ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1976

Seria: GÓRNICTWO z.71 Nr kol. 470

Teodor Lubina

ANALIZA MOMENTU NAJWIĘKSZEJ PRĘDKOŚCI OSIADANIA PUNKTU NA POWIERZCHNI TERENU POD WPŁYWEM EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ NA PODSTAWIE WYNIKÓW POMIARÓW GEODEZYJNYCH

Streszczenie: Na podstawie analizy wyników pomiarów geodezyjnych z rejonu kopalni K stwierdzono charakterystyczne "opóźnienie" zjawiania się na powierzchni terenu momentu największej prędkości osiadania punktu w zależności od odległości tego punktu od eksploatacji. "Opóźnienie" to jest tym większe im dalej położony jest badany punkt od eksploatacji górniczej.

1. Wstęp

Ruchy górotworu wywołane eksploatacją górniczą są procesami czasoprzestrzennymi. Badania naukowe w tej dziedzinie, poznanie mechanizmu deformowania się górotworu i opis tych zjawisk - w formie różnego rodzaju modeli matematycznych, geometrycznych, fizykalnych itp. - mają duże znaczenie dla racjonalnej gospodarki złożem. Właściwe rozwiązanie zagadnienia wpływu czasu, postępu i kształtu frontu górniczego na wartość i kształtowanie się deformacji górotworu i obiektów na powierzchni pozwoli być może, na ustalenie w konkretnych warunkach optymalnej prędkości i kształtu frontu eksploatacyjnego tak, aby deformacje w danej partii górotworu lub danego fragmentu powierzchni były jak najmniejsze.

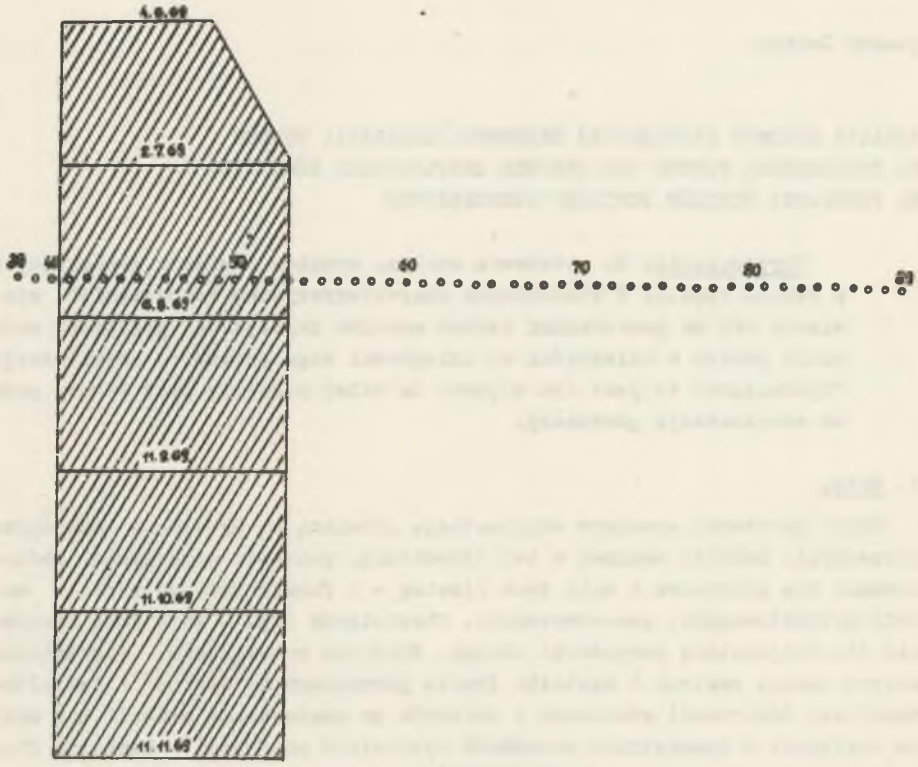
W niniejszej pracy przeanalizowano moment największej prędkości osiadania punktu na powierzchni terenu w zależności od odległości tego punktu od eksploatacji - na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych z rejonu kopalni węgla kamiennego K.

2. Charakterystyka eksploatacji górniczej

Kopalnia węgla kamiennego K prowadziła w 1969 roku eksploatację pokładu węgla o grubości ok. 1,5 m systemem ścianowym z zawałem stropu (rys.1). Przedmiotowa partia pokładu zalegała na głębokości ok. 92 m pod powierzchnią terenu. Nachylenie pokładu jest nieznaczne (ok. 3°), można więc traktować eksploatowaną partię pokładu jako prawie poziomą i stosować do analizy wpływów górniczych wzory obowiązujące dla pokładów zalegających poziomo. Postęp frontu ścianowego przez cały czas eksploatacji był mniej więcej stały i wynosił średnio ok. 1,4 m/dobę.

3. Wyniki pomiarów geodezyjnych na powierzchni terenu

Wpływ eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu rejestrowano wykonując okresowe pomiary geodezyjne punktów zmiennych linii obserwacyjnej.



Rys. 1. Szkic pola eksploatacyjnego z zaznaczonymi pozycjami frontu górniczego w momencie wykonywania pomiarów geodezyjnych oraz usytuowanie punktów linii pomiarowej na powierzchni

Przed rozpoczęciem eksploatacji wykonano pierwszy pomiar (4.6.1969 r), natomiast w trakcie eksploatacji wykonano pięć kolejnych cykli pomiarowych w odstępach mniej więcej miesięcznych (2.7.69, 6.8.69, 11.9.69, 11.10.69, 11.11.69). Po zakończeniu eksploatacji przeprowadzono cztery dalsze cykle pomiarowe (11.12.69, 12.1.70, 11.2.70, 13.3.70). Ostatni pomiar (13.3.70r) wskazywał na uspokojenie się ruchów górotworu na powierzchni terenu i wyniki tego cyklu przyjęto do analizy jako wyniki statycznej niecki osiadania.

Usytuowanie punktów linii obserwacyjnej na powierzchni względem eksploatacji oraz stan frontu górniczego w momencie wykonywania pomiarów przedstawiono na rys. 1. Odległość między sąsiednimi punktami pomiarowymi wynosi ok. 5 m.

Przeanalizujmy przebieg osiadania każdego punktu w czasie. W tym celu wykonamy wykres osiadania punktu w czasie stwierdzony pomiarami geodezyjnymi. Przyjmijmy następujące oznaczenia:

$w_{pom}(t_i)$ - wartość osiadania danego punktu w momencie t_i, w mm,

$w_{pom})_k$ - wartość osiadania punktu po uspokojeniu się ruchów górotworu, stwierdzona pomiarami geodezyjnymi. Jest to wartość końcowego (indeks K) osiadania, tzw. osiadanie statyczne w danym punkcie.

Przyjmując końcową wartość osiadania punktu (według pomiaru z dn. 13.3.-1970 r.):

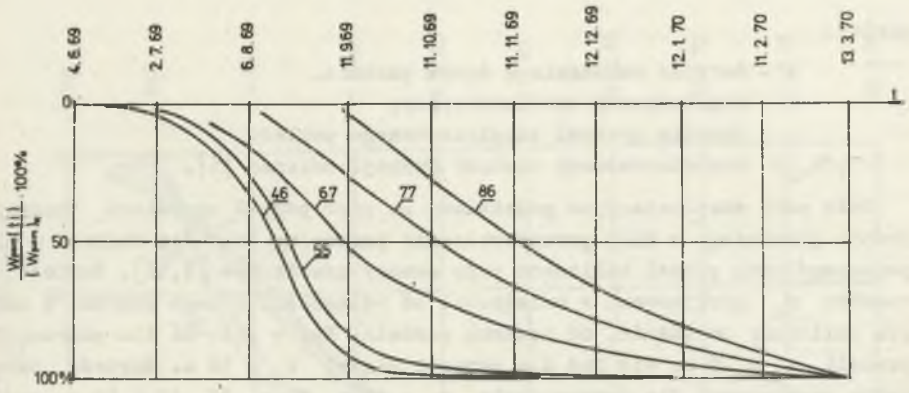
$$(W_{pom})_k = 100\%$$

obliczono procentowe wartości osiadania w momencie t_i:

$$\frac{W_{pom}(t_i)}{(W_{pom})_k} \cdot 100\%$$

dla każdego punktu oddzielnie.

Istnieje więc możliwość porównywania względnych prędkości osiadania poszczególnych punktów. Obliczenia i wykresy wykonano dla wszystkich punktów linii pomiarowej. Dla lepszej przejrzystości wyników obliczeń przedstawiono na rys. 2 wykresy osiadania w czasie tylko dla wybranych, charakterystycznych punktów pomiarowych z całego profilu niecki osiadania - pkt 46 nad środkiem pola eksploatacyjnego, pkt 55 nad krawędzią eksploatacji, pkt. 67, 77 i 86 położone w zewnętrznej części niecki osiadania.



Rys. 2. Wykresy względnych wartości osiadania charakterystycznych punktów pomiarowych w czasie, według wyników pomiarów

Analizując wykresy osiadań punktów w czasie oraz usytuowanie tych punktów w stosunku do eksploatacji zauważa się, że w momencie kiedy w punkcie nad eksploatacją (np. pkt. 46) prędkość osiadania maleje do zera, wtedy w punkcie położonym daleko od eksploatacji (np. pkt. 86) zaczyna się dopiero proces osiadania. Jest to ważne spostrzeżenie, dotychczas w literaturze nie podkreślane wyraźnie, które rzuca nowe światło na rolę czynnika czasu w procesie deformacji górotworu. Fakt ten wskazuje, że w okresie trwania procesu deformacji górotworu w różnych momentach czasu bierze udział różna (coraz większa) objętość górotworu.

4. Wyznaczenie wartości parametrów z profilu statycznej niecki oraz obliczenie wartości osiadań

W literaturze opisano szereg metod i sposobów wyznaczania wartości parametrów teorii T. Kochmańskiego z wyników geodezyjnych obserwacji wpływów eksploatacji górniczej m.in. [1,2,6,7,11,12,13,14,15,19].

W przypadku analizy wpływów przedmiotowej eksploatacji na powierzchnię terenu wyznaczono wartości parametrów a, r_o i d różnymi metodami z profilu niecki ostatecznej otrzymując podobne wyniki: a = 0,90, r_o = 15 m do 50 m w zależności od odległości badanego punktu (lub grupy punktów) w stosunku do eksploatacji, b = 1,20 oraz odległość pozornego przesunięcia frontu górniczego d = 10 m. Wartość parametru "b" obliczono wg empirycznego wzoru T. Kochmańskiego [9, 10].

Mając wyznaczone wartości parametrów z profilu niecki statycznej przystąpiono do analizy niecek dynamicznych.

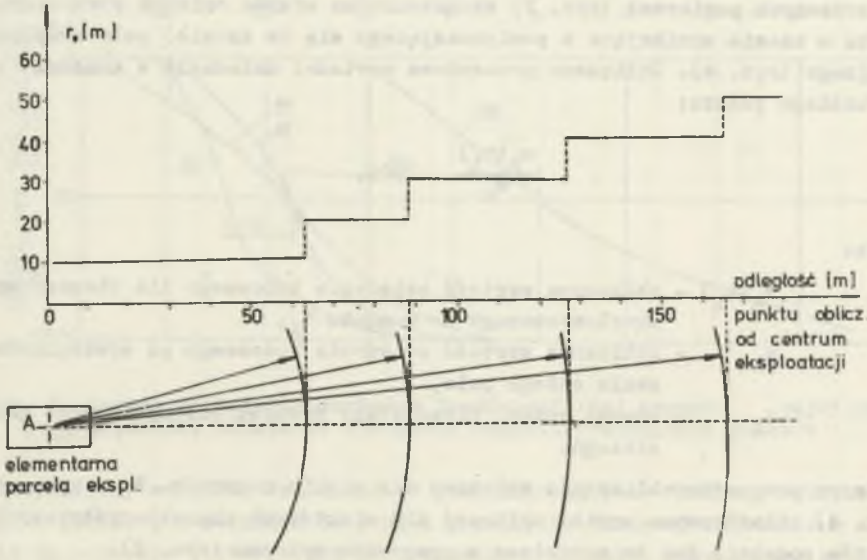
Dla wszystkich punktów pomiarowych (od pkt. 38 do 86) obliczono teoretyczne wartości osiadań wg wzoru:

$$w = ag \cdot \varphi(b \cdot \rho), \tag{1}$$

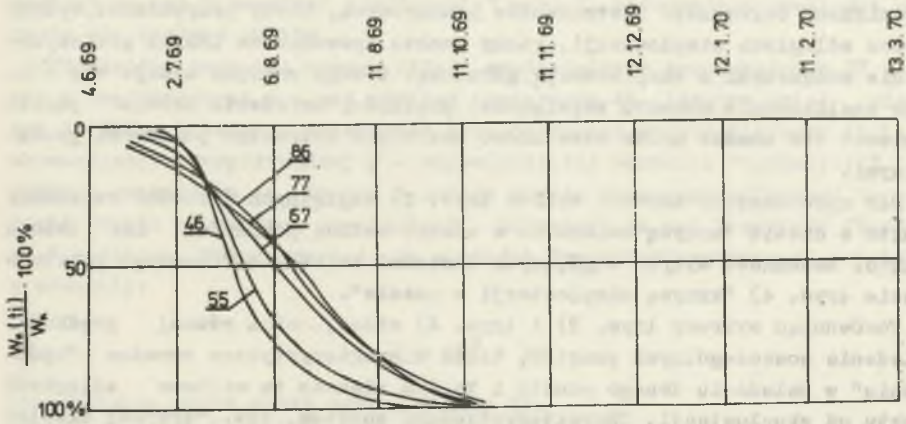
gdzie:

w - wartość osiadania w danym punkcie,
a - współczynnik eksploatacyjny,
g - średnia grubość eksploatowanego pokładu,
$\varphi(b,\rho)$- stabelaryzowana wartość funkcji osiadań [6].

Całe pole eksploatacyjne podzielono na pięć parcel określone pozycją frontu górniczego w dniu przeprowadzenia pomiarów. Wartości funkcji φ dla poszczególnych parcel obliczono przy pomocy grafikonów [8,16]. Wartość parametru r_o przyjmowano w zależności od odległości danego punktu, w którym obliczamy osiadanie, od centrum parceli. Np. w pkt. 46 dla pierwszej parceli r_o = 15 m, ale już dla parceli piątej r_o = 30 m. Wartość parametru przyjmowano dla uproszczenia r_o = 15 m, 20 m, 30, 40 i 50 m zgodnie z wykresem (rys. 3).



Rys. 3. Wartości parametru r_0 (przyjmowane do obliczeń) w zależności od usytuowania badanego punktu od centrum eksploatacji
A - punkt przyjęty jako centrum eksploatacji całej parceli



Rys. 4. Wykresy wartości względnych osiadania charakterystycznych punktów bez uwzględnienia czynnika czasu - tzw."krzywe eksploatacji w czasie"

Obliczono w ten sposób wartości osiadań końcowych (statycznych) dla kolejnych stanów frontu górniczego - bez uwzględnienia czynnika czasu tak, jak gdyby eksploatację poszczególnych parcel przeprowadzono w jednej chwili, a wpływy górnicze ujawniły się natychmiast na powierzchni.
W podobny sposób jak to zrobiono w przypadku wykresu dla wartości osiadań stwierdzonych pomiarami (rys. 2) skonstruowano wykres osiadań statycznych punktu w czasie wynikające z powiększającego się (w czasie) pola eksploatacyjnego (rys. 4). Obliczono procentowe wartości osiadania w momencie t_i dla każdego punktu:

$$\frac{w_k(t_i)}{w_k} \cdot 100\%,$$

gdzie:

$w_k(t_i)$ - obliczona wartość osiadania końcowego dla obszaru wyeksploatowanego do momentu t_i,

w_k - obliczona wartość osiadania końcowego po wyeksploatowaniu całego pola,

t_i - moment czasu, określający również pozycję frontu górniczego.

W naszym przypadku obliczenia wykonano dla pięciu momentów. Na wykresie (rys. 4) zilustrowano wyniki obliczeń dla niektórych charakterystycznych punktów podobnie jak to uczyniono w przypadku wykresu (rys. 2).

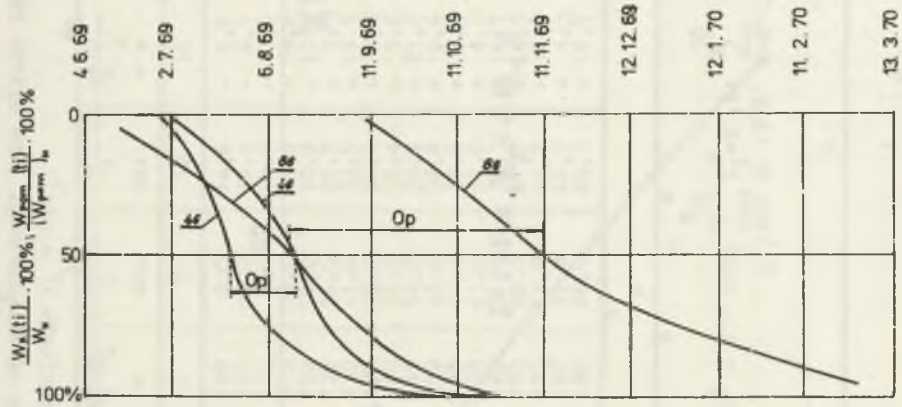
5. Analiza momentu maksymalnej prędkości osiadania punktu

Trudno precyzyjnie i jednoznacznie ustalić pomiarami geodezyjnymi moment pierwszych nieznacznych ruchów punktu, jak również moment bezwzględnego uspokojenia się jego ruchów. Składa się na to wiele przyczyn m.in.: ograniczona dokładność instrumentów pomiarowych, błędy przypadkowe, wpływy bardzo odległych eksploatacji, ruchy punktu spowodowane innymi przyczynami nie związanymi z eksploatacją górniczą. Z tego względu wydaje się słuszne analizowanie momentu największej prędkości osiadania danego punktu ponieważ ten moment można stosunkowo dokładnie wyznaczyć pomiarami geodezyjnymi.

Dla uproszczenia nazwano wykres (rys. 2) względnych wartości osiadania punktu w czasie "krzywą osiadania w czasie według pomiarów" dla danego punktu. Natomiast wykres względnych wartości osiadania końcowego punktu w czasie (rys. 4) "krzywą eksploatacji w czasie".

Porównując wykresy (rys. 2) i (rys. 4) widać, obok różnej prędkości osiadania poszczególnych punktów, także charakterystyczne wyraźne "opóźnienie" w osiadaniu danego punktu i to tym większe im większa odległość punktu od eksploatacji. Charakterystycznym punktem, tzw. "krzywej eksploatacji w czasie" (rys. 3) dla danego punktu na powierzchni terenu jest

punkt przegięcia tej krzywej. Jest to punkt w którym prędkość osiadania jest największa.



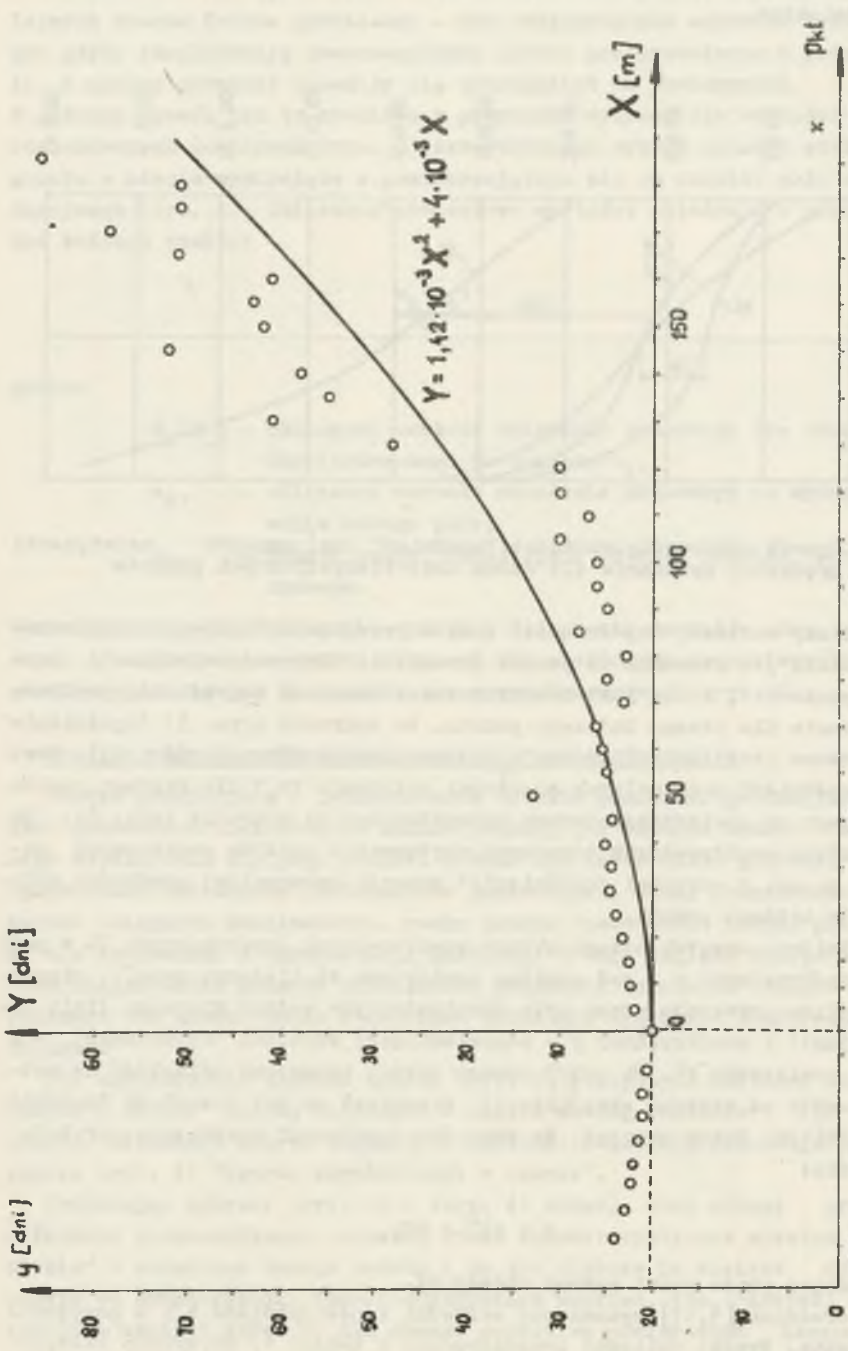
Rys. 5. Sposób obliczenia wartości "opóźnień" (op) momentu największej prędkości osiadania dla dwóch charakterystycznych punktów

Wyznaczmy wartość, "opóźnienie" punktu przegięcia "krzywej eksploatacji w czasie", w stosunku do punktu przegięcia "krzywej osiadania w czasie wg pomiarów", który jest równoznaczny z momentem największej prędkości osiadania dla danego badanego punktu. Na wykresie (rys. 5) "opóźnienie" to oznaczono jako odcinek czasu "o_p" (przykładowo dla pkt. 46 i 83). Wartości "opóźnień" maksymalnych prędkości osiadania "o_p" dla każdego punktu pomiarowego na powierzchni terenu przedstawiono na wykresie (rys. 6). Na osi x układu współrzędnych oznaczono usytuowanie punktów pomiarowych natomiast na osi y wartości "opóźnienia" momentu maksymalnej prędkości osiadania dla każdego punktu.

Przyjmijmy początek nowego układu współrzędnych prostokątnych XY w punkcie o współrzędnych x - nad punktem pomiarowym 46 (leżącym mniej więcej nad środkiem przekroju przez pole eksploatacyjne wzdłuż kierunku linii obserwacyjnej) i współrzędnej y - odpowiadającej wartości "opóźnienia" w punkcie pomiarowym 46. Na osi X nowego układu oznaczono odległość (w metrach) punktu od centrum eksploatacji, natomiast na osi Y wartość "opóźnienia" w dniach. Można przyjąć, że wartości "opóźnień" wyznaczają parabolę o równaniu:

$$Y = aX^2 + bX, \qquad (2)$$

przechodzącą przez punkt zerowy układu XY.
Metodą średnich [5,17] wyznaczono wartości współczynników a i b powyższego równania. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 1. Otrzymano następu-



Rys. 6. Wykres "opóźnień" w zależności od usytuowania badanego punktu od eksploatacji oraz wykres równania $Y = 1{,}42 \cdot 10^{-3}X^2 + 4 \cdot 10^{-3}X$

Tablica 1

Obliczanie współczynników równania aproksymacyjnego $Y_i = Y(X_i)$

Lp. i	$X_i^* = X_i$ m	Y_i^* dni	Y_i dni	$Y_i^* - Y_i =$ $= v$	v^2	Lp. i	$X_i^* = X_i$ m	Y_i^* dni	Y_i dni	$Y_i^* - Y_i =$ $= v$	v^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	21	100	6,0	14,6	- 8,6	74,0
2	5	2,0	0,06	+1,94	3,74	22	105	10,0	16,1	- 6,1	37,0
3	10	2,3	0,18	+2,12	4,50	23	110	7,0	17,6	- 10,6	112,2
4	15	2,5	0,38	+2,12	4,50	24	115	10,0	19,2	- 9,2	84,6
5	20	3,0	0,70	+2,3	5,3	25	120	10,0	20,9	- 10,9	119,0
6	25	4,0	1,0	+3,0	9,0	26	125	28,0	22,7	+ 5,3	28,1
7	30	4,5	1,4	+3,1	9,6	27	130	41,0	24,5	+ 16,5	272,0
8	35	4,5	1,9	+2,6	6,7	28	135	35,0	26,4	+ 8,6	74,0
9	40	5,0	2,4	+2,6	6,8	29	140	38,0	28,4	+ 9,6	92,2
10	45	4,5	3,1	+1,4	1 9	30	145	52,0	30,4	+ 21,6	466,0
11	50	13,0	3,8	+9,2	84,6	31	150	42,0	32,6	+ 10,6	112,2
12	55	5,0	4,5	+0,5	0,3	32	155	43,0	34,7	+ 8,3	69,0
13	60	5,3	5,4	-0,1	0	33	160	41,0	37,0	+ 4,0	16,0
14	65	6,0	6,3	-0,3	0,1	34	165	51,0	39,3	+ 11,7	136,8
15	70	3,0	7,2	-4,2	17,6	35	170	58,0	41,7	+ 16,3	265,0
16	75	5,0	8,3	-3,3	10,9	36	175	51,0	44,2	+ 6,8	46,2
17	80	3,0	9,4	-6,4	41,0	37	180	51,0	46,7	+ 4,3	18,5
18	85	8,0	10,6	-2,6	6,7	38	185	66,0	49,3	+ 16,7	279,0
19	90	5,0	11,9	-6,9	47,5						
20	95	6,0	13,2	-7,2	51,8	Suma:					2 614,5

$$\sum_{i=1}^{20} X_i^* = 950; \quad \sum_{i=1}^{20} (X_i^*)^2 = 61\ 750; \quad \sum_{i=21}^{38} X_i^* = 2565; \quad \sum_{i=21}^{38} (X_i^*)^2 = 377\ 625; \quad \sum_{i=1}^{20} Y_i^* = 91{,}6; \quad \sum_{i=21}^{38} Y_i^* = 640{,}0$$

jące równanie określające związek wartości "opóźnienia" Y w zależności od odległości X od centrum eksploatacji:

$$Y = 1.42 \cdot 10^{-3} X^2 + 4 \cdot 10^{-3} X. \tag{3}$$

Wymiar Y podano w dniach, natomiast wymiar X w metrach. Współczynniki a i b równania mają wymiary:

a [dzień/m^2]

b [dzień/m]

Estrymator odchylenia standardowego wynosi:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (Y_i^* - Y_i)^2 \tag{4}$$

$$\sigma = \pm 8{,}46 \text{ dni}$$

gdzie:

σ - wartość estrymatora odchylenia standardowego,
n - ilość punktów pomiarowych,
Y_i^* - wartość współrzędnej Y wg pomiarów,
Y_i - wartość funkcji aproksymacyjnej,
i - kolejny punkt pomiarowy.

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że wartości eksperymentalne (X_i^*, Y_i^*) można również aproksymować innymi równaniami np. wielomianami i uzyskać znacznie lepsze dopasowanie równania do danych eksperymentalnych, ale na tym etapie badań wydaje się to niecelowe.

Analizując równania (3) można wyprowadzać dalsze wnioski z pochodnej prędkości względnej osiadania badanego punktu na powierzchni. Wyciąganie jednak daleko idących wniosków z wartości pochodnych funkcji aproksymacyjnej jest zbyt pochopne. Dlatego też w niniejszej pracy nie przedstawiono takich wniosków, aczkolwiek należy zasygnalizować w tym miejscu, że analizy takie prowadzono. Wymagają one jednak dalszych badań i potwierdzenia na wielu innych przykładach.

6. Wnioski

1. Analiza wykresów prędkości względnych osiadania punktów na powierzchni skonstruowana na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych z rejonu Kopalni Węgla Kamiennego K wskazuje, że w okresie trwania procesu deformacji górotworu w różnych momentach czasu bierze udział różna (coraz większa) objętość górotworu.

2. Analizując moment największej prędkości względnej osiadania badanego punktu stwierdzonego pomiarami geodezyjnymi, zaobserwowano charakterystyczne "opóźnienie" tego momentu i to w zależności od położenia punktu w stosunku do eksploatacji. Wartość "opóźnienia" jest tym większa, im większa jest odległość tego punktu od eksploatacji.

LITERATURA

[1] Batkiewicz W.: "Zmniejszenie deformacji przez prowadzenie eksploatacji frontem o specjalnym kształcie". Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej. Seria Rozprawy. Zeszyt nr 54 Kraków 1965 r

[2] Batkiewicz W.: "Obliczanie wskaźników poeksploatacyjnych deformacji terenu", Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1968 r.

[3] Borecki M., Biliński A., Kidybiński A.: "Wpływ prędkości wybierania na zachowanie się górotworu i obudowy". Prace Głównego Instytutu Górnictwa, Komunikat nr 301, Katowice, 1962 r.

[4] Borecki M., Chudek M.: "Mechanika Górotworu". Wydawnictwo Śląsk,Katowice, 1972 r.

[5] Guter R.S., Owczyński B.W.: "Matematyczne opracowywanie wyników doświadczeń", PWN, Warszawa, 1967 r.

[6] Kochmański T.: "Obliczanie ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej". PWN Warszawa 1956 r.

[7] Kochmański T.: "Porównanie dokładności trzech metod obliczania według teorii S.G. Awierszyna teorii W. Budryka - S. Knothe i teorii T.Kochmańskiego"..Prace Głównego Instytutu Górnictwa Komunikat nr 289,Katowice 1962 r.

[8] Kochmański T., Magdziorz J.: "Zmniejszenie odkształceń przez kształtowanie frontu eksploatacji górniczej". Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo, zeszyt nr 39, Gliwice 1969 r.

[9] Kochmański T., Magdziorz J.: "Neue Berechnungsmethoden der Boden bewegungen unter Einwirkung des Abbaus". Freiberger Forschungshefte. Markscheidewesen 1973.

[10] Kochmański T. Zych J.: "Fizyczne znaczenie parametrów teorii statystyczno-całkowej T. Kochmańskiego" Ochrona Terenów Górniczych nr 23 Katowice 1973 r. str. 11-19.

[11] Kot A. "Nowa metoda wyznaczania parametrów teorii ruchów punktów górotworu T. Kochmańskiego". Ochrona Terenów Górniczych nr 9 Katowice 1970 r.

[12] Kot A.: "Zastosowanie metody pVV minimum dla obliczania parametrów "a", b i r_0 teorii T. Kochmańskiego oraz przesunięcie teoretycznego brzegu eksploatacji". Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Seria Górnictwo, Zeszyt nr 44, G-ce 71 r.

[13] Kot A., Lubina T.: "Wyznaczanie parametrów teorii T. Kochmańskiego na podstawie wyników pomiarów przesunięć poziomych metodą pVV minimum". Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Seria Górnictwo, zeszyt nr 48 Gliwice 1971 r.

[14] Lubina T.: "Praktyczny sposób wyznaczania parametrów teorii T. Kochmańskiego". Przegląd Górniczy 5 (1973).
[15] Lubina T.: "Wybrane zagadnienia wpływu czynnika czasu na deformacje górotworu". Praca doktorska (nie publikowana) Gliwice 1974 r.
[16] Magdziorz J. "Nowe metody obliczania wskaźników deformacji górotworu". Ochrona Terenów Górniczych nr 11 K-ce 1970 r.
[17] Skinderowicz B.: Określenie współczynnika czasu dynamicznego niecek osiadania. Przegląd Górniczy 1971 r. nr 10, str. 462-467.
[18] Strzałkowski A. Śliżyński A. "Matematyczne metody opracowywania wyników pomiarów". PWN Warszawa 1973 r.
[19] Zych J. "Zastosowanie rachunku wyrównawczego do wyznaczania parametrów teorii T. Kochmańskiego z pomierzonych osiadań i przesunięć poziomych". Zeszyty Naukowe Pol.Śl. s.Górnictwo, zeszyt 41, Gliwice 1969 r.

АНАЛИЗ МОМЕНТА НАИБОЛЬШЕЙ СКОРОСТИЯ ПУНКТА
НА ПОВЕРХНОСТИ МЕСТНОСТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГОРНОЙ ВЫЕМКИ
НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СБЕМОК

Р е з ю м е:

На основании анализа результатов геодезических съёмок из района шахты К установлены характерные "замедления" в появлении на поверхности местности момента наибольшей скорости оседания пункта, в зависимости от расстояния этого пункта от выемки. Это "замедление" тем больше, чем дальше находится исследованый пункт от горной выемки.

ANALYSIS OF THE HIGHEST RATE MOMENT OF THE MINING
SUBSIDENCE, CAUSED BY THE MINING WORKING, BASED ON THE
RESULTS OF GEODESIC MEASUREMENTS

S u m m a r y

On the ground of the geodesic measurements results from the coal-mine K area there was found a characteristic "retardation" on the terrain surface of the highest rate moment of the mining subsidence,depending on the distance of this point from the exploitation place.
This "retardation" is the greater the farther is the investigated point from the mining working area.