

Piotr STRZAŁKOWSKI

ZMIENNOŚĆ PARAMETRÓW METODY UWZGLĘDNIAJĄCEJ
ASYMETRYCZNY PRZEBIEG WSKAŹNIKÓW DEFORMACJI [26]
W ŚWIETLE WYNIKÓW POMIARÓW GEODEZYJNYCH

Streszczenie. Praca poświęcona jest parametrom metody J. Zycha prognozowania wpływów eksploatacji górniczej. Opisano program komputerowy służący do wyznaczania parametrów metody na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych. Podano wartości parametrów dla eksploatacji prowadzonej w zróżnicowanych warunkach geologiczno-górnicych.

Zaproponowano również wzory empiryczne pozwalające na wyliczanie wartości parametrów w przypadku, gdy nie dysponuje się wynikami pomiarów.

1. WPROWADZENIE

Wśród wielu teorii prognozowania wpływów eksploatacji górniczej najczęściej stosowane są w Polsce teorie geometryczno-całkowe [10, 11]. Ich zgodność z wynikami obserwacji geodezyjnych jest ściśle uzależniona od wartości przyjmowanych do obliczeń parametrów. Parametry te wyznacza się znanymi z literatury sposobami [3, 7, 9, 10, 12, 15, 23] głównie na podstawie wyników pomiarów osiadań terenu. Gdy w danym rejonie pomiarów nie prowadzono, można do prognoz przyjmować wartości parametrów wyznaczone z pomiarów dokonywanych w rejonie o podobnej budowie geologicznej lub wyliczać wartości parametrów z wzorów empirycznych [8, 13, 14, 25].

Wymienione teorie, aczkolwiek bardzo przydatne praktycznie, wykazują pewne systematyczne rozbieżności w stosunku do wyników pomiarów geodezyjnych [14, 24, 26]. Mając na uwadze te aspekty tworzono teorie nowe [2, 26] oraz próby uwzględniania asymetrycznego rozkładu wskaźników deformacji względem krawędzi eksploatacji [5, 6, 17, 26]. Spośród tych ostatnich najpełniejszy opis wskaźników deformacji i największe możliwości praktycznego zastosowania ma metoda opracowana przez J. Zycha [26]. Aby stosowanie tej metody pozwalało na uzyskiwanie dobrej jakości prognozy konieczna jest znajomość wartości parametrów. Podobnie więc, jak w przypadku teorii geometryczno-całkowych konieczne stało się:

- opracowanie metody wyznaczania parametrów dla skończonych kształtów eksploatacji (dla zagadnienia płaskiego metodę taką podano w pracy [26]

- wyznaczenie parametrów metody dla przypadków prowadzenia eksploatacji w zróżnicowanych warunkach geologiczno-górnictwowych,
- zaproponowanie wzorów empirycznych pozwalających na wyznaczanie parametrów, gdy nie dysponuje się wynikami pomiarów geodezyjnych.

Zagadnienia te opracowano w pracy [20], której syntezę jest niniejszy artykuł.

2. PARAMETRY METODY I SPOSÓB ICH WYZNACZANIA NA PODSTAWIE WYNIKÓW POMIARÓW GEODEZYJNYCH

W rozważanej w pracy metodzie [26] do opisu przemieszczeń pionowych przyjęto następującą funkcję:

$$\omega(x) = -ag \left\{ \frac{1}{r_w} \int_x^{+\infty} \exp \left[-\pi \left(\frac{\lambda}{r_w} \right)^2 \right] d\lambda - A \exp \left[-2\pi \left(\frac{x}{r_w} \right)^2 \right] \right\} \quad (1)$$

nachylenia i krzywizny pionowe są odpowiednio pierwszą i drugą pochodną osiadań po współrzędnej x .

Do opisu przesunięć poziomych zaproponowano funkcję w postaci:

$$u(x) = -B_1 ag \left\{ \exp \left[-\pi \left(\frac{x}{r_u} \right)^2 \right] - 4\pi B_2 \frac{x}{r_u} \exp \left[-2\pi \left(\frac{x}{r_u} \right)^2 \right] \right\} \quad (2)$$

Odkształcenia poziome są pierwszą pochodną przesunięć po x .

We wzorach przyjęto następujące oznaczenia:

- g - grubość pokładu,
- r_w - promień zasięgu wpływów głównych dla ruchów pionowych, wyrażony w metrach, decyduje o zasięgu deformacji związanych z ruchami pionowymi,
- a - współczynnik eksploatacji zależny od sposobu kierowania stropem, wielkość bezwymiarowa,
- A - współczynnik bezwymiarowy, który decyduje o wartości przesunięcia połowy osiadań maksymalnych znad krawędzi eksploatacji w kierunku zrobów, o stopniu asymetrii osiadań, nachyleń i krzywizn pionowych względem krawędzi eksploatacji, a także o miejscach występowania ekstremalnych wartości dwóch ostatnich wskaźników deformacji,
- r_u - promień zasięgu wpływów głównych dla ruchów poziomych, wyrażony w metrach, decyduje o zasięgu deformacji związanych z ruchami poziomymi,
- B_1 - współczynnik bezwymiarowy decyduje o wartościach przesunięć i odkształceń poziomych,

B_2 - współczynnik bezwymiarowy decyduje o stopniu asymetrii przesunięć i odkształceń poziomych względem krawędzi eksploatacji i o miejscach występowania ekstremalnych wartości tych wskaźników deformacji.

Do wyznaczania powyższych parametrów opracowano program komputerowy w języku FORTRAN na mikrokomputery IBM PC AT/XT [18, 19]. Program oblicza i zestawia w tablicy wydruku wartości pięciu podstawowych wskaźników deformacji: osiadań, nachyleń, krzywizn pionowych, przesunięć i odkształceń poziomych. Następnie wyznaczane są parametry: A , a , r_w na podstawie osiadań uzyskanych z pomiarów geodezyjnych przy zastosowaniu metody najmniejszych kwadratów. Do minimalizacji funkcji celu użyto algorytm Powella [16] ze względu na stabilność numeryczną, szybkość i dokładność obliczeń. Metoda Powella należy do metod bezgradientowych jest ona szczególnie efektywna, gdy funkcja celu jest wypukłą funkcją kwadratową. Minimalizacja przeprowadzana jest w dwóch etapach przy zadawanej dokładności. W analogiczny sposób wyznacza się parametry: B_1 , B_2 , r_u z przesunięć poziomych otrzymanych z pomiarów. W dalszej kolejności obliczono wartości ww. wskaźników deformacji w punktach linii obserwacyjnej. Dla każdego wskaźnika deformacji dokonywano porównania wartości wyznaczonych z pomiarów z obliczonymi przy wyznaczonych parametrach. Obliczane były przy tym wartości błędu średniego, odchylenia standardowego i błędu procentowego rozumianego, jako wyrażony w procentach stosunek odchylenia standardowego do maksymalnej wartości danego wskaźnika deformacji. Wartość błędu procentowego jest miarą jakości dopasowania wskaźnika deformacji obliczonego do uzyskanego z pomiarów.

4. PARAMETRY WYZNACZONE DLA RÓŻNYCH WARUNKÓW GEOLOGICZNO-GÓRNICZYCH PROWADZONEJ EKSPLOATACJI

Rozpatrywano bogaty materiał pochodzący z pomiarów geodezyjnych. Przeprowadzona analiza pozwoliła na wybranie takich przypadków, które nie były obciążone wpływem innych poza eksploatację górniczą czynników (np.: odwodnienie terenu, zaburzenia tektoniczne, itp.). Odrzucono także te wyniki obserwacji, które nie nadawały się do dalszych rozważań z uwagi na niską dokładność pomiarów. Do wyznaczania parametrów zastosowany został program krótko opisany w punkcie 2 niniejszej pracy. Dokładny jego opis znaleźć można w pracach [18, 19].

Wyznaczone parametry zestawiono w tablicy 1, w której podano również głębokości eksploatacji, grubości eksploatowanych pokładów oraz wartości błędów procentowych dla osiadań i przesunięć poziomych. Parametry związane z ruchami pionowymi wyznaczono dla 14 przypadków, a z ruchami poziomymi dla 10, co spowodowane było tym, że w 4 przypadkach prowadzono jedynie pomiary niwelacyjne.

Tablica 1

ZBIORCZE ZESTAWIENIE WYZNACZONYCH PARAMETRÓW
METODY J. ZYCHA

Lp.	Kopalnia linia	Głębokość eksploatacji [m]	Grubość pokładu [m]	α	r_w [m]	A	m_{pw} [%]
1.	Komuna Parryska 3/1	64	1,6	0,762	40,10	0,227	0,78
2.	Komuna Parryska 4/1	64	1,6	0,811	42,78	0,219	0,77
3.	Komuna Parryska 5/1	70	1,6	0,700	47,69	0,200	0,39
4.	Komuna Parryska 4/2	84	1,6	0,844	53,99	0,209	0,85
5.	Komuna Parryska 5/2	84	1,6	0,779	47,64	0,189	0,83
6.	Dębieńsko	156	1,5	0,734	97,91	0,255	1,95
7.	Zabrze 1	180	1,2	0,733	129,42	0,181	2,76
8.	Zabrze 2	220	1,0	0,679	91,04	0,172	1,08
9.	Boże Dary	230	3,2	0,505	248,62	0,200	3,83
10.	Chwałowice	275	2,0	0,729	115,19	0,135	0,95
11.	Murcki 1	347	2,2	0,900	254,34	0,206	2,54
12.	Murcki 4	373	1,7	0,900	209,99	0,100	2,28
13.	Borynia	420	2,4	0,552	148,32	0,200	3,15
14.	Miechowice	830	2,8	0,878	463,99	0,124	0,95

c.d. tablicy 1

Lp.	Kopalnia linia	Głębokość eksploatacji [m]	Grubość pokładu [m]	r_u [m]	B_1	B_2	m_{pu} [%]
1.	Komuna Par- ryska 3/1	64	1,6	53,75	0,247	0,168	2,14
2.	Komuna Par- ryska 4/1	64	1,6	58,63	0,258	0,142	2,16
3.	Komuna Par- ryska 5/1	70	1,6	59,32	0,325	0,153	2,01
4.	Komuna Par- ryska 4/2	84	1,6	65,24	0,260	0,156	1,73
5.	Komuna Par- ryska 5/2	84	1,6	67,14	0,261	0,167	3,73
6.	Dębieńsko	156	1,5	118,62	0,279	0,228	6,61
7.	Boże Dary	230	3,2	123,02	0,216	0,050	9,94
8.	Chwałowice	275	2,0	124,95	0,308	0,084	3,49
9.	Borynia	420	2,4	155,11	0,226	0,177	16,17
10.	Miechowice	830	2,8	466,49	0,123	0,054	4,68

5. PROPONOWANE WZORY DO OBLICZANIA WARTOŚCI PARAMETRÓW

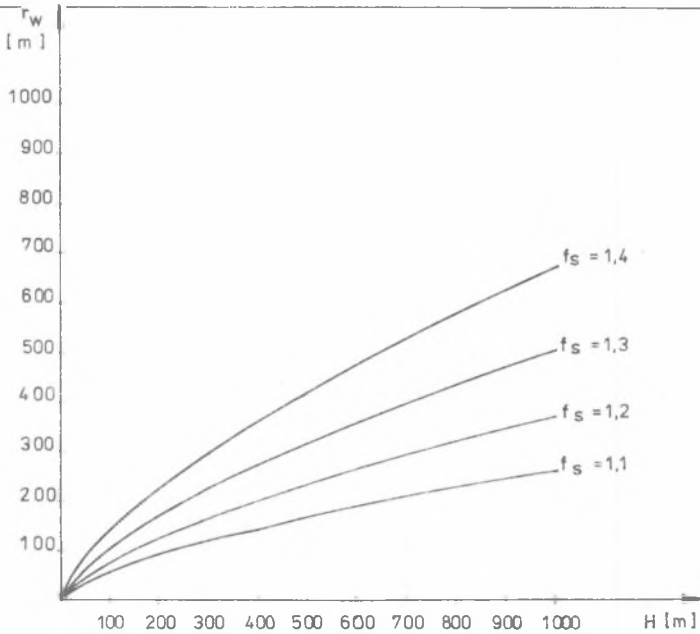
Dysponując wyznaczonymi parametrami, jak również danymi opisującymi warunki geologiczno-górniczne prowadzonej eksploatacji, dokonano analizę wpływu warunków na wartości parametrów. Zawarte w pracy [20] rozważania wykazały, że wartości parametrów zależą od głębokości eksploatacji H i własności mechanicznych górotworu, które opisano za pomocą bezwymiarowego wskaźnika f_s przyjmującego wartości od 1,1 dla warstw słabych do 1,5-1,8 dla mocnych. Wskaźnik ten zaproponowano obliczać dla poszczególnych warstw z zależności:

$$f_{si} = 1 + a\sqrt{R_m} \quad (3)$$

gdzie:

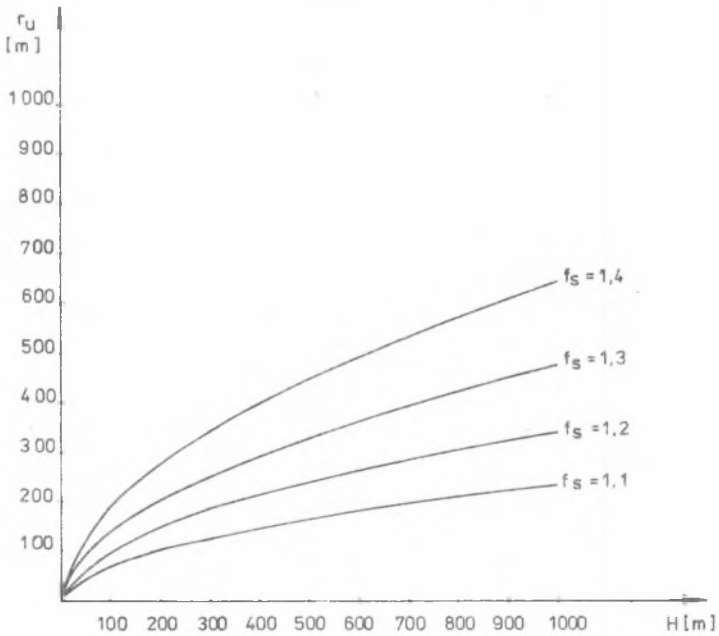
a - współczynnik, $1/\sqrt{\text{MPa}}$

$a = 0,1$ dla mułowców i piaskowców,



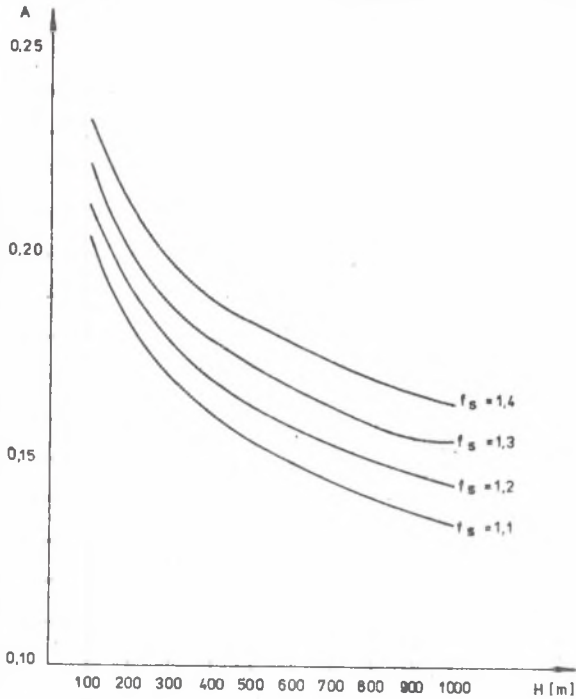
Rys. 1. Przebieg zmienności parametru r_w wg wzoru (4)

Fig. 1. Diagrams of variability of parameter r_w calculated according to formula (4)



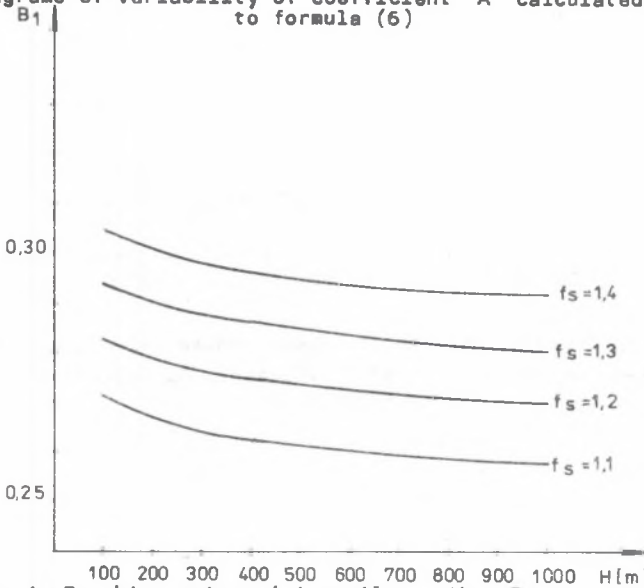
Rys. 2. Przebieg zmienności parametru r_u wg wzoru (5)

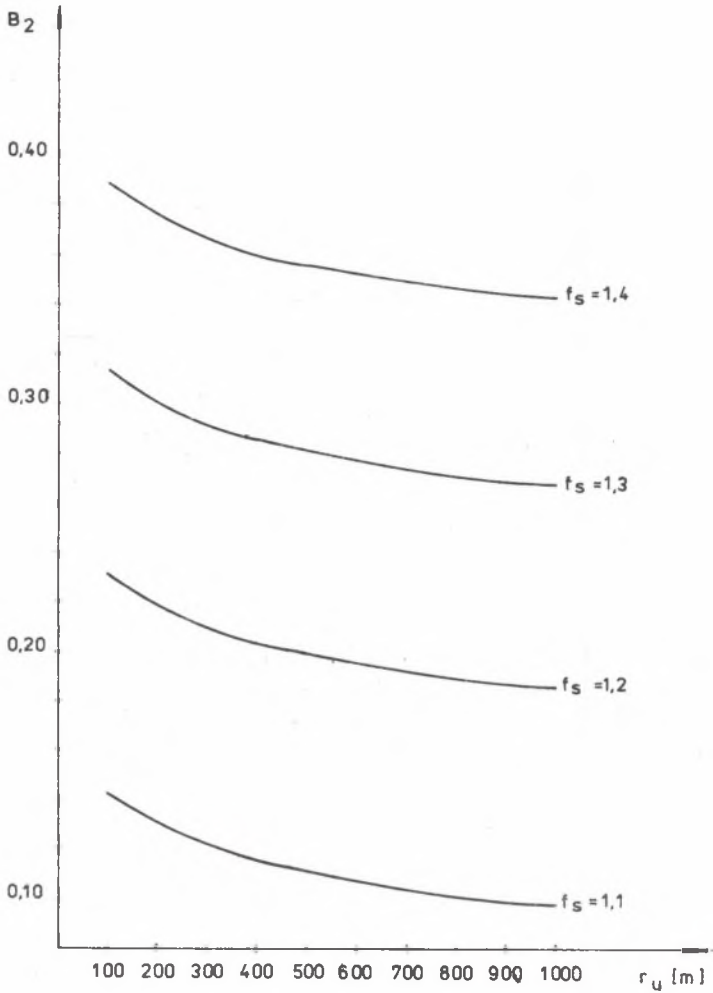
Fig. 2. Diagrams of variability of parameter r_u calculated according to formula (5)



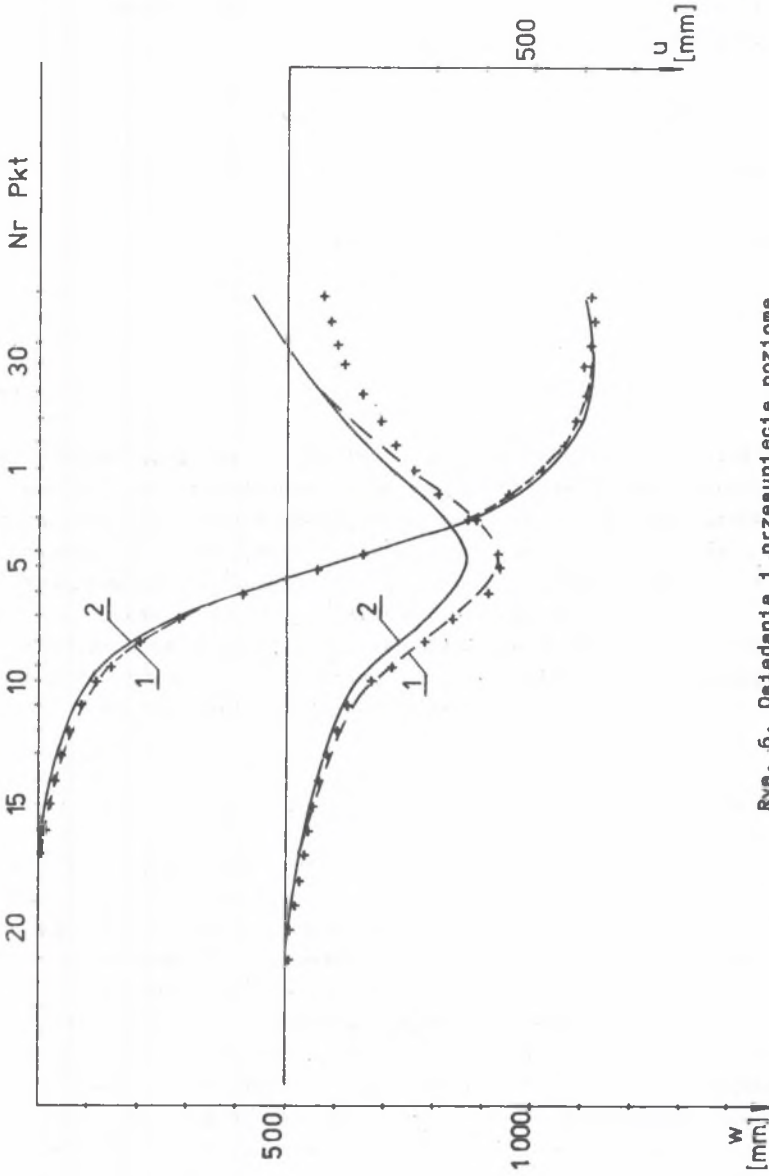
Rys. 3. Przebieg zmienności współczynnika A wg wzoru (6)

Fig. 3. Diagrams of variability of coefficient A calculated according to formula (6)

Rys. 4. Przebieg zmienności współczynnika B_1 wg wzoru (7)Fig. 4. Diagrams of variability of coefficient B_1 calculated according to formula (7)



Rys. 5. Przebieg zmienności współczynnika B_2 wg wzoru (8)
Fig. 5. Diagrams of variability of coefficient B_2 calculated according to formula (8)



Rys. 6. Osiedzenia i przesunięcia poziome

+ - uzyskano z pomiarów, 1 - obliczone przy parametrach wyznaczonych z pomiarów, 2 - obliczone przy parametrach wyliczonych z proponowanych wzorów

Fig. 6. Mining subsidence and horizontal displacements

+ - measured, 1 - theoretically calculated when the parameters were obtained from of geodetic measurement results, 2 - theoretically calculated from the parameters proposed

$\alpha = 0,042$ dla łowców,

R_m - wytrzymałość skał w masywie wg klasyfikacji skał stropowych GIG.

Dla danego profilu geologicznego należy obliczać wartości wskaźnika f_s , jako średnią ważoną wszystkich warstw budujących górotwór.

Dzięki zastosowaniu programów wykorzystujących metodę regresji otrzymano następujące wzory na parametry:

$$r_w = 1,721 f_s^{3,843} \cdot H^{0,671} \quad (4)$$

$$r_u = 4,121 f_s^{4,162} \cdot H^{0,530} \quad (5)$$

$$A = 0,623 H^{-0,074} + 0,029 f_s^{2,419} - 0,275 \quad (6)$$

$$B_1 = -0,252 H^{0,021} + 0,564 f_s^{0,234} - 0,028 \quad (7)$$

$$B_2 = 0,142 - 0,021 \ln r_u + 1,015 \ln f_s \quad (8)$$

Przebiegi zmienności parametrów przedatawioną na rys. 1-5. Rysunki te służyć mogą jednocześnie, jako nomogramy do określania wartości parametrów. Miarą dokładności i przydatności praktycznej wzorów jest to, jak zgadzają się przebiegi wskaźników deformacji obliczonych przy parametrach określonych ze wzorów z wynikami pomiarów geodezyjnych. Przeprowadzone w pracy [20] obliczenia wskazują na przydatność praktyczną wzorów. Przykładowo na rys. 6 pokazano wartości osiadań i przesunięć poziomych stwierdzone pomiarami "+", obliczone przy parametrach wyznaczonych z pomiarów - i 1 przy parametrach określonych z proponowanych wzorów.

5. UWAGI KOŃCOWE

Wobec prowadzenia intensywnej eksploatacji węgla kamiennego w filarach ochronnych, zagadnienie dokładnego przewidywania wpływów robót górniczych coraz bardziej zyskuje na znaczeniu. Rozważana w pracy metoda pozwala na uzyskiwanie lepszej zbieżności wskaźników deformacji obliczonych do otrzymanych z pomiarów niż stosowane powszechnie teorie geometryczno-całkowe [10, 11]. Stało się to możliwe dzięki zastosowaniu do opisu wskaźników deformacji funkcji asymetrycznych względem krawędzi eksploatacji i przyjęciu różnych parametrów dla przemieszczeń poziomych i pionowych. Błędy procentowe obliczone dla osiadań i przesunięć poziomych podana w tabelicy i wyraźnie wskazują na dużą dokładność metody, a analizowane przykłady stanowią jej dodatkową weryfikację. Podkreślić należy, że na jakość prognozy bezpośredni wpływ mają przyjęte do obliczeń parametry. Zagadnie-

niu przyjmowania odpowiednich wartości parametrów poświęcono sporo miejsca w pracach [18, 19, 20] uzyskując następujące rezultaty:

- opracowano program komputerowy [18, 19] pozwalający na wyznaczanie parametrów metody dla przypadku eksploatacji o kształcie prostokątnym i linii nachylonej pod dowolnym kątem do krawędzi eksploatacji,
- wyznaczono parametry metody na podstawie deformacji wywołanych eksploatacją prowadzoną w zróżnicowanych warunkach geologiczno-górnich, na głębokościach od 64 do 830 m. Wartości parametrów posłużyć mogą w przyszłości do prognoz dla rozpatrywanych rejonów bądź rejonów o podobnej budowie geologicznej,
- zaproponowano wzory empiryczne pozwalające na obliczanie wartości parametrów, gdy nie można ich wyznaczyć z wyników pomiarów geodezyjnych. Wzory te powinny być w dalszym ciągu weryfikowane w miarę napływania wiarygodnych wyników pomiarów geodezyjnych.

LITERATURA

- [1] Batkiewicz W.: Zmniejszenie deformacji górotworu przez prowadzenie eksploatacji frontem o specjalnym kształcie. Praca habilitacyjna. Kraków 1965.
- [2] Chudek M., Stefański L.: Teoretyczne ujęcie wpływu podziemnej eksploatacji złóż na deformacje powierzchni przy uwzględnieniu warstwowej budowy górotworu. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górnictwo z. 145.
- [3] Drzeźła B.: Podstawy teoretyczna wyznaczania parametrów teorii ruchów górotworu nad eksploatacją górnictw przy pomocy maszyny cyfrowej. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górnictwo z. 44. Gliwice 1971.
- [4] Drzeźła B.: Rozwiązanie pewnego przestrzennego zadania liniowej teorii sprężystości w zastosowaniu do prognozowania deformacji górotworu pod wpływem eksploatacji górnictw wraz z oprogramowaniem. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górnictwo z. 91. Gliwice 1978.
- [5] Dżęgniuk B.: Niektóre efekty nieliniowe w procesie osiadanania nad eksploatacją górnictw. Zeszyty Naukowe AGH. Geodezja z. 34. Kraków 1975.
- [6] Grań K.: Próba ujęcia asymetrii wpływów eksploatacji górnictw przy poziomym zaleganiu pokładu. PAN Oddz. w Krakowie. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej. Geodezja 29, 1981.
- [7] Grań K., Lubina T., Mních S.: Określanie parametrów teorii T. Kochmańskiego na analogu fotoelektrycznym. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej PAN. Geodezja 15.
- [8] Haligowski J., Rogusz Z.: Przebieg deformacji powierzchni w czasie prowadzenia eksploatacji górnictw w świetle obserwacji geodezyjnych. Konferencja nt. "Wybrane zagadnienia budownictwa na terenach górniczych". PAN Oddz. w Krakowie. Śląska Komisja Górniczo-Geodezyjna w Katowicach. Katowice-Janowice 1974.
- [9] Hejmanowski R.: O możliwości wykorzystania mikrokomputerów do określania parametrów α oraz r teorii Budryka-Knothe'go na podstawie obserwacji geodezyjnych skutków eksploatacji górnictw. Przegląd Górniczy 2/87.
- [10] Knothe St.: Prognozowanie wpływów eksploatacji górnictw. Wydawnictwo Śląsk. Katowice 1984.

- [11] Kochmański T.: Obliczanie ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej. PAN, Warszawa 1956.
- [12] Kot A., Trzcionka P., Bryła J.: Praktyczna metoda wyznaczania parametrów teorii ruchu górotworu. Przegląd Górniczy 12/1972.
- [13] Kot A., Mertas J.: Analiza wpływu na powierzchnię i górotwór eksploatacji górniczej prowadzonej na dużych głębokościach w oparciu o wyniki obserwacji geodezyjnych w Kopalniach ZZPW. Praca niepublikowana. Gliwice 1984.
- [14] Popiołek E., Ostrowski J.: Zależność między nachyleniami a przemieszczeniami poziomymi terenu w ostatecznie wykształconych nieckach obniżeniowych. Ochrona Terenów Górniczych nr 46. Katowice 1978.
- [15] Praca zbiorowa: Opracowanie sposobu prognozowania wpływów eksploatacji prowadzonej na różnych głębokościach w filarze ochronnym dla miasta Bytomia. Praca niepublikowana. Gliwice 1986.
- [16] Praca zbiorowa: Algorytmy optymalizacji w języku FORTRAN. PWN, Warszawa 1984.
- [17] Sałustowicz A.: Profil niecki osiadania jako ugięcie warstwy na sprężystym podłożu. Obliczanie elementów niecki osiadania nad poziomymi wyrobiskami górniczymi. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa. T. 1, z. 1, 1953.
- [18] Strzałkowski P.: Wykorzystanie algorytmu Powella do wyznaczania parametrów nieliniowej metody prognozowania wpływów eksploatacji górniczej autorstwa J. Zycha. Ochrona Terenów Górniczych nr 87. Katowice 1989.
- [19] Strzałkowski P.: Program do wyznaczania parametrów teorii statystyczno-całkowych prognozowania wpływów eksploatacji górniczej. Ochrona Terenów Górniczych nr 86. Katowice 1988.
- [20] Strzałkowski P.: Wpływ warunków geologiczno-górniczych na parametry asymetrycznego rozkładu deformacji powierzchni terenu. Gliwice 1989. Praca doktorska niepublikowana.
- [21] Strzałkowski P.: Wpływ warunków górniczo-geologicznych na parametry i współczynniki metody J. Zycha prognozowania wpływów eksploatacji górniczej. Zeszyty Naukowe AGH. W druku.
- [22] Szpetkowski St.: Kształtowanie się wartości wskaźników odkształceń właściwych na podstawie obserwacji z terenów kilku zagłębi górniczych. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnych PAN. Górnictwo 11. Kraków 1972.
- [23] Zych J.: Zastosowanie rachunku wyrównawczego do wyznaczania parametrów teorii T. Kochmańskiego z pomierzonych osiadań i przesunięć poziomych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górnictwo z. 41. Gliwice 1969.
- [24] Zych J.: Teorie geometryczno-całkowe w świetle wyników obserwacji geodezyjnych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górnictwo z. 157. Gliwice 1987.
- [25] Zych J.: Zmienność parametrów teorii St. Knothe'go i T. Kochmańskiego w świetle badań geodezyjnych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górnictwo z. 134. Gliwice 1985.
- [26] Zych J.: Metoda prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu uwzględniająca asymetryczny przebieg procesu deformacji. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górnictwo z. 164. Gliwice 1987.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДА С УЧЕТОМ
АСИММЕТРИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ [26]
В СВЕТЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Р е з ю м е

Работа посвящается параметрам метода Я. Зыха прогнозирования влияния горной эксплуатации. Описывается компьютерная программа, служащая для определения параметров метода на основе результатов геодезических измерений. Даны значения параметров для выработки проводимой в различных горно-геологических условиях.

Предлагаются также эмпирические формулы, позволяющие рассчитать значения параметров в случае, если отсутствуют результаты измерений.

VARIABLE PARAMETERS OF METHOD OF PREDICTING MINING
EXPLOITATION INFLUENCES ON THE GROUND SURFACE TAKING INTO
ACCOUNT ASYMMETRY OF DEFORMATION PROCESS ACCORDING TO
GEODESIC MEASUREMENT RESULTS

S u m m a r y

The work is devoted to parameters of J. Zych's method of predicting mining exploitation influences. In the paper there was presented a micro-computer program which enables to calculate the parameters on the basis of the geodesic measurements results. Values of parameters for exploitation in different geological and mine conditions have been given. Formulae for calculating the parameters when the geodesic measurements results are not available have been also proposed.