ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1977

Seria: GÓRNICTWO z. 79 Nr kol. 528

Teodor LUBINA

ANALIZA WYNIKÓW GEODEZYJNYCH POMIARÓW PRZESUNIĘC POZIOMYCH PUNKTÓW NA POWIERZCHNI TERENU POD WPŁYWEM EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ

Streszczenie. W pracy analizowano wyniki pomiarów długości między punktami linii obserwacyjnej. Stwierdzono anomalię miejsc występowania maksymalnych i zerowych wartości przesunięć poziomych wynikłą prawdopodobnie wskutek zsuwania się nadległych warstw górotworu nad eksploatowanym pokładem o nachyleniu $\alpha = 3^{o}$. Obliczono wartości tzw. współczynnika szczelinowatości s_u na podstawie zmierzonych wartości przesunięć poziomych u, przyjmując zmienność parametru $r_o = r_o(x)$ w poszczególnym punkcie pomiarowym. Przedstawiono zmienność współczynnika szczelinowatości $s_u(x)$ w zależności od odległości "x" danego punktu od eksploatacji.

1. WSTĘP

Niecką poeksploatacyjną wg założeń teorii statystyczno-całkowej T. Kochmańskiego [4] opisują trzy parametry "a", "b", "r_o" oraz "d" tzw. obrzeże pola eksploatacyjnego. Całkowanie elementarnych wpływów dw odbywa się po powierzchni rzutu pola eksploatacyjnego zmniejszonego na brzegach o wartość "obrzeża" d.

T. Kochmański, określając pojęcie "funkcji szczelinowatości", wprowadził do wzorów na obliczenie odkształceń poziomych ε_x tzw. współczynnik szczelinowatości [8] jako dodatkowy parametr teorii.

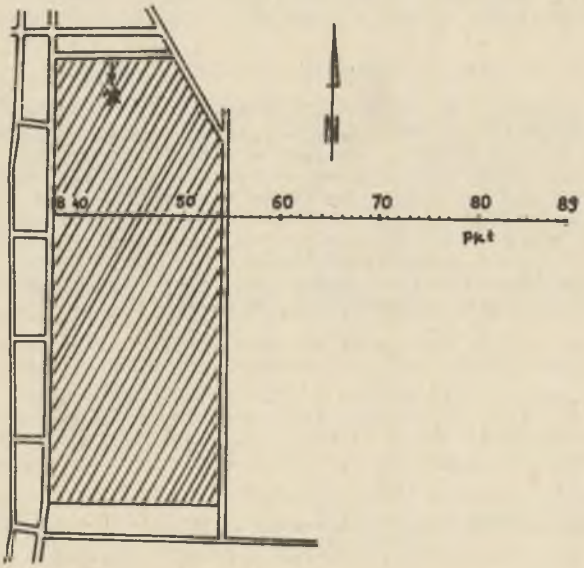
W niniejszej pracy przeprowadzono analizę wyników pomiarów odległości między sąsiednimi punktami linii obserwacyjnej na powierzchni terenu pod wpływem eksploatacji zawałowej płytko zalegającego pokładu węgla oraz wyznaczono wartości współczynnika szczelinowatości s_u z wartości przesunięć poziomych punktu.

2. OPIS EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ I POMIARÓW GEODEZYJNYCH

Kopalnia Węgla Kamiennego K. eksploatowała partię pokładu 324/1 o średniej grubości g = 1,50 m systemem ścianowym z zawałem stropu. Szkic pola eksploatacyjnego przedstawiono na rys. 1. Średnia głębokość eksploatacji wynosi ok. 92 m. Średni kęt nachylenia pokładu wynosi $\alpha = 3^{o}$.

Na powierzchni terenu zastabilizowano linię ziemnych punktów obserwacyjnych i wykonywano okresowe pomiary geodezyjne. Przed eksploatację (4.6. 1969) przeprowadzono pierwszy pomiar (niwelacja niwelatorem samopoziomującym KON/I 007 i pomiar długości stalową taśmą mierniczą z podziałką mili-

metrową). Ostatni pomiar (13.3.1970) wskazywał na uspokojenie się ruchów górotworu na powierzchni terenu i wyniki tego cyklu przyjęto do analizy jako deformacje statyczne. Usytuowanie punktów linii obserwacyjnej na powierzchni terenu względem eksploatacji przedstawiono na rys. 1. Odległość między punktami wynosi średnio 5 m.



Rys. 1. Szkic pola eksploatacyjnego i usytuowanie punktów pomiarowych na powierzchni terenu

Analizę końcowych wartości osiadań punktów przeprowadzono w pracach [9, 10], wyznaczając wartości parametrów "a", "b" i "r_o" niecki statycznej przy wykorzystaniu grafikonów J. Magdziorza [3, 5, 12] i przy pomocy programu DRUK opracowanego przez W. Piwowarskiego. Analiza ta wskazywała na zmienność wartości parametru r_o na powierzchni terenu w zależności od odległości poziomej badanego punktu od eksploatacji.

Obliczona wartość współczynnika eksploatacyjnego "a" wynosi 0,9, natomiast wartość parametru "b" obliczono wg empirycznego wzoru T. Kochmańskiego [7]:

$$b(z) = \frac{5 - 1{,}12 \log z}{1 + 0{,}672 \log z} \qquad (1)$$

gdzie:

z - odległość pionowa punktu, w którym obliczamy wartość wskaźnika deformacji od stropu eksploatowanego pokładu.

W naszym przypadku, podstawiając do wzoru (1) $z = H = 92$ m, otrzymamy $b = 1{,}203 \approx 1{,}2$. Wartość obrzeża $d = 10$ m przy krawędzi zachodniej i $d = 5$ m przy krawędzi wschodniej pola eksploatacyjnego wyznaczono drogą kolejnych przybliżeń (rys. 3).

Mając wyznaczone wartości parametrów "a" i "r_o" z analizy wyników pomiarów składowej pionowej (osiadań) poeksploatacyjnych przemieszczeń punktów przystąpiono do analizy wartości składowej poziomej (przesunięć poziomych u) wektora przemieszczeń.

3. ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW ODLEGŁOŚCI POZIOMEJ MIĘDZY PUNKTAMI LINII OBSERWACYJNEJ

W tablicy 1 zestawiono wyniki pomiarów odległości między sąsiednimi punktami linii obserwacyjnej na powierzchni terenu wg pomiaru z dnia 4.6. 1969 r. i z dnia 13.3.1970 r. Różnice długości poszczególnych przęseł obliczono:

$$\Delta u = l_{(13.3.70)} - l_{(4.6.69)} \tag{2}$$

wyniki zestawiono w tablicy 1 i zilustrowano na wykresie (rys. 2 - linia 1).

Analiza wartości osiadań ostatniego punktu linii - punktu 89 - pozwala przyjąć z niwielkim błędem, że punkt 89 znajduje się poza wpływem eksploatacji górniczej - jest więc punktem stałym. Począwszy od punktu 89 sumowano różnice długości Δu - otrzymano w ten sposób wartość bezwzględnego przesunięcia poziomego poszczególnego punktu linii obserwacyjnej. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabl. 1. Miejsca maksymalnych wartości przesunięć poziomych:

punkt 53 $u_{max} = -326$ mm,

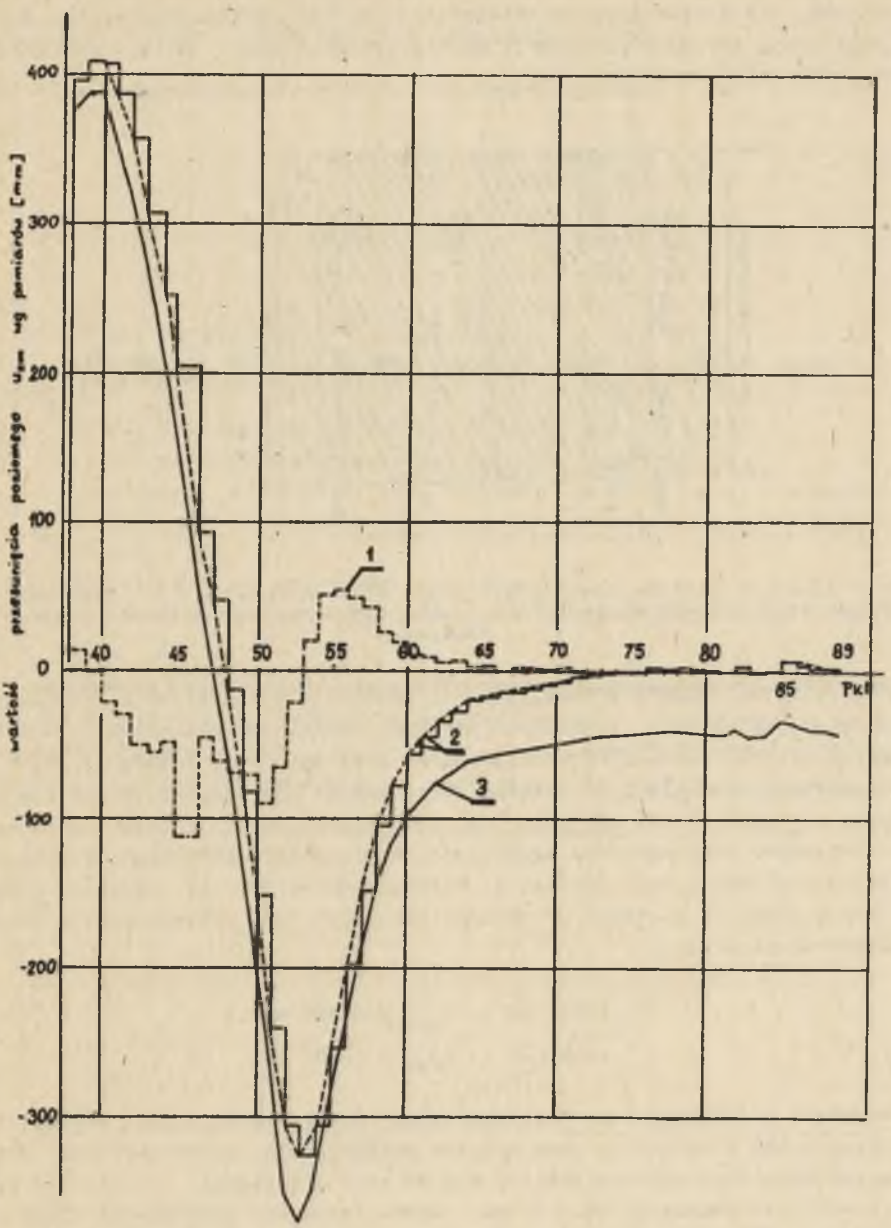
punkt 40 $u_{max} = +408$ mm,

występują nad teoretyczną krawędzią eksploatacji i pokrywają się z punktami przegięcia profilu niecki osiadania. Natomiast miejsce zerowych przesunięć poziomych ($u = 0$) jest przesunięte w kierunku upadu pokładu o ok. 8 m od miejsca występowania największej wartości osiadania (pkt 47). Według teoretycznych założeń miejsca te powinny się pokrywać. Miejsce występowania największej wartości osiadań (pkt 47-1221 mm) jest równocześnie punktem osi symetrii pola eksploatacyjnego i niecki osiadania na powierzchni terenu (rys. 3). Niezgodność tę, aczkolwiek niewielką, można tłumaczyć między innymi "silniejszym" wpływem nachylenia pokładu na wartość dewiacji przesunięcia poziomego aniżeli na wartość dewiacji osiadania. Być może mamy tu do czynienia z dodatkowym zjawiskiem przesuwania się (ślizgania) warstw górotworu w kierunku upadu, nie powodującym wzrostu wartości

Tablica 1

Wyniki pomiarów długości między punktemi linii obserwacyjnej i wartości przesunięć poziomych

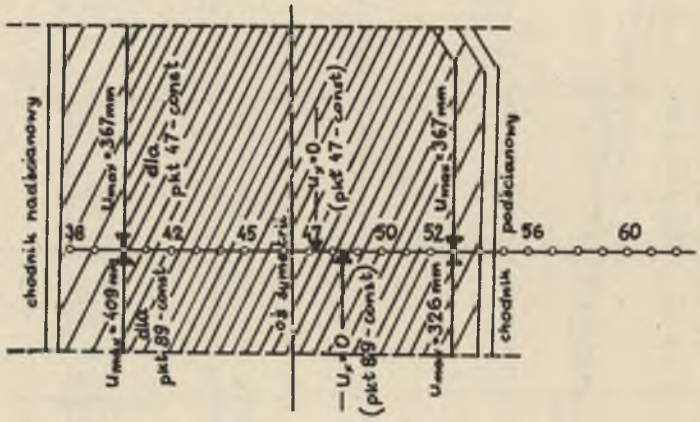
Lp.	Przęsło pkt-pkt	Długość 4.6.69 mm	Długość 13.3.70 mm	Δu mm	U_{zm} (pkt 89) mm	U_{zm} (pkt 47) mm
1	89-88	5052	5049	-3	+3	-42
2	88-87	4954	4954	0	+3	-39
3	87-86	3973	3791	-2	+5	-37
4	86-85	6112	6109	-3	+8	-34
5	85-84	5034	5041	+7	+1	-41
6	84-83	4985	4987	+2	-1	-43
7	83-82	5062	5057	-5	+4	-38
8	82-81	5460	5464	+4	0	-42
9	81-80	4447	4446	-1	+1	-41
10	80-79	4955	4954	-1	+2	-40
11	79-78	5078	5077	-1	+3	-38
12	78-77	4962	4970	+1	+2	-40
13	77-76	4971	5019	-1	+3	-38
14	76-75	5017	4969	+2	+1	-40
15	75-74	4968	4988	+1	0	-41
16	74-73	4987	4988	+1	-1	-42
17	73-72	5456	5458	+2	-3	-44
18	72-71	4524	4525	+1	-4	-45
19	71-70	5020	5023	+3	-7	-48
20	70-69	4948	4950	+2	-9	-50
21	69-68	5037	5039	+2	-11	-52
22	68-67	4935	4938	+3	-14	-55
23	67-66	3714	3714	0	-14	-55
24	66-65	6241	6244	+3	-17	-58
25	65-64	5046	5048	+2	-19	-60
26	64-63	5012	5020	+8	-27	-68
27	63-62	5020	5027	+7	-34	-75
28	62-61	5035	5045	+10	-44	-85
29	61-60	5023	5035	+12	-56	-97
30	60-59	4966	4987	+21	-77	-118
31	59-58	5075	5102	+27	-104	-245
32	58-57	4995	5039	+44	-148	-189
33	57-56	5067	5117	+50	-198	-239
34	56-55	5002	5057	+55	-253	-294
35	55-54	5013	5065	+52	-305	-346
36	54-53	4999	5020	+21	-326	-367
37	53-52	5013	4992	+21	-305	-345
38	52-51	4549	4484	-65	-240	-281
39	51-50	5448	5359	-89	-151	-192
40	50-49	4995	4925	-70	-81	-122
41	49-48	5034	4960	-68	-131	-54
42	48-47	4990	4929	-61	+48	+7
43	47-46	5004	4959	-45	+93	+52
44	46-45	8891	8779	-112	+205	+164
45	45-44	4681	4633	-48	+253	+212
46	44-45	5022	4967	-55	+308	+267
47	43-42	5019	4969	-50	+358	+317
48	42-41	4973	4944	-29	+387	+346
49	41-40	5053	5032	-21	+408	+367
50	40-39	4998	4997	-1	+409	+368
51	39-38	5987	5101	+14	+395	+354



Rys. 2. Wykres wartości przesunięć poziomych wg pomiarów w terenie

1 - różnica długości między punktami obliczona wg wzoru (2), 2 - wartości przesunięć poziomych "u" liczone od punktu 89, 3 - wartości przesunięć poziomych liczone od skorygowanego punktu zerowych przesunięć poziomych (pkt 47)

osiadań, ale wpływającym na zwiększenie wartości przesunięć poziomych. Interpretacja tej anomalii wymaga dalszej szczegółowej analizy wykraczającej poza ramy niniejszej pracy.



Rys. 3. Szkic punktów linii pomiarowej nad eksploatacją z zaznaczeniem charakterystycznych miejsc obliczonych i zmierzonych wartości przesunięć poziomych

Przyjmijmy zgodnie z teoretycznymi założeniami i analizą osiadań punktów nad eksploatacją, że miejsce zerowych przesunięć poziomych "u" występuje w miejscu maksymalnych osiadań. Na podstawie tego założenia obliczono wartości bezwzględnych przesunięć poziomych poszczególnych punktów sumując wartości różnic długości (u) wg pomiarów od ww. punktu. Otrzymano w ten sposób inne wartości bezwzględnych przesunięć poziomych. Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicy 1. Należy podkreślić, że uzyskano prawie idealną symetrię wartości przesunięć poziomych "u", przykładowo na krawędziach eksploatacji:

punkt 53 $u_{max} = -367$ mm

punkt 40 $u_{max} = +367$ mm.

Natomiast w punktach znacznie oddalonych od eksploatacji (pkt 80-82) znajdujących się praktycznie poza wpływem eksploatacji, gdzie wartości przesunięć poziomych powinny zbliżać się do zera - występuje stała wartość przesunięcia poziomego ok. -40 mm, sugerująca swoim charakterem "błąd stały". Przyjęcie "błędu stałego" ok. 40 mm i korekta przesunięć poziomych właśnie o tę wartość daje nam w wyniku obraz przesunięć jak przy założeniu stałości punktu 89. W tej stacji dalszą analizę prowadzono dla jednego i drugiego obrazu przesunięć poziomych osobno.

4. OBLICZENIE TEORETYCZNYCH WARTOŚCI PRZESUNIĘĆ POZIOMYCH

Wartości przesunięć poziomych "u" obliczono wg wzoru

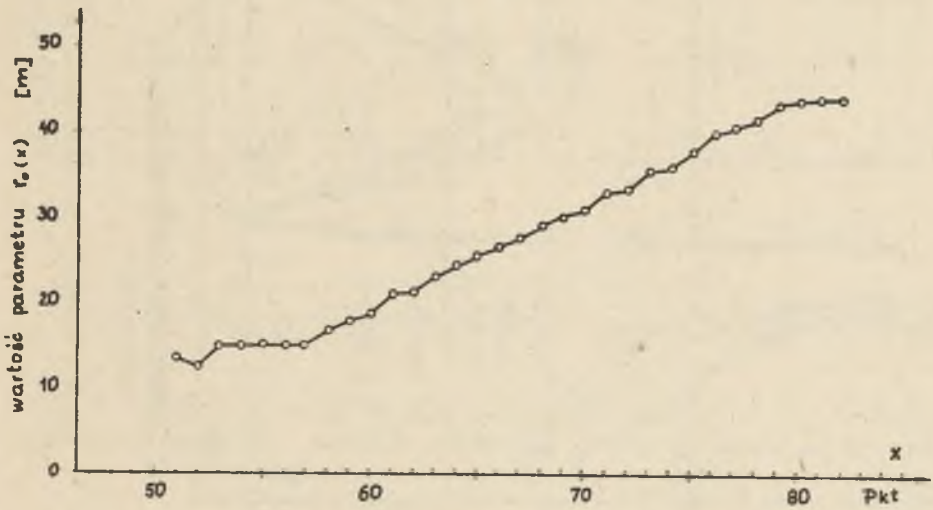
$$u = ag \cdot r_o \cdot \frac{db}{dz} \cdot \Delta\Psi \cdot \Delta \frac{\sin\alpha}{2\pi} \tag{3}$$

$$\frac{db^*}{dz} = s_u \frac{db}{dz}, \tag{4}$$

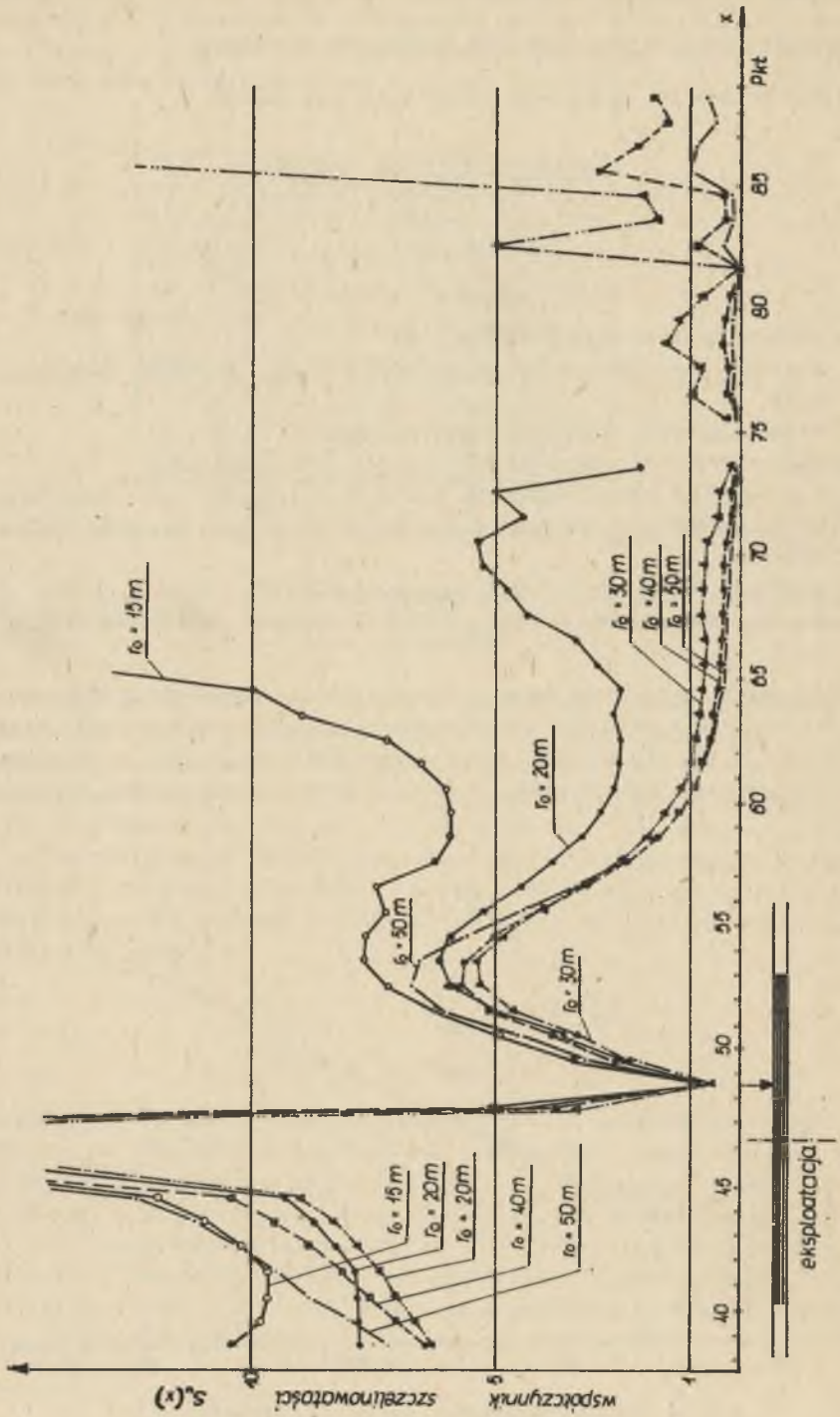
gdzie:

- u - wartość przesunięcia poziomego, mm,
- a - współczynnik eksploatacyjny, parametr teorii, wielkość bezwymiarowa,
- g - średnia grubość eksploatowanego pokładu, m,
- $\frac{db}{dz}$ - wartość pochodnej funkcji $b(z)$, wielkość bezwymiarowa,
- s_u - współczynnik szczelinowatości poziomej obliczony na podstawie zmierzonych "bezwzględnych" przesunięć poziomych, wielkość bezwymiarowa,
- $\Delta\Psi$ - przyrost funkcji przesunięć poziomych $\Psi(b, r_o)$,
- α - kąt określający eksploatację w formie wycinka pierścienia kołowego.

T. Kochmański, określając pojęcie "funkcji szczelinowatości" [8], wprowadził do wzorów dla obliczania odkształceń poziomych "współczynnik szczelinowatości" s_x [6, 7, 13, 14], którego wartość określa się z wyników pomiarów odkształceń poziomych ε_x. W niniejszej pracy wprowadzono oznacze-



Rys. 4. Wykres zmienności wartości parametru $r_o(x)$



Rys. 5. Wykresy wartości "współczynnika szczelinowatości" s_u dla przyjętych wartości r_o. Wartości przesunięć poziomych liczone od stałego punktu 89

nie współczynnika szczelinowatości obliczonego z analizy wartości przesunięć poziomych jako s_u w odróżnieniu od s_x. Podobne oznaczenie wprowadził J. Zych w pracy [14], w której stwierdzono, że s_u jest funkcją odległości punktu od eksploatacji podobnie jak s_x.

Przyjmując, że wartość parametru r_o jest również zależna od odległości poziomej punktu od eksploatacji (rys. 4), wartość przesunięcia poziomego można określić jako funkcję:

$$u(x) = f\left[a, g, \Psi\left[b(z), r_o(xyz)\right], s_u(x,y,z)\right] \tag{5}$$

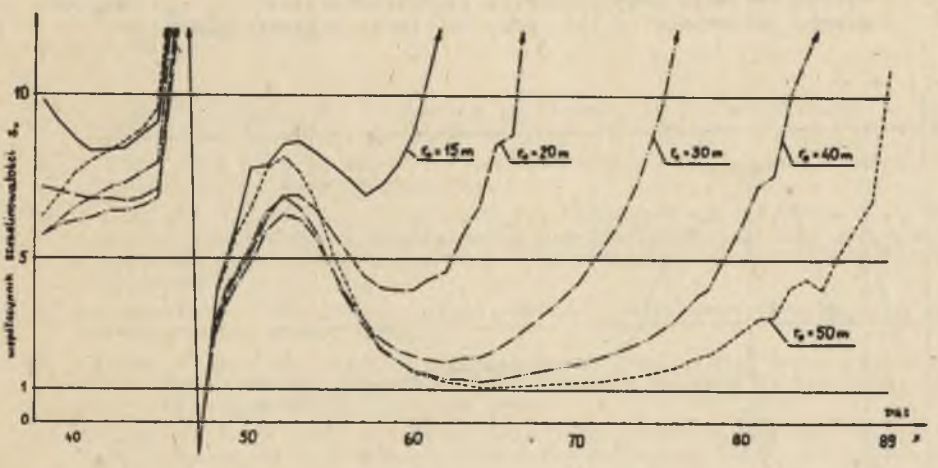
W niniejszej pracy obliczono wartości przesunięć poziomych wg wzoru (3), przyjmując $s_u = 1$ oraz różne wartości parametrów r_o (15, 20, 30, 40 i 50 m). Wartość współczynnika szczelinowatości s_u obliczono dla każdego punktu i dla poszczególnych wartości r_o:

$$s_u = \frac{u_{zm}}{u_{teor}}; \qquad r_o = \text{const.} \tag{6}$$

gdzie:

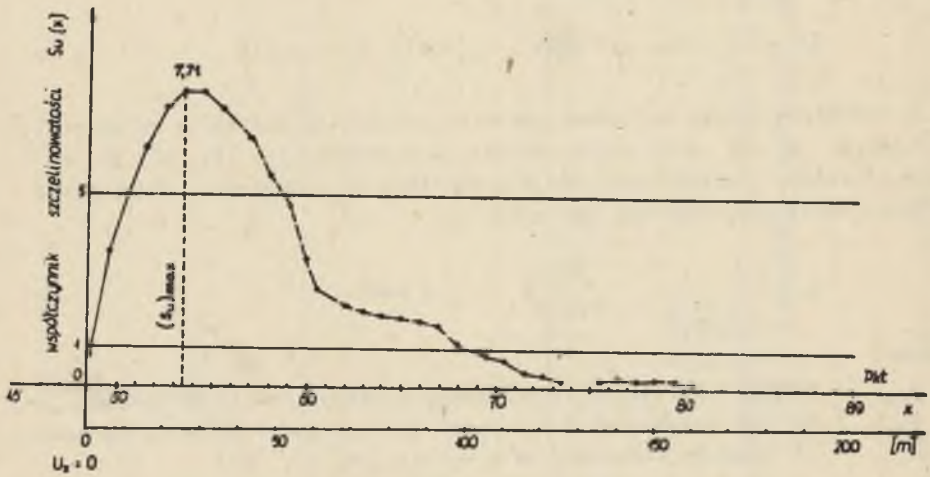
u_{zm} - wartości przesunięcia poziomego w danym punkcie wg pomiarów, mm,

u_{teor} - wartość przesunięcia poziomego obliczona teoretycznie wg wzoru (3) w danym punkcie przy przyjęciu $s_u = 1$, mm.

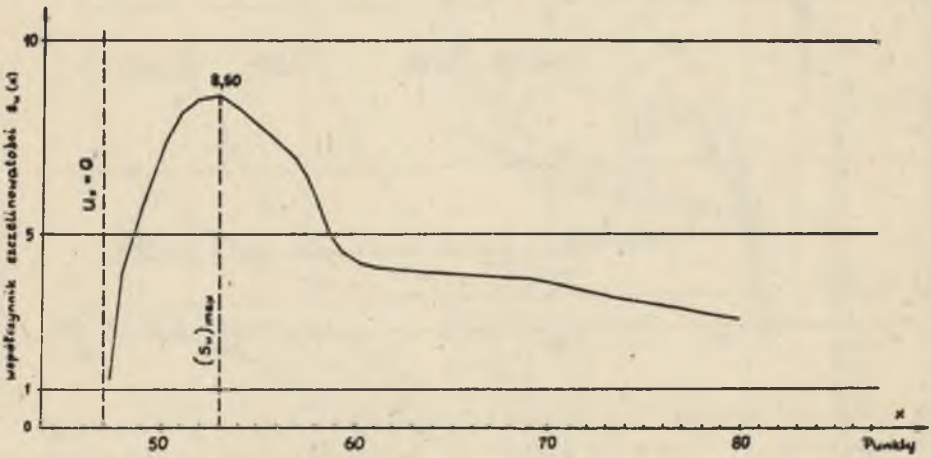


Rys. 6. Wykresy wartości "współczynnika szczelinowatości" s_u dla przyjętych wartości r_o. Wartości przesunięć poziomych liczone od skorygowanego punktu występowania u = 0 (pkt 47)

Wyniki obliczeń s_u przedstawiono w formie wykresów (rys. 5 i 6). Uwzględniając konkretną wartość parametru r_o w danym punkcie (rys.4) skonstruowano wykres wartości $s_u(x)$ - przy przyjęciu stałości punktu 89 (rys. 7) i przy przyjęciu skorygowanych miejsc występowania $u = 0$ i u_{max} (rys.8). Szczegółową analizę błędów aproksymacji wartości teoretycznych do wartości zmierzonych przesunięć poziomych przeprowadzono w pracy [11].



Rys. 7. Wykres wartości "współczynnika szczelinowatości" s_u po uwzględnieniu zmienności $r_o(x)$ przy przyjęciu stałości punktu 89



Rys. 8. Wykres wartości "współczynnika szczelinowatości" s_u po uwzględnieniu zmienności $r_o(x)$ i przyjęciu wartości przesunięć poziomych liczonych od skorygowanego punktu występowania $u = 0$ (pkt 47)

5. PODSUMOWANIE

Analizując wyniki pomiarów odległości między punktami linii obserwacyjnej stwierdzono, że obliczone na tej podstawie wartości bezwzględnych przesunięć poziomych "u" zależą od przyjęcia początku układu, od którego obliczamy bezwzględne przesunięcia:

- od punktu praktycznie położonego poza zasięgiem wpływów lub
- od punktu, w którym wg teoretycznych założeń powinno być $u = 0$ i zachowana symetria funkcji przesunięć.

W jednym i drugim przypadku wartości przesunięć poziomych w punktach pomiarowych powinny być takie same. Stwierdzona w analizowanym przypadku anomalia jest prawdopodobnie wynikiem zsumowania (ślizgania) się warstw nadległego górotworu spowodowana nachyleniem pokładu ok. 3° i dużym nachyleniem niecki poeksploatacyjnej. Obliczone wartości współczynnika szczelinowatości s_u są zależne od odległości punktu od centrum eksploatacji, w którym występuje $u = 0$. Wykres funkcji $s_u[x, r_o(x)]$ przedstawiono na rys. 7 i 8.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można wnioskować, że pojęcie "współczynnika szczelinowatości" s_u nie należy kojarzyć ze "współczynnikiem szczelinowatości" s_x [7, 8, 13] w świetle praktycznego jego stosowania. W analizie deformacji poeksploatacyjnych prawdopodobnie należy ograniczyć się do "współczynnika szczelinowatości" s_x, czyli w stosunku do odkształceń poziomych ε_x.

LITERATURA

[1] Borecki M., Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt uczelniany nr 208 Politechniki Śl. Gliwice, 1968.

[2] Dokumentacja wyników pomiarów linii obserwacyjnych na powierzchni terenu kopalni K. (niepublikowane).

[3] Kochmański T., Zych J., Magdziorz J., Jędrzejec E., Szczerba J.: Instrukcja konstrukcji i posługiwania się grafikonami dla obliczenia wskaźników deformacji wg teorii T. Kochmańskiego. Gliwice 1972 (niepublikowana).

[4] Kochmański T.: Obliczanie ruchów punktów pod wpływem eksploatacji górniczej. PWN Warszawa, 1965.

[5] Kochmański T., Magdziorz J.: Zmniejszenie odkształceń przez kształtowanie frontu eksploatacji górniczej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo z. 39. Gliwice 1969.

[6] Kochmański T., Tyrała A.: Określenie dopuszczalnego udziału skał płonych i innych odpadów w podsadzce hydraulicznej w świetle zagadnień ochrony powierzchni. Ochrona Terenów Górniczych, nr 17. Katowice,1971.

[7] Kochmański T., Zych J.: Fizyczne znaczenie parametrów teorii statystyczno-całkowej T. Kochmańskiego. Ochrona Terenów Górniczych, nr 23. Katowice, 1973.

[8] Kochmański T.: Funkcja szczelinowatości. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej PAN Oddz. W Krakowie. Geodezja, z. 20, PWN Warszawa-Kraków, 1975.

[9] Lubina T.: Uwagi wynikające z analizy dynamicznych niecek osiadania. Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej. Geodezja, z. 31. PWN, Warszawa-Kraków, 1976.

[10] Lubina T.: Określenie wartości parametru r_o z poeksploatacyjnej niecki osiadania. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 64, Gliwice 1974.

[11] Lubina T.: Analiza zmienności współczynnika szczelinowatości na wartości przesunięć poziomych na podstawie wyników pomiarów z rejonu kopalni K. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo (praca oddana do druku).

[12] Magdziorz J.: Nowe metody obliczania wskaźników deformacji górotworu. Ochrona Terenów Górniczych, nr 11, Katowice, 1970.

[13] Skrodzka G., Próchniak S.: Zależność pochodnej parametru b względem z od głębokości eksploatacji górniczej. Ochrona Terenów Górniczych, nr 28. Katowice, 1974.

[14] Zych J.: Analiza wyników obserwacji geodezyjnych z rejonu kopalni Moszczenica. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo z. 70, Gliwice, 1976.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТОЧЕК ПОВЕРХНОСТИ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ГОРНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Р е з ю м е

В докладе были анализованные результаты измерений длины между точками измерительной линии. Потверждено отклонение мест выступания максимальных и нулевых величин горизонтальных перемещений вероятно из-за сдвигания вышележащих слоев над эксплуатированным пластом наклонённым на $\alpha = 3^o$. Вычислено величины коэффициента трещиноватости s_u на основе измеренных величин горизонтальных перемещений s_u, принимая изменчивость параметра $r_o = r_o(x)$ в отдельной измерительной точке. Представлено изменчивость коэффициента трещиноватости в зависимости от расстояния и между каждой точкой а горною эксплуатацию.

AN ANALYSIS OF RESULTS OF GEODESIC MEASUREMENTS OF HORIZONTAL DISPLACEMENTS OF POINTS ON THE SURFACE FOR THE INFLUENCE OF MINING EXPLOITATION

S u m m a r y

In the paper, results of measurements of distances between points of measure line were analysed. It was found the anomaly of horizontal displacements, probably caused by sliding down the beds, which lay over exploitated seam of $\alpha = 3^o$ dip, in the places where maximum or zero values of displacements occur. It has been estimated the values of fissuring coefficient of s_u, on the base of measured values of horizontal displacements of u, shereto a varying or $r_o = r_o(x)$ parameter had assumed. A varying of fissuring coefficient of $s_u(x)$ in the dependence upon the distances of x from underground exploitation for the respective point of measure line has been presented.