego pokładu. Można tutaj podać szereg funkcji spełniających te warunki, jednak ze względu na to, żeby nie wprowadzać całkiem nowych funkcji oraz duże rozpowszechnienie teorii S. Knothego, do szczegółowych rozważań przyjęto funkcję osiadania tej teorii, przy innym znaczeniu parametrów teorii:

$$f(p,.) = \frac{1}{r_w^2} \iint_P \exp \left[ -\frac{\pi(p-x)^2 + (s-y)^2}{r_w^2} \right] dpds, \quad (3)$$

gdzie:

$r_w$  - parametr rozproszenia wpływów głównych dla ruchów pionowych.

Funkcja  $F[f(p,.)]$  posiada trzy szczególnie korzystne cechy wynikające z analizy dużej ilości pomiarów geodezyjnych, a mianowicie:

- całkując po faktycznie wyeksploatowanej powierzchni punkt przegięcia tej funkcji znajduje się nad przestrzenią wybraną w pewnej odległości od krawędzi eksploatacji; nie ma więc potrzeby stosowania obrzeża,
- jest niesymetryczna względem punktu przegięcia,
- charakteryzuje się dużym zasięgiem wpływów eksploatacji górniczej, zgodnym z obserwowanym na podstawie pomiarów geodezyjnych.

Przebieg funkcji  $F[f(p,.)]$  w układzie bezwymiarowym przedstawiono na rys. 1.

Podstawę do obliczenia osiadania w czasie stanowi teoria własna (J. Zych, 1987) oraz związek różniczkowy podany przez S. Knothe (S. Knothe, 1953) w postaci wzoru

$$\frac{dw}{dt} = c(w_k - w), \quad (4)$$

gdzie:

$w = w(t)$  – osiadanie danego punktu w chwili  $t$ ,

$t$  – czas,

$w_k$  – osiadanie końcowe danego punktu po dostatecznie długim czasie,

$c$  – współczynnik proporcjonalności, tzw. współczynnik czasu.

Gdyby eksploatacja została dokonana nieskończenie szybko w momencie  $t = 0$ , wtedy rozwiązaniem równania (4) byłoby równanie

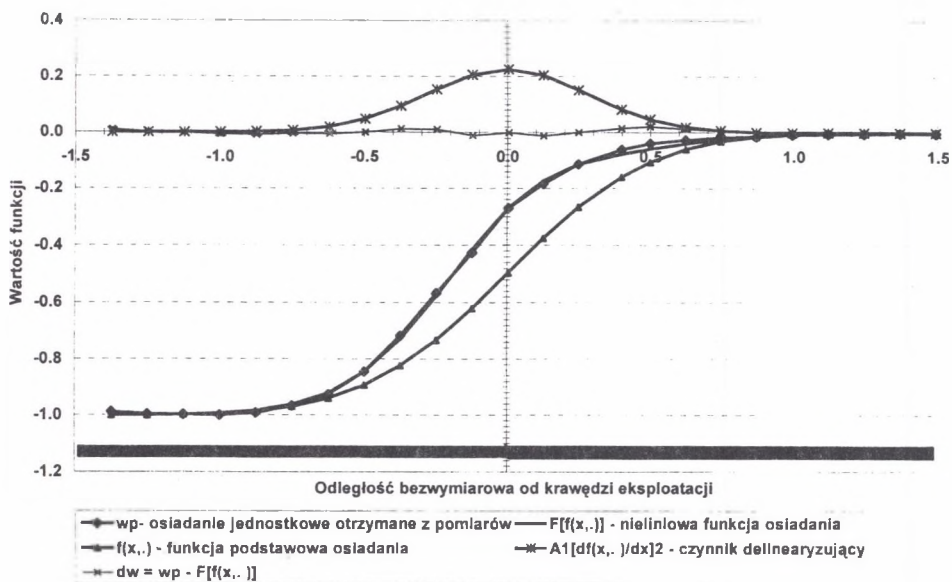
$$w(t) = w_k (1 - e^{-ct}). \quad (5)$$

Przebieg osiadania punktu w czasie na podstawie równania (5) różni się od obserwowanego w praktyce. Wynika to stąd, że w rzeczywistości mamy do czynienia z sytuacją, gdzie eksploatacja dokonywana jest w określonym przedziale czasu.

Uwzględniając wzory (1) i (5), wzór na obliczanie osiadania w czasie będzie miał postać

$$w(x, y) = -ag F \left[ f(p, s, x, y), \frac{\partial f(p, s, x, y)}{\partial x}, \frac{\partial f(p, s, x, y)}{\partial y} \right] * (1 - e^{-ct}). \quad (6)$$

Do rozwiązania problemu można zastosować model dyskretny, który polega na tym, że wyeksploatowane pole pokładu dzieli się na tzw. "elementarne paski", co do których można z określonym przybliżeniem założyć, że zostały wybrane w czasie zdążającym do zera. Przy odpowiednio dobranych wymiarach elementarnych pasków i teorii dobrze opisującej końcowy (asymptotyczny) stan osiadań, można uzyskać przebieg osiadań punktów w czasie zgodny z obserwowanym na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych (R. Ściagała i inni..., 1995, R. Ściagała, 1999).



Rys.1. Przebieg zmienności funkcji  $F[f(x,...)]$  dla nieskończonej półpłaszczyzny

Fig.1. The shape of the subsidence function  $F[f(x,...)]$  for mining in the form of an infinite half plane

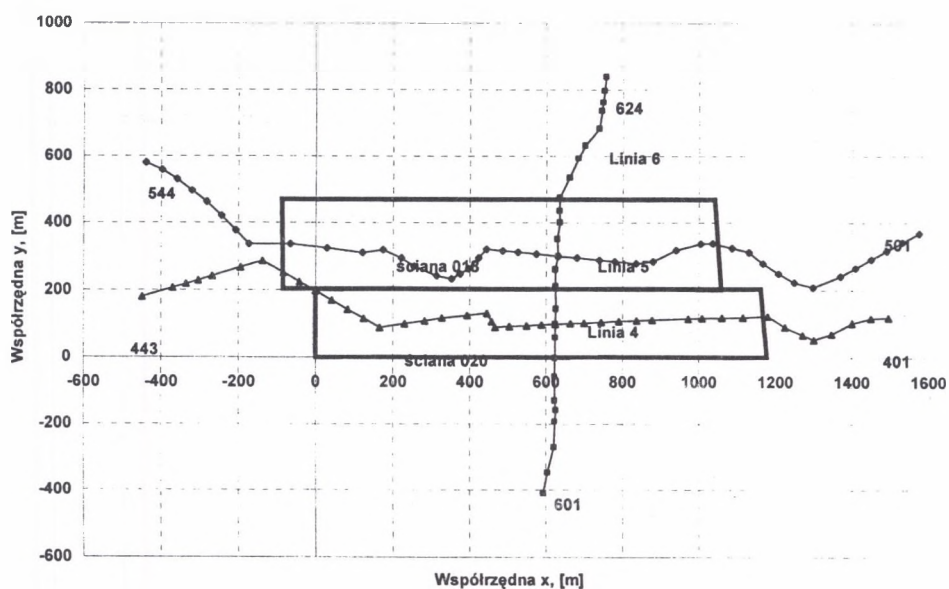
Na podstawie wzoru (6), przy zastosowaniu modelu dyskretnego, zostały opracowane przez P. Strzałkowskiego i R. Ściagałę specjalne programy komputerowe wykorzystane do weryfikacji tego rozwiązania.

### 3. Charakterystyka rejonu dokonanej eksploatacji oraz prowadzonych pomiarów geodezyjnych

W analizowanym rejonie prowadzona była eksploatacja w pokładzie 338/2 dwóch ścian z zawałem stropu (rys. 2).

Jako pierwsza eksploatowana była ściana 020 w okresie od II kwartału 1996 r. do I kwartału 1997 r. Głębokość eksploatacji wynosiła średnio 500 m, a wysokość ściany średnio 1,95 m. Długość ściany wynosiła 205 m. Eksploatacja ściany 018 prowadzona była w okresie od II kwartału 1997 r. do I kwartału 1998 r. Głębokość eksploatacji wynosiła średnio 520 m, a wysokość ściany średnio 1,95 m. Długość ściany wynosiła 265 m.

W rejonie ścian 020 i 018 obserwacje geodezyjne prowadzone były na trzech liniach obserwacyjnych rozmieszczonych jak na rys. 2.



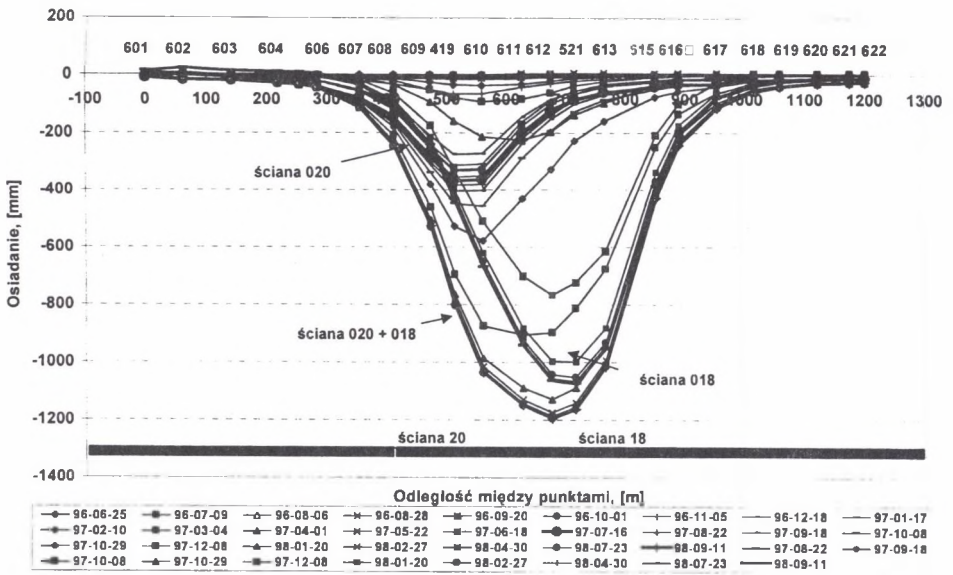
Rys.2. Rozmieszczenie linii obserwacyjnych oraz schemat dokonanej eksploatacji w pokładzie 338/2 w przyjętym układzie współrzędnych

Fig.2. Lay - out of observation lines and cheme of excavation in seam 338/2 in the adopted coordinate system

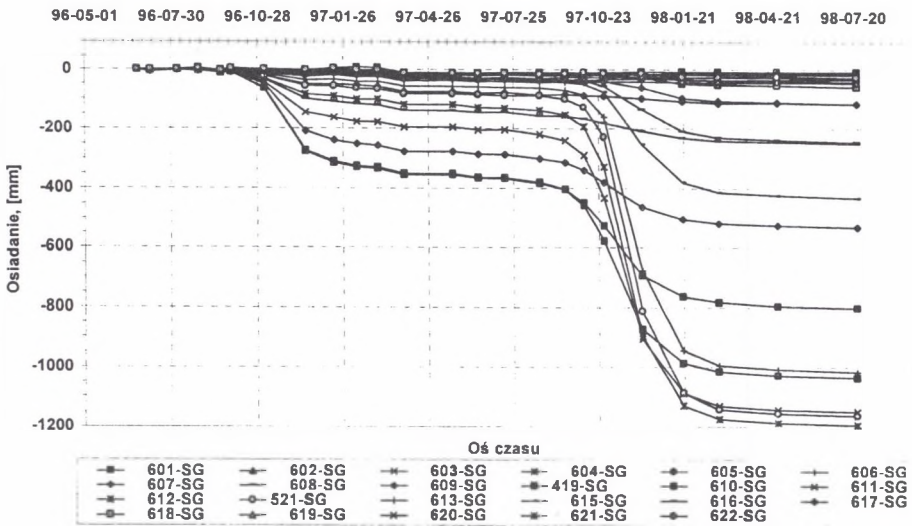
#### 4. Wyniki pomiarów geodezyjnych

Wyniki osiadań wzdłuż linii 6 pod wpływem eksploatacji ściany 020 i 018 przedstawiono na rys. 3.

Z wykresów na rys. 3 wynika, że maksymalne osiadanie pod wpływem eksploatacji ściany 020 wyniosło 357 mm, natomiast pod wpływem ściany 018 1069 mm. Sumaryczne osiadanie pod wpływem eksploatacji ścian 020 i 018 wyniosło 1180 mm. Duża różnica osiadań pod wpływem eksploatacji poszczególnych ścian świadczy o tym, że pod wpływem eksploatacji ściany 020 nastąpiło tylko ugięcie warstw i nie wystąpiło pełne osiadanie, co zostanie udowodnione w dalszej części.



Rys.3. Osiedzenia pod wpływem eksploatacji ściany 020, ściany 018 oraz osiedzenia sumaryczne  
 Fig.3. Subsidence under the influence of excavating longwall panel 020, longwall panel 018 and total subsidence

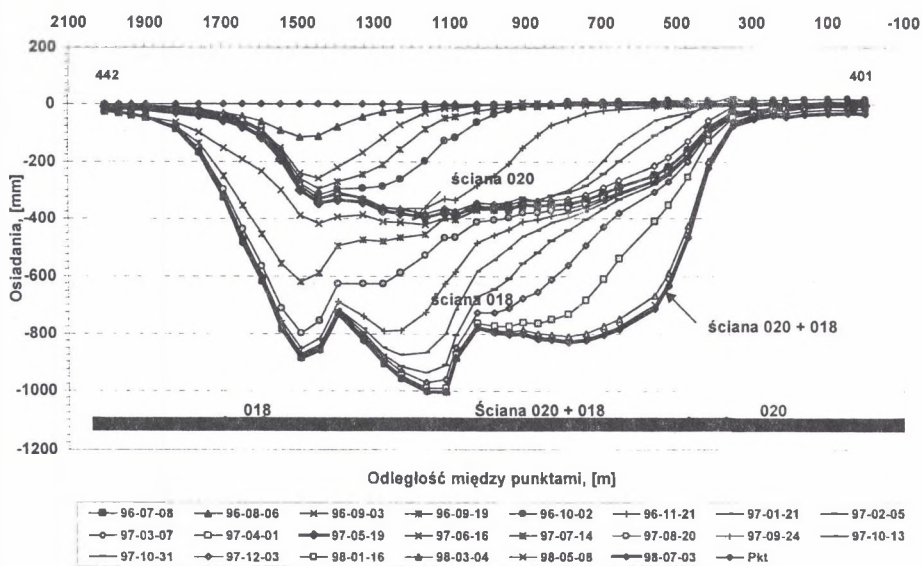


Rys.4. Osiedzenia punktów linii 6 w czasie pod wpływem eksploatacji ścian 020 i 018  
 Fig.4. Subsidence of points on line 6 in time under the influence of excavating longwall panels 020 and 018

O tym, że proces osiadania pod wpływem eksploatacji ściany 020 zakończył się przed rozpoczęciem eksploatacji ściany 018, świadczą wykresy osiadania punktów w czasie, które przedstawiono na rys. 4. Z rysunku tego wynika, że zakończył się również proces osiadania pod wpływem eksploatacji ściany 018.

Maksymalna prędkość osiadania pod wpływem eksploatacji ściany 020 wynosiła 5 mm/dobę, natomiast pod wpływem eksploatacji ściany 018 15 mm/dobę, przy porównywalnej prędkości postępu frontu w jednym i w drugim przypadku.

Wyniki osiadań wzdłuż linii 4 pod wpływem eksploatacji ścian 020 i 018 przedstawiono na rys. 5. Z wykresów tych wynika, że maksymalne osiadanie pod wpływem eksploatacji ściany 020 wyniosło 395 mm, natomiast pod wpływem ściany 018 wyniosło 628 mm. Z powyższego wynika, że osiadanie punktów nad środkiem ściany 020 pod wpływem ściany 020 było mniejsze niż pod wpływem ściany 018, która jest położona na zewnątrz linii 4 (rys. 2). Sumaryczne osiadanie pod wpływem eksploatacji ścian 020 i 018 wyniosło 1006 mm.



Rys.5. Osiedzenia punktów linii 4 pod wpływem eksploatacji ścian 020 i 018

Fig.5. Subsidence of points on line 4 under the influence of excavating longwall panels 020 and 018

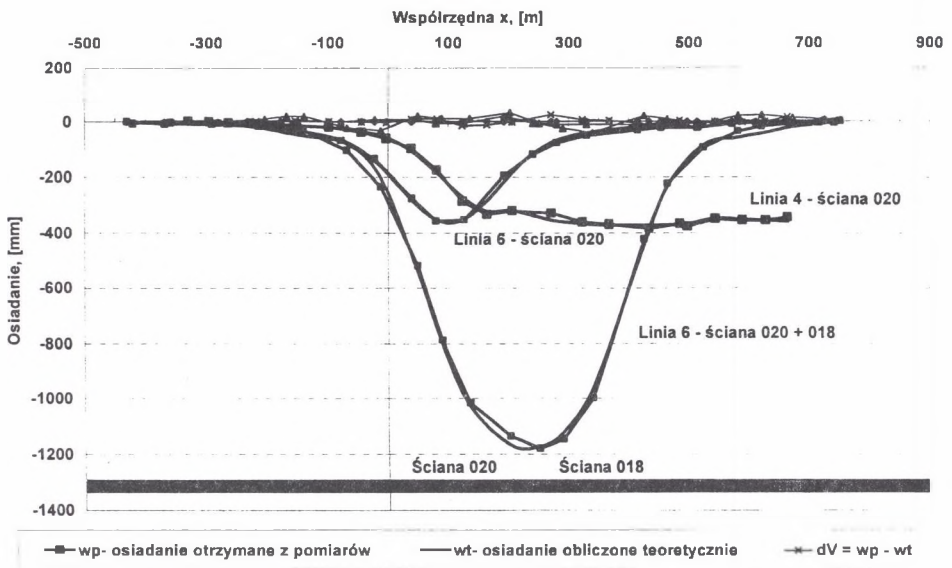
Maksymalna prędkość osiadania pod wpływem eksploatacji ściany 020 wynosiła 8,54 mm/dobę, natomiast pod wpływem eksploatacji ściany 018 9,16 mm/dobę.

## 5. Wyznaczenie parametrów teorii

Sprawdzaniem każdej teorii prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu jest określenie stopnia jej zgodności z wynikami pomiarów geodezyjnych.

Parametry teorii własnej wyznaczono z linii 4 (pkt. 442 ÷ 419) pod wpływem eksploatacji ściany 020 oraz z linii 6 pod wpływem eksploatacji ściany 020 oraz ściany 020 + 018.

Osiadania otrzymane z pomiarów oraz obliczone teoretycznie dla poszczególnych linii i ścian przedstawiono na rys. 6.



Rys.6. Osiadania otrzymane z pomiarów oraz obliczone teoretycznie dla poszczególnych linii pomiarowych  
Fig.6. Subsidence calculated from measurements and calculated theoretically for particular lines measurements

Wartości obliczonych parametrów, średnie odchylenia kwadratowe oraz błędy procentowe przy wyznaczonych parametrach przedstawiono w tabelcy 1.

Uzyskano bardzo dużą zgodność osiadań obliczonych teoretycznie z osiadaniami otrzymanymi z pomiarów. Dla ściany 020 z obu linii otrzymano prawie identyczne parametry.

Uzyskany z obu linii współczynnik osiadania równy średnio  $a = 0,324$  dla ściany 020 jest bardzo mały jak dla eksploatacji z zawałem stropu i świadczy o tym, że nie wystąpił pełny zawał, a tylko ugięcie warstw. Po wybraniu ściany 018 współczynnik osiadania wzrósł prawie dwukrotnie do wartości  $a = 0,623$ . Uzyskane wartości współczynnika osiadania  $a$  świadczą o



tym, że współczynnik ten zależy od wybranej powierzchni (wybiegu ściany), ilości wybranych ścian i zmienia się od zera w chwili rozpoczęcia eksploatacji do wartości końcowej.

Tablica 1

Zestawienie wyznaczonych parametrów, średniego odchylenia kwadratowego i błędów procentowych dla analizowanych linii

Linia	Ściana	Parametr A	Współczynnik a	Promień $r_w$ [m]	Średnie odchylenie $\delta$ [mm]	Błąd procentowy $M(w_{\max, lok.})$ [%]	Błąd procentowy $M(w_{\max-og.})$ [%]
4	020	0.391	0.329	314	8.56	2.23	1.33
6	020	0.272	0.320	316	8.51	2.38	1.33
6	020+018	0.292	0.623	266	19.08	1.62	1.57

W tablicy 2 przedstawiono otrzymaną zależność współczynnika osiadania a od wybiegu ściany 020.

Tablica 2

Zależność współczynnika osiadania a od wybiegu ściany 020

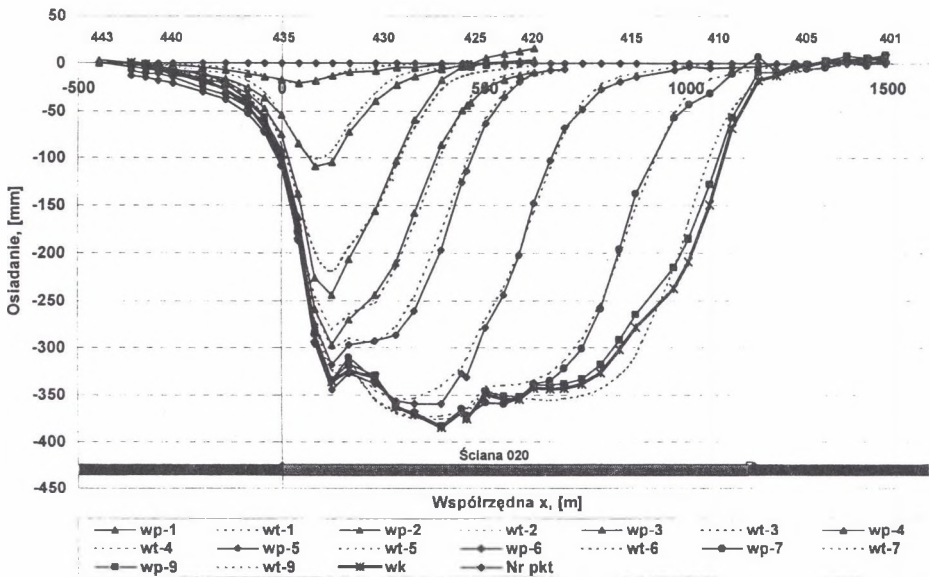
	Data pomiaru						
	96-05-25	96-07-08	96-08-06	96-09-03	96-09-19	96-10-02	96-11-21
Wybieg ściany 020 [m]	0	150	295	435	515	590	785
Współczynnik a	0	0.10	0.19	0.275	0.310	0.322	0.329

## 6. Weryfikacja funkcji czasu

Weryfikację wzoru (6) przeprowadzono dla linii 4 i 6 pod wpływem eksploatacji ściany 020. Obliczenia przeprowadzono w ten sposób, że za pomocą opracowanego programu przy parametrach a,  $r_w$  i A wyznaczonych z niecki statycznej z linii 4, wytyczono dla kilku wybranych, ale nie początkowych cykli, wartości c. Następnie przyjęto średnią wartość współczynnika czasu  $c = 0,035$  [1/dzień] i przy tej wartości c przeprowadzono obliczenia dla cykli od 1 do 9. Dla cykli od 1 do 4 zastosowano współczynnik osiadania a z tablicy 2. Na rys. 7 przedstawiono osiadania otrzymane z pomiarów oraz obliczone teoretycznie dla poszczególnych cykli pomiarowych.

Uzyskane wartości średniego odchylenia kwadratowego oraz błędów procentowych dla linii 4 przedstawiono na rys. 8. Błędy procentowe obliczono jako:

- wartość średniego odchylenia kwadratowego do największej wartości osiadania zmierzonego w danym cyklu,
- wartość średniego odchylenia kwadratowego do największej wartości zmierzonego osiadania pod wpływem eksploatacji ściany 020,
- wartość średniego odchylenia kwadratowego do maksymalnej wartości osiadania  $w_{\max} = a * g$  (przy  $a$  wyznaczonym dla ściany 020).

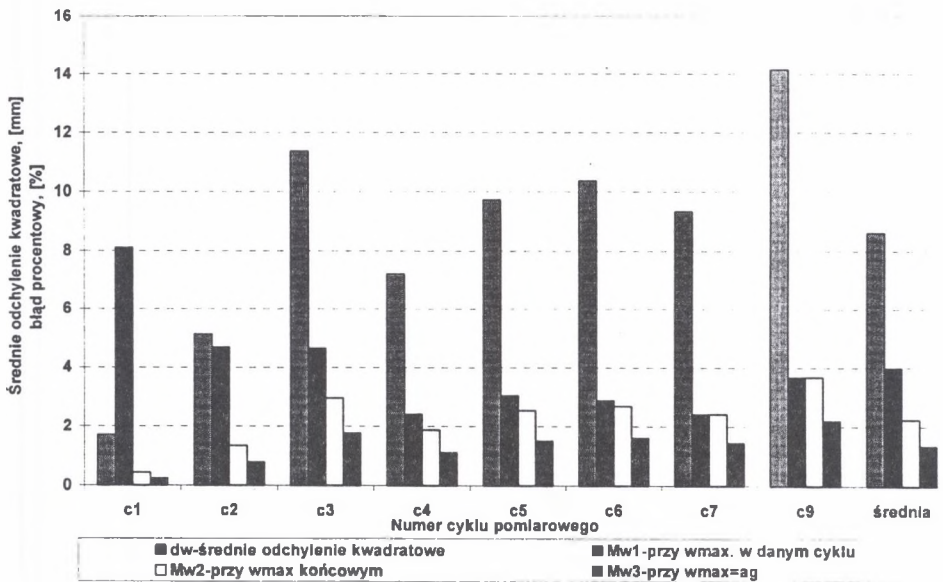


Rys.7. Osiadania otrzymane z pomiarów oraz obliczone teoretycznie dla poszczególnych cykli pomiarowych pod wpływem eksploatacji ściany 020 z uwzględnieniem współczynnika czasu. Linia 4

Fig.7. Subsidence calculated from geodetic measurements and calculated theoretically for particular measurement cycles under the influence of excavating longwall panel 020 with regard to time coefficient. Line 4

Z rys. 8 wynika, że istotną sprawą jest sposób obliczenia błędu procentowego. Stosując pierwszy sposób, otrzymuje się zafałszowany obraz, przy którym najmniejszemu średniemu odchyleniu kwadratowemu odpowiada największy błąd procentowy. Najbardziej słuszny wydaje się trzeci sposób obliczania błędu procentowego.

Przyjmując tę samą wartość  $c$  jak dla linii 4, wykonano również obliczenia dla linii 6. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że przy stałym  $c$  dla obydwu linii uzyskano porównywalne wartości średniego odchylenia kwadratowego i błędów procentowych.



Rys.8. Uzyskane wartości średniego odchylenia kwadratowego oraz błędów procentowych dla poszczególnych cykli pomiarowych dla linii 4

Fig.8. Calculated values of mean square deviation and percentage errors for particular measurement cycles. Line 4

## 7. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników pomiarów geodezyjnych oraz rozważań teoretycznych można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W górotworze nienaruszonym przy większych głębokościach wielkość i rozkład deformacji zależą szczególnie od wielkości wybranej powierzchni i kolejności wybieranych parcel. Współczynnik osiadania a przyjmowany z reguły jako stały w kolejnych etapach eksploatacji zmieniał się w miarę rozwoju eksploatacji (zwiększania powierzchni wybranej).

Dwie ściany o podobnych parametrach wybierane w tych samych warunkach dały różny rozkład deformacji na powierzchni w zależności od kolejności ich eksploatacji.

Współczynnik osiadania dla ściany 020 wybieranej jako pierwsza wynosił 0,32, natomiast po wybraniu ściany 018 - wybieranej jako druga, wynosił 0,62. Inna też była maksymalna prędkość ujawniania się wpływów eksploatacji na powierzchni, która dla ściany 020 wynosiła 5,0 mm/dobę, natomiast dla ściany 018 - 15 mm/dobę.

2. Wysoką zgodność wyników pomiarów z teorią uzyskano stosując asymetryczną teorię własną (J. Zych, 1987). Średnie odchylenie kwadratowe dla ściany 020 wynosiło 8,5 mm, a błąd procentowy - 1,3 %. Dla ściany 020 + 018 średnie odchylenie kwadratowe wynosiło 19,1 mm, a błąd procentowy wyniósł 1,6 %.
3. Dla prognozowania osiadań z uwzględnieniem czasu można stosować teorię uwzględniającą asymetryczny rozkład deformacji, funkcję czasu zaproponowaną przez S. Knothe'go oraz dyskretny model eksploatacji przy stałej wartości współczynnika czasu  $c$ .  
Dla linii 4 średnie odchylenie kwadratowe wyniosło 8,6 mm, a błąd procentowy równy był 1,3 % w stosunku do  $w_{max}$ .

## LITERATURA

1. Białek J.: Opis niestabilnej fazy obniżen' terenu górn'czego z uwzględnieniem asymetrii wpływów końcowych. Zeszyt Naukowy Politechniki Śląskiej nr 1106, Górnictwo z. 194, Gliwice 1991.
2. Drzęzła B.: Niektóre poglądy w zakresie kinematyki niecki osiadania i nowy model geometryczny. Sympozja i Konferencje nr 6. Szkoła Eksploatacji Podziemnej '93. tom 2, CPPGSMiE PAN, Kraków 1993.
3. Knothe S.: Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, t.1, z.1, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1953.
4. Knothe S.: Wpływ czasu na kształtowanie się niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, t.1, z.1, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1953.
5. Ściagała R.: Przemieszczenia i odkształcenia poziome terenu górn'czego w funkcji czasu. Praca doktorska, niepublikowana, Gliwice 1999.
6. Ściagała R., Strzałkowski P., Zych J.: Prognozowanie osiadań chwilowych przy uwzględnieniu asymetrii wpływów asymptotycznych. Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowej. Sekcje: "Dulni merictvi, geodezie a ochrana honinoveho prostredi. VSB-TU Ostrava, 13-14 wrzesień 1995.
7. Zych J.: Metoda prognozowania wpływów eksploatacji górn'czej na powierzchnię terenu uwzględniająca asymetryczny przebieg procesu deformacji. Zeszyt Naukowy Politechniki Śląskiej, Górnictwo z.164, Gliwice 1987.

**Abstract**

The rise of the speed of exploitation front as well as deeper exploitation creates new problems to be solved. On the one hand, there is an attempt at the concentration of exploitation; on the other hand, it is known that great Subsiding speed stimulates the increase of mining damage.

The study of the deformation process course in time seems indispensable in order to be able to reduce that mining damage. What is used most frequently in Poland to prognose deformation course in time is the procedure presented by S.Knothe (Budryk - Knothe theory aimed at the prognosis of asymptotic subsidence). However, this procedure does not yield satisfying results. And that is why studies are being carried out in order to increase the accuracy of prognosing of subsidence in time.

On the basis of particular studies a following hypothesis can be presented: a greater degree of the accuracy of the description of deformation in time is possible when the theory more adequate is applied to the description of a static subsiding trough on the assumption of asymmetrical description of the deformation process.

The paper presents the analysis of subsidence in time on the basis of the results of geodetic surveys. The analysis is made in accordance with the author's theory, which concerns prognosing of underground exploitation influence on the ground surface and taking into consideration asymmetrical description of the deformation process.