ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: GÓRNICTWO z. 220 Nr kol. 1242

Jan ZYCH
Piotr STRZAŁKOWSKI
Roman ŚCIGAŁA
Instytut Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego
i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, Gliwice

TEORIA S. KNOTHEGO DLA STANÓW NIEUSTALONYCH W ŚWIETLE ANALIZY POMIARÓW GEODEZYJNYCH WYKONANEJ PRZY UŻYCIU TECHNIKI CYFROWEJ

Streszczenie. W pracy przedstawiono metody prognozowania nieustalonych stanów osiadania powierzchni terenu, w tym również najczęściej stosowaną teorię S. Knothego. Na podstawie powyższego rozwiązania opracowano algorytm i program komputerowy pozwalający na wyznaczanie parametrów modelu oraz na obliczanie wielkości osiadań. Opierając się na powyższym programie dokonano analizy wyników pomiarów geodezyjnych z linii obserwacyjnej B-L z terenu kopalni "Dębieńsko".

THE KNOTHE'S THEORY FOR PREDICTING MINING SUBSIDENCE OVER TIME ON THE BASIS OF ANALYSIS OF GEODESIC MEASUREMENTS, RESULTS USING COMPUTERS.

Summary. Methods for predicting mining subsidence over time as well as the most popular Knothe's theory have been discussed. The paper presents also the computer program written for determining parameters of this theory. The program has been used for determining parameters and calculating mining subsidence on the observation line from Coal Mine "Dębieńsko".

ТЕОРИЯ С. КНОТХЭ ДЛА НЕУСТАНОВИВШИХСЯ СОСТОЯНИЙ В СВЕТЕ АНАЛИЗА МАРКШЕЙДЕРСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ, ПРОВЕДЕННОГО ПРИ ПОМОЩИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Резюме. В работе представлены методы прогнозирования неустановившихся состояний оседания поверхности территории, а среди них чаще всего применяющийся метод С. Кнотхэ. На основани этого решения разработан алгоритм и компьютерная программа, позволяющая определить параметры модели, а также расчитать размеры оседания. При помощи этой программы проведен анализ результатов маркшейдерских измерений с линии наблюдений Б-I в шахте "Дэмбеньско".

1. WPROWADZENIE

Metody służące do prognozowania osiadania powierzchni terenu z uwzględnieniem czynnika czasu podzielić można na dwie główne grupy:

Grupa pierwsza obejmuje rozwiązania uzyskane na drodze empirycznej. Zaliczyć tu można prace badaczy niemieckich [2, 3, 13, 18], radzieckich [15] oraz polskich [1, 5, 12, 16, 19, 22, 23], przy czym te ostatnie bazują głównie na aproksymowaniu prędkości osiadania punktu położonego nad eksploatacją odpowiednią funkcją. W grupie tej wymienić można także zależności empiryczne pozwalające na obliczanie maksymalnej prędkości osiadania punktów [16, 18].

Grupa druga obejmuje prace wykorzystujące prawa fizyki do tworzenia czasoprzestrzennego modelu deformacji powierzchni terenu. Korzystano tu zarówno z praw mechaniki [11, 20], jak też szukano analogii miedzy opisem matematycznym zjawisk fizycznych i procesem deformacji powierzchni terenu [4, 14].

W Polsce największe zastosowanie znalazło rozwiązanie S. Knothego [6]. Wielu badaczy starało się na bazie powyższego rozwiązania podać własny opis osiadań nieustalonych, który lepiej przystawałby do wyników pomiarów geodezyjnych. Punktem wyjścia w rozwiązaniu S. Knothego było równanie:

$$\frac{dw_t}{d_t} = c(w_k - w_t), \tag{1}$$

gdzie:

c - współczynnik czasu,

w_k - osiadanie końcowe,

w_t - osiadanie w chwili czasu t.

Załóżmy na początku za autorem, że wartość osiadania końcowego jest stała (w_k =const.) Wtedy w prosty sposób rozwiązać można równanie (1) otrzymując:

$$w_t = w_k(1 - e^{ct}) \tag{2}$$

Przyjmowanie założenia o stałości osiadania końcowego w_k jest jednak zbytnim uproszczeniem z uwagi na postępujący front eksploatacyjny. Uwzględnianie z kolei zmiennej wartości w_k w równaniu (1) prowadzi do bardziej skomplikowanego rozwiązania, które dla zagadnienia płaskiego i stałej prędkości postępu frontu ma postać:

$$w_t(t,s) = \int_0^t f(\lambda v - s)d\lambda - \int_0^t f(\lambda v - s)ve^{c\lambda}d\lambda \tag{3}$$

gdzie:

s - współrzędna punktu,

f - funkcja wpływów teorii S.Knothego,

t - współrzędna czasowa.

W przypadku skończonych kształtów pól eksploatacyjnych równanie (1) ma rozwiązanie dość trudne do praktycznego stosowania. Dlatego też wygodnie jest dzielić pole eksploatacyjne na elementarne paski, co do których można założyć z dostateczną dla praktyki dokładnością, że zostały one wyeksploatowane w czasie zdążającym do zera. Taki sposób pozwala zakładać stałość osiadania końcowego dla poszczególnych pasków, a co za tym idzie korzystać ze wzoru (2) o bardzo prostej postaci.

2. OPIS PROGRAMU

Przedmiotowy program został opracowany dla komputerów typu IBM PC XT/AT. Zapisu algorytmu dokonano w języku FORTRAN ze względu na fakt istnienia obszernej biblioteki procedur i funkcji, szczególnie jeżeli chodzi o metody optymalizacji.

Program służy do wyznaczania parametrów teorii S. Knothego dla niecek nieustalonych, w przypadku eksploatacji prowadzonej ścianą o wyrobiskach przyścianowych parami równoległych. Dane do obliczeń zawierają współrzędne wierzchołków parceli w kolejnych stanach odpowiadających postępowi eksploatacji w czasie i odpowiadające im daty; współrzędne punktów linii obserwacyjnejoraz wartości

osiadań stwierdzonych pomiarami w punktach linii. Kryterium minimalizacji stanowi metoda najmniejszych kwadratów zgodnie ze wzorem:

$$F = \sum_{i=1}^{n} (w_{rzi} - w_{ti})^2 , \tag{4}$$

gdzie:

F - funkcja celu,
n - ilość punktów pomiarowych
w_{rzi} - osiadanie stwierdzone pomiarem w i - tym punkcie,
w_{ti} - osiadanie obliczone teoretycznie, przy czym $w_{ti} = f(a, r, c,...)$,
a - współczynnik eksploatacji,
r - promień zasięgu wpływów głównych [m],
c - współczynnik czasu [1/dobę].

W obliczeniach, zgodnie z założeniami teorii, nie uwzględniono obrzeża eksploatacyjnego. Podział pola eksploatacyjnego na elementarne paski i uwzględnianie w każdym z nich obrzeża praktycznie uniemożliwia obliczenia, gdyż wartość obrzeża przekracza znacznie wielkość kilkudniowego postępu frontu, a więc szerokość kilku pasków elementarnych.

Do minimalizacji funkcji celu zastosowano algorytm Powella ze względu na szybkość i dokładność obliczeń. Opis algorytmu i jego schemat blokowy przedstawiono w pracy [21].

Ponieważ osiadanie chwilowe obliczane jest jako splot dwóch funkcji, z których pierwsza wyraża osiadanie asymptotyczne, a druga funkcję czasu, zachodzi konieczność podziału pola eksploatacji na elementarne paski. Osiadanie chwilowe wywołane eksploatacją elementarnego paska wyrażone jest wzorem:

$$w_{ti} = w_{ki} * f_i(t - t_i) \tag{5}$$

gdzie:

w_{ti} - osiadanie chwilowe wywołane eksploatacją i-tego paska elementarnego
w_{ki} - osiadanie asymptotyczne wywołane eksploatacją i-tego paska elementarnego,
$f(t-t_i)$ - funkcja czasu,
t_i - czas wyeksploatowania paska elementarnego.

3. ANALIZA WYNIKÓW W POMIARÓW GEODEZYJNYCH DLA LINII B-L Z TERENU KWK "DĘBIEŃSKO"

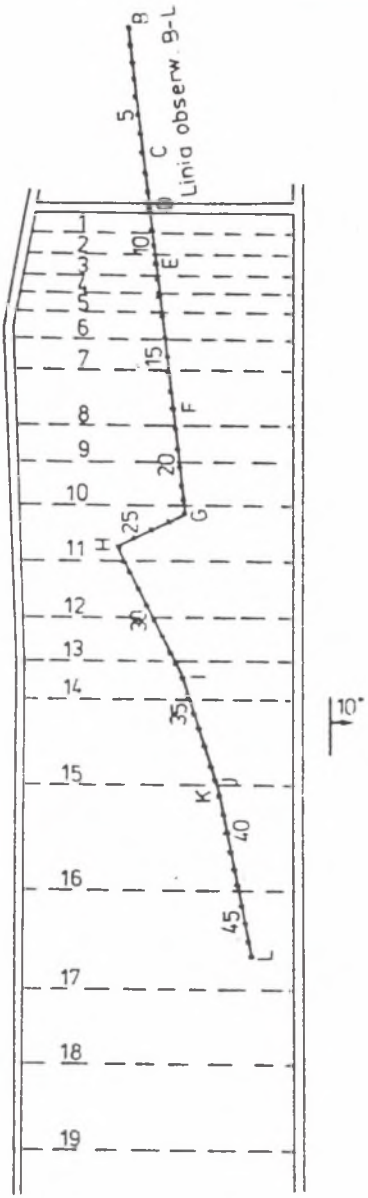
3.1. Warunki geologiczno-górnicze

Górotwór w przedmiotowym rejonie wykształcony jest w postaci warstw czwartorzędowych i karbonu produktywnego. Warstwy czwartorzędu mają średnią miąższość około 55 m. Karbon reprezentowany jest przez warstwy orzeskie, średni upad warstw wynosi 10°.

Przedmiotem eksploatacji był pokład 326/5 o grubości 1,28 m do 1,6 m zalegający na głębokości od 135 m do 190 m. W rozpatrywanym rejonie eksploatacja była prowadzona systemem ścianowym podłużnym jedną ścianą z zawałem stropu w okresie od sierpnia 1974 r. do maja 1975 r. Postęp frontu był niestały i wahał się w granicach od 1.1 do 4 m/dobę.

3.2. Charakterystyka wykonanych pomiarów geodezyjnych

Linia B-L założona była prostopadle do frontu nad środkiem pola (rys. 1). Składała się ona z 58 punktów obserwacyjnych rozmieszczonych w odległościach co 15 m. Całkowita długość linii wynosiła 785 m. Pomiary wysokości wykonano metodą niwelacji technicznej, natomiast pomiary długości taśmą stalową. Częstość wykonania pomiarów wynosiła średnio 10 dni, a w czterech ostatnich cyklach 20 dni.



MAPA WYROBISK GÓRNICZYCH

POKŁAD 326/5 1:1000

Rys. 1. Usytuowanie linii obserwacyjnej B-L z KWK "Dębieńsko"
Fig. 1. Position of the obserwation line B-L and longwall (Coal Mine "Dębieńsko")

3.3. Wyniki działania programu

Na podstawie danych o eksploatacji i wynikach pomiarów geodezyjnych opisanych wyżej przygotowano zbiory danych do obliczeń dla kolejnych cykli pomiarowych. W wyniku działania programu otrzymano wartości wyznaczonych parametrów dla poszczególnych cykli pomiarowych oraz porównanie osiadań obliczonych teoretycznie z pomierzonymi.

Przykładowy wydruk zbioru wyników dla jednego z cykli przedstawiono w tablicy 1, natomiast w tablicy 2 zestawiono wartości wyznaczonych parametrów dla wszystkich rozpatrywanych cykli pomiarowych. Rys. 2 obrazuje wykresy osiadań obliczonych teoretycznie i pomierzonych wzdłuż linii B-L dla poszczególnych cykli.

Tablica 1

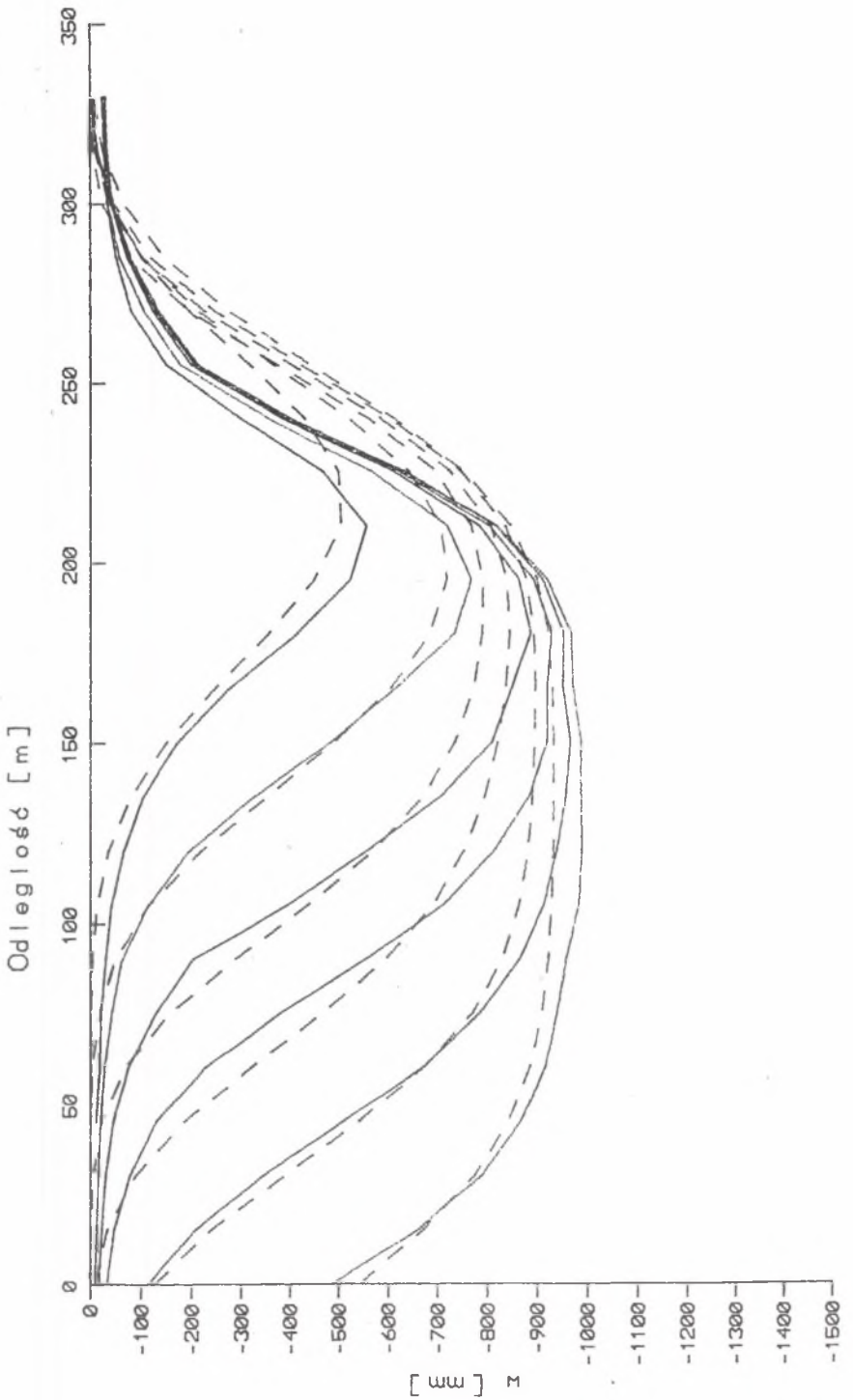
Przykład zbioru wyników dla jednego z cykli pomiarowych

Program do wyznaczania parametrów nieustalonych

Obliczone wartości c, a, r c= .108, a= .662 r= 68,49								
Porównanie osiadań								
Lp	X	Y	W.rzecz.	W.teoret	V	VV	SumV	SumVV
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	252,0	121,0	-33,000	-9,916	-23,0839	532,8656	-23,0839	532,8656
2	237,0	120,0	-47,000	-33,291	-13,7094	187,9467	-36,7932	720,8123
3	222,1	118,9	-77,000	-87,847	10,8473	117,6647	-25,9459	838,4770
4	207,1	117,9	-130,000	-185,463	55,4630	3076,1440	29,5171	3914,6210
5	192,1	116,8	-228,000	-320,577	92,5765	8570,4100	122,0936	12485,0300
6	177,2	115,8	-380,000	-467,431	87,4311	7644,1960	209,5247	20129,2300
7	162,2	114,7	-556,002	-596,002	40,0024	1600,1950	249,5271	21729,4200

cd. tabl. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	147,3	113,7	-712,000	-690,732	-21,2680	452,3281	228,2591	22181,7500
9	132,3	112,7	-814,000	-753,560	-60,4396	3652,9500	167,8195	25834,7000
10	117,3	111,6	-884,000	-794,001	-89,9993	8099,8680	77,8202	33934,5700
11	102,4	110,6	-919,000	-820,327	-98,6731	9736,3800	-20,8529	43670,9500
12	87,4	109,5	-919,000	-836,787	-82,2126	6758,9190	-103,0655	50429,8600
13	72,4	108,5	-928,000	-844,584	-83,4160	6958,2220	-186,4815	57388,0900
14	57,5	107,4	-892,000	-839,072	-52,9276	2801,3260	-239,4090	60189,4100
15	42,5	106,4	-803,000	-806,191	3,1911	10,1831	-236,2179	60199,5900
16	27,5	105,4	-620,000	-724,543	104,5427	10929,1800	-131,6752	71128,7700
17	12,6	104,3	-392,000	-582,514	190,5136	36295,4400	58,8384	107424,2000
18	-2,4	103,3	-207,000	-400,242	193,2419	37342,4400	252,0803	144766,7000
19	-17,3	102,2	-129,000	-226,093	97,0930	9427,0480	349,1733	154193,7000
20	-32,3	101,2	-72,000	-101,983	29,9825	898,9520	379,1558	155092,7000
21	-47,3	100,1	-43,000	-35.980	-7,0203	49,2845	372,1355	155141,9000
22	-62,2	99,1	-33,000	-9,788	-23,2124	538,8160	348,9231	155680,8000
23	-77,2	98,1	-30,000	-2,033	-27,9672	782,1650	320,9559	156462,9000
MQ= 3,9546 M= 82,4787 M% = 8,89%								



Rys. 2. Wykresy osiadań obliczonych teoretycznie i pomierzonych wzdłuż linii B-L

Fig.2. The diagrams of mining subsidence calculated theoretically and obtained from measurements along the observation line B-L

Tablica 2

Zestawienie wartości wyznaczonych parametrów dla poszczególnych cykli pomiarowych

Numer	Wartości parametrów			
cyklu	c	a	r	M%
	1/d		m	%
8	0,047	0,600	76,12	11,32
9	0,139	0,600	72,35	8,17
10	0,158	0,618	62,43	7,93
11	0,108	0,662	68,49	8,89
12	0,143	0,692	72,45	8,14
13	0,180	0,718	80,25	8,38
stat	d=19m	0,742	78,70	2,59

4. WNIOSKI WYNIKAJĄCE Z PRZEPROWADZONEJ ANALIZY

W niniejszej pracy przedstawiono podział teorii prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu uwzględniających wpływ czynnika czasu na proces deformacji, poświęcając szczególną uwagę teorii S. Knothego. Spowodowane to zostało dużą popularnością powyższej teorii, szczególnie w odniesieniu do stanów chwilowych. W pracy przedstawiono analizę wyników pomiarów geodezyjnych dokonaną na podstawie programu komputerowego do wyznaczania parametrów teorii S.Knothego:

- współczynnik kierowania stropem, a
- promień zasięgu wpływów głównych, r [m]
- współczynnik czasu, c [1/dobę].

Przeprowadzone obliczenia pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

W przypadku obliczania osiadań asymptotycznych konieczność stosowania obrzeża wykazał J. Zych w pracach [24] i [25]. Uzyskane dopasowania osiadań nieustalonych w stosunku do wyników pomiarów są znacznie gorsze niż w przypadku stosowania teorii Knothego dla osiadań asymptotycznych. Sugeruje to konieczność używania obrzeża również dla osiadań chwilowych.

Należy zauważyć, że uwzględnianie obrzeża w przypadku wyznaczania parametrów na podstawie wyników pomiarów osiadań chwilowych jest znacznie utrudnione z powodów omówionych w punkcie 2 niniejszej pracy. Wskazuje to na możliwość prowadzenia dalszych badań zmierzających do wykorzystania do opisu osiadań chwilowych teorii, które nie uwzględniają obrzeża przy opisie osiadań asymptotycznych a dających efekt jak przy jego stosowaniu. Można tu wykorzystać teorie uwzględniające asymetryczny przebieg wskaźników deformacji, np. teorię J. Zycha [25].

Prezentowany program może znaleźć zastosowanie praktyczne zarówno do wyznaczania parametrów, jak i obliczania osiadań nieustalonych.

LITERATURA

[1] Dżegniuk B., Sroka A., Sroka T.: Przybliżone normy na określenie maksymalnych wartości wskaźników deformacji dla pola eksploatacji w kształcie prostokąta. Prace Komisji Górniczo-Geologicznej PAN. Geodezja 26, Kraków 1978.
[2] Flashenträger H.: Die Kostenverteilung bei gemeinsam verursachten Bergshäden in Ruhrgebiet. Miitt. a.d. Marsheidew 1948.
[3] Gilles K.P.: Neuere Beobachtungen der durch den Abbau rueluerer. Bauhösten horizontalen und vertikalen Bodenbewegungen. Proceedings "Logeräftener-fassung, Bodenbewegung, Bergshäden". Ingenieur - veremessung Clausthal 1978, Val. 8, 248/71.
[4] Greń K.: Analog fotoelektryczny jako czasoprzestrzenny model rozchodzenia się wpływów nad eksploatacją górniczą. Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja z. 24. Kraków 1973.
[5] Knothe St.: Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1984.
[6] Knothe St.: Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, 1953.
[7] Knothe St.: Wpływ czasu na kształtowanie się niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, 1953.
[8] Kochmański T.: Obliczanie ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej. PAN, Warszawa 1956.
[9] Litwiniszyn J.: Równanie różniczkowe przemieszczeń górotworu. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, 1953.
[10] Kochmański T.: Integral Theorie der Bodenbergungen unter Einnirkung des Abbaus, Freiberger Forschungshefte Sonderdruck aus Heft A. 118, 1959.
[11] Letting H.: The law governing the dynamic ground movement and deformation over a working face during mining process. 4th International Conference and Structures. Cardiff 1991.
[12] Lubina T.: Nowy model matematyczny opisu deformacji górotworu w czasie. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Górnictwo 96, Gliwice 1979.
13] Perz F.: Höhenmessungen inbergbaubewegfem Geläude. Berg und Hüttenmänische Monatshefte 1942, s. 136.
[14] Piwowarski W.: Opis przemieszczeń pionowych aktywnego procesu deformacji górotworu w warunkach eksploatacji górniczej. Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja z. 106, Kraków 1989.

[15] Praca zbiorowa: Sdwiżenije gornych porod i ziemnoj powierchnosti pri podziemnych rozrabotkach, Niedra, Moskwa 1984.
[16] Rogusz Z., Kołodziej M.: Wpływ postępu frontu eksploatacyjnego na prędkość osiadań punktów powierzchni w świetle obserwacji geodezyjnych. Przegląd Górniczy 11-12/89, Katowice 1989.
[17] Salustowicz A.: Profil niecki osiadania jako ugięcie warstwy na sprężystym podłożu. Obliczanie elementów niecki osiadania nad poziomymi wyrobiskami górniczymi. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, 1953.
[18] Sauer A.: Die Einflüsse von Durchbannungsgrad. Abbaukonzentrazion und Abbaugeschwindigkeit auf die Vorausberechnung von Bodenbegungen. Glückauf - Forshundsheft 36 (1975), 16/26.
[19] Skinderowicz B.: Określenie współczynnika czasu dynamicznych niecek osiadania. Przegląd Górniczy nr 10, 1971.
[20] Sroka A., Schober F., Sroka T.: Ogólne zależności pomiędzy wybraną objętością pustki poeksploatacyjnej a objętością niecki osiadania z uwzględnieniem funkcji czasu. Ochrona Terenów Górniczych nr 78/1985.
[21] Strzałkowski P.: Metoda prognozowania nieustalonych osiadań powierzchni terenu z uwzględnieniem asymetrii profilu niecek i opóźnienia w ujawnianiu się wpływów. Praca nie publikowana o symbolu BW-748/RG-4/92. IGBPiOP Politechniki Śląskiej, Gliwice 1992.
[22] Trojanowski K.: Określenie wartości czasowych osiadań powierzchni górotworu. Rudy i Metale Nieżelazne nr 11, 1963.
[23] Wycisło K.: Wpływ czasu na przebieg procesu obniżeń górotworu spowodowanych eksploatacja górniczą. Praca doktorska AGH, Kraków 1964.
[24] Zych J.: Teorie geometryczno-całkowe w świetle wyników obserwacji geodezyjnych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Górnictwo z. 157. Gliwice 1987.
[25] Zych J.: Metoda prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchni terenu uwzględniająca asymetryczny przebieg procesu deformacji. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Górnictwo z. 164, Gliwice 1987.

Recenzent: Dr hab. inż. Wiesław **Piwowarski**

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1994 r.

Abstract

Among the many theories for predicting the influence of mining extraction, the statistic-integral theories (of Budryk-Knothe, Kochmański, Drzęźla, Zych) enjoy the greatest popularity and wide-spread application in Poland.
Many autors caried out methods for predicting mining subsidence over time. S. Knothe's method based on the equation:

$$\frac{dw_t}{dt} = c(w_k - w_t)$$

in which:

w_t - mining subsidence over time

w_k - final mining subsidence

t - time

c - time factor

is the most popular in Poland.

A computer program for determining parameters of this method as well as the practical example of use have been presented. The program has been used for determining parameters and calculating mining subsidence along an observation line from Coal Mine "Dębieńsko".