

Antoni KOT, Tomasz NIEMIEC, Roman TRZASKALIK

PROGNOZOWANIE DEFORMACJI GÓROTWORU I POWIERZCHNI  
POWODOWANYCH EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ PRZY POMOCY ANALOGU  
POJEMNOŚCIOWEGO

**Streszczenie.** Autorzy usystematyzowali prognozy wpływów eksploatacji górniczej wykonywane w kopalniach węgla kamiennego, wykazując potrzebę posiadania przez działy mierniczo-geologiczne kopalni urządzenia analogowego służącego do szybkiego określania wskaźników deformacji górotworu i powierzchni. Podano zasady budowy analogu pojemnościowego i sposób jego użytkowania. Możliwości wykorzystania analogu zilustrowano przykładem praktycznym.

1. Rodzaje prognoz wpływów eksploatacji górniczej

Cechą planowej gospodarki górniczej w zakresie ochrony środowiska jest optymalne wykorzystanie metod prognozowania deformacji górotworu i powierzchni w oparciu o zamierzenia lub projekty eksploatacji. Prognozy takie pozwalają na umiejętne przeciwdziałanie ujemnym skutkom eksploatacji poprzez zastosowanie odpowiedniej profilaktyki budowlanej lub górniczej. Profilaktycznie zabezpiecza się obiekty powierzchniowe, ustala czas ich remontu oraz rekultywacji powierzchni. Wprowadza się poprawki do zamierzeń i projektu eksploatacji zmieniając często system wybierania, zakres eksploatacji i projektowane jej czasokresy.

Prognozy wpływów eksploatacji górniczej sporządzane w kopalniach węgla kamiennego podzielić można na 6 grup:

1. Prognozy wpływów eksploatacji na powierzchnię terenu wykonywane dla potrzeb planu ruchu kopalni a obejmujące cały obszar górniczo-czynny kopalni.

Prognoza taka obejmuje co najmniej okres ujęty planem ruchu (2 lata). Prognozowanymi wskaźnikami deformacji powierzchni są obniżenia i względne odkształcenia poziome terenu. Wyniki prognoz przedstawia się w postaci mapy warstwicznej przewidywanych obniżzeń oraz granic kategorii szkód górniczych.

W sporadycznych przypadkach dla niektórych obiektów oblicza się także inne wskaźniki deformacji.

Podstawą opracowania prognoz jest projekt eksploatacji szczegółowo

określający dane górniczo-geologiczne (granice przewidywanych do wybrania części pokładów, ich miąższość, głębokość zalegania oraz system eksploatacji)

Prognozy powyższe są podstawą sporządzania harmonogramu napraw i zabezpieczeń obiektów powierzchniowych.

2. Prognozy wpływów eksploatacji wykonywane w związku z dodatkami do planu ruchu.

Różnią się one od przedstawionych w punkcie (1) jedynie mniejszym zakresem opracowania, obejmującym część obszaru górniczego, w którym nastąpiła zmiana projektu eksploatacji.

3. Prognozy wykonywane dla opracowania dokumentacji technicznych eksploatacji nowych pokładów lub ich części.

Projekt eksploatacji w tych dokumentacjach nie pokrywa się zwykle z planem ruchu. Czasokres eksploatacji przekracza 2 lata. Projekt obejmuje zwykle kilka pokładów w danym rejonie obszaru górniczego ograniczonym naturalnymi elementami budowy geologicznej lub granicami filarów ochronnych. Z uwagi na swój koncepcyjny charakter zakres projektowanej eksploatacji nie jest zbyt precyzyjnie określony i może ulec zmianie.

4. Określenie wpływu projektowanej eksploatacji na wybrany obiekt, czyli tzw. opinie budowlane.

Wykonuje się je na zlecenie inwestorów różnych obiektów budowlanych na danym obszarze górniczym (obiekty przemysłowe a także budynki jednorodzinne czy osiedla mieszkaniowe).

Zawierają one ocenę przydatności terenu do zabudowy oraz określenie sposobu profilaktycznego zabezpieczenia nowo wznoszonego obiektu.

Podstawą opracowania jest dokumentacja mierniczo-geologiczna kopalni i zasoby przemysłowe złoża. Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej jest zazwyczaj mało precyzyjne i sprowadza się do określenia kategorii szkód górniczych lub przewidywanych zalewisk.

5. Określenie wpływu dokonanej eksploatacji, wykonywane dla celów odszkodowań za tzw. szkody górnicze.

W tym przypadku dane górniczo-geologiczne są dokładne, gdyż uzyskane są z dokumentacji eksploatacji już dokonanej.

6. Prognozy specjalne.

Obejmują one bądź długi czasokres eksploatacji (np. wpływ dokonanej eksploatacji od początku istnienia kopalni, wpływ projektowanej eksploatacji do 2000 r., itp.), bądź dotyczą specjalnego obiektu (przemysłowo-

wego, zabytkowego, cieków wodnych, szlaków transportowych) lub projektu eksploatacji w filarach ochronnych. Tego rodzaju prognozy wykonują najczęściej instytuty naukowe lub wyższe uczelnie.

Z przedstawionej powyżej charakterystyki prognoz wpływów eksploatacji górniczej wykonywanych w działach mierniczych kopalni wynika, że są one niemal codzienną pracą mierniczego górniczego.

W praktyce mierniczej w prognozowaniu wskaźników deformacji górotworu i powierzchni stosuje się teorie geometryczno-całkowe wykorzystując do obliczeń:

- wzory służące do obliczania wartości maksymalnych wskaźników deformacji przy założeniu eksploatacji o kształcie nieskończonej półpłaszczyzny (teoria St. Knothe'go) ,
- tablice i nomogramy do obliczania wskaźników deformacji po zeschematyzowaniu kształtów eksploatacji do prostych figur geometrycznych (teoria T. Kochmańskiego) ,
- grafikonoy kołowe lub prostokątne (siatki segmentów jednakowych wpływów) umożliwiające określenie procentu maksymalnej deformacji w punkcie obliczeniowym (opracowane dla teorii T. Kochmańskiego i S. Knothe'go).

Możliwe do wykorzystania w pracach obliczeniowych są również nie będące na wyposażeniu działów mierniczo-geologicznych:

- mechaniczny sumator wpływów eksploatacji (na bazie grafikonów) ,
- analog fotoelektryczny, który wykorzystuje podobieństwo rozprzestrzeniania się wpływów eksploatacji górniczej z rozchodzeniem się światła od świecącej się powierzchni o kształcie wybranego pokładu i jego odbiorem w specjalnym urządzeniu fotoelektrycznym,
- elektroniczne maszyny cyfrowe.

W pracach działu mierniczo-geologicznego coraz szerzej wykorzystuje się elektroniczną technikę obliczeniową (ETO).

Maszyna cyfrowa jako narzędzie wykonywania prognoz wpływów eksploatacji górniczej stopniowo zastępuje inne.

Autorzy uważają, że w szeregu przedstawionych wyżej rodzajów sporządzanych prognoz ETO nie jest optymalnym narzędziem.

Z praktyki pracy działów mierniczo-geologicznych wynika potrzeba posiadania prostego, uniwersalnego narzędzia pracy umożliwiającego wykonywanie opracowań o różnym zakresie zarówno do planu ruchu kopalni jak i dla niemal codziennych obliczeń przy wydawaniu opinii budowlanych. W wielu przypadkach dla potrzeb ruchowych kopalni wykonuje się szereg opracowań o mniejszym zakresie dla różnych wariantów eksploatacji. Dla nich nieopłacalne jest stosowanie ETO ze względu na koszty opracowania oraz czas oczekiwania na obliczenia kolejnych alternatywnych projektów eksploatacji, zwłaszcza gdy dostęp do maszyny cyfrowej jest ograniczony.

Z kolei wykonywanie takich opracowań za pomocą grafikonów może okazać się zbyt uciążliwe i długotrwałe.

Zdaniem autorów wymogi dużej szybkości obliczeń, stosunkowo wysokiej dokładności opracowania oraz łatwości obsługi spełnia urządzenie zwane analogiem pojemnościowym, umożliwiające bezpośrednio określenie wartości wskaźników deformacji powodowanych eksploatacją górniczą w dowolnym punkcie górotworu i powierzchni.

## 2. Zasada działania i budowa analogu pojemnościowego

Wartość dowolnego wskaźnika deformacji górotworu " $\Delta$ " opisywana jest w teoriach geometryczno-całkowych ruchów górotworu i powierzchni całką powierzchniową ogólnej postaci:

$$\Delta = C' \iint_D F/r \, dD \quad (1)$$

gdzie:

- D - rzut poziomy wybranego złoza,
- F(r) - funkcja deformacji danego wskaźnika zależna od odległości punktu od wybranego pokładu,
- C' = C(a, g) - stała zależna od współczynnika osiadania "a" i miąższości złoza "g".

Z drugiej strony pojemność "C" kondensatora płaskiego wyraża się wzorem:

$$C = \epsilon \frac{D}{z} \quad (2)$$

gdzie:

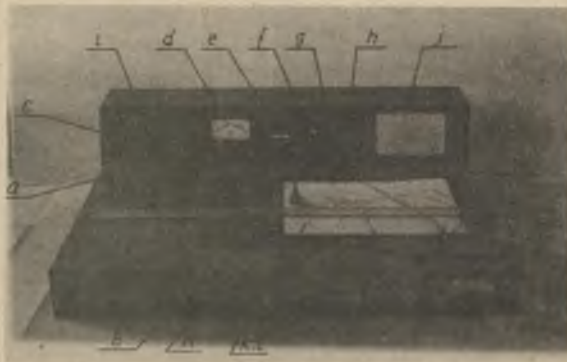
- $\epsilon$  - stała dielektryczna izolatora znajdującego się między okładzinami,
- D - powierzchnia okładziny mniejszej,
- z - odległość między okładzinami.

Ze wzoru (2) wynika, że przy niezmienności stałej dielektrycznej oraz odległości między okładzinami pojemność kondensatora jest jedynie funkcją powierzchni, przy czym zależność ta jest liniowa.

Z analizy wzorów (1) i (2) wynika, że jeśli jedną z okładzin kondensatora wykonamy podobną geometrycznie do powierzchni wybranego złoza, a drugą okładzinę sporządzimy tak, aby jej powierzchnia była proporcjonalna do wartości funkcji wskaźnika deformacji, to istnieje możliwość konstrukcji przyrządu, który drogą pomiaru pojemności takiego kondensatora umożliwiłby określanie wskaźnika deformacji górotworu i powierzchni powodowanych eksploatacją górniczą w dowolnym punkcie powierzchni.

Urządzenie do wyznaczania wskaźników deformacji górotworu i powierzchni powierzchni powodowanych eksploatacją górniczą, zwane potocznie analogiem pojemnościowym, było w ostatnich latach udoskonalane.

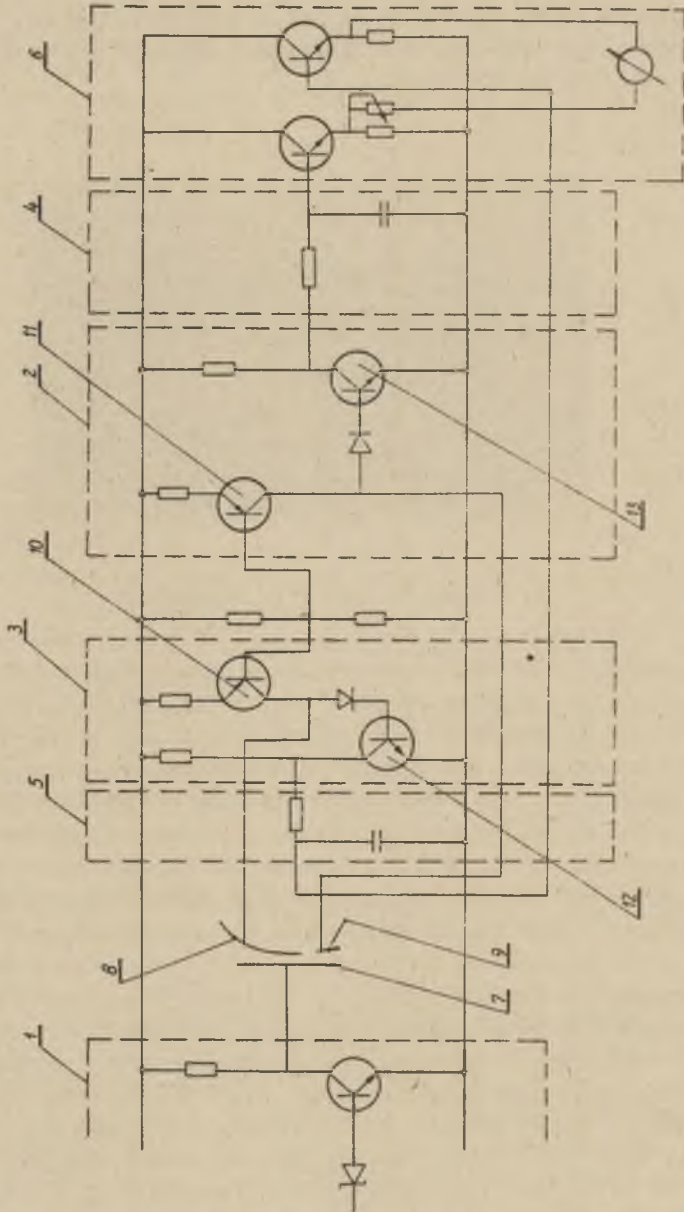
Wersję analogu przedstawioną w niniejszym artykule (rys. 1) autorzy uważają za zbliżoną do optymalnej.



Rys. 1. Analog pojemnościowy

Urządzenie ma okładzinę aproksymującą dany wskaźnik deformacji górotworu i powierzchni, składającą się z szeregu naprzemianległych, położonych blisko siebie powierzchni elektrycznie połączonych o takich własnościach, że różnica sąsiednich powierzchni jest proporcjonalna do danego wskaźnika deformacji, a długość krawędzi sąsiednich powierzchni jest prawie jednakowa, dzięki czemu wpływ zakrzywienia pola elektrostatycznego znosi się. Jako dielektryk stosuje się w zależności od uznania folię astralonową i mapę powierzchni lub mapę eksploatowanego pokładu. W przypadku posługiwania się tym urządzeniem do wyznaczania wpływów eksploatacji pokładów nachylonych można stosować między okładzinami dielektryk o zmiennej stałej dielektrycznej w danym kierunku lub zmienną w danym kierunku powierzchnię elektrycznie czynną okładziny podobnej do wybranej powierzchni.

Zadaniem układu elektronicznego urządzenia przedstawionego na rys. 2 jest pomiar pojemności kondensatorów, które tworzą okładziny płaskie o kształcie wybranego pokładu, wspólna okładzina 7 oraz dwa zbiory okładzin pozostałych 8 i 9. Różnica powierzchni, a zarazem różnica pojemności, jaką tworzą ze wspólną okładziną 7 proporcjonalną do wybranej powierzchni okładziny 8 i 9, jest proporcjonalna do wyznaczonego wskaźnika deformacji. Przetworzoną pojemność na wartość proporcjonalną do danego wskaźnika deformacji mierzy wskaźnik elektryczny. Sygnał z generatora drgań prostokątnych 1 podawany jest na dwa uniwibratory 2 i 3, które na wyjściu dają



Rys. 2. Schemat układu elektronicznego analogu pojemnościowego

impulsy prostokątne o stałej amplitudzie oraz czasie trwania impulsu proporcjonalnym do wartości pojemności wyżej opisanych. Proporcjonalność czasu trwania impulsu uniwbibratorów do pojemności realizowana jest przez rozładowanie stałoprądowe kondensatorów, jakie tworzą okładziny 7 i 8 w uniwbibratorze 2 oraz 7 i 9 w uniwbibratorze 3.

Stały prąd płynący w czasie rozładowania kondensatorów wymuszany jest przez układy z tranzystorami 10 i 11 uniwbibratorów 2 i 1.

Układy tranzystorów 12 i 13 formują impulsy o stałej amplitudzie i w opisanym czasie trwania. Impulsy uniwbibratorów 2 i 3 są uśredniane napięciowo w filtrach 4 i 5. Wskaźnik 6 wychyla się proporcjonalnie do różnicy napięć wynikających z uśrednienia impulsów uniwbibratorów 2 i 3, a więc proporcjonalnie do różnicy pojemności kondensatorów, tym samym proporcjonalnie do wartości wskaźnika deformacji. Ponieważ całkowita długość krawędzi okładzin 8 i 9 jest prawie równa, błędy wynikające z wpływu tych krawędzi są skompensowane.

Analog pojemnościowy (rys. 1) stanowi formę stołu modelującego a, mieszczącego wewnątrz elektroniczne urządzenie przetwarzające.

W jego centralnej części znajduje się kwadratowy otwór, w którym umieszcza się wymienne okładziny b danego wskaźnika deformacji.

Za pomocą wtyków łączy się okładzinę b wewnątrz obudowy stołu z urządzeniem przetwarzającym. Na płycie czołowej c znajduje się wskaźnik d, przełącznik biegunowości e, potencjometry regulujące zerowania f i wzmocnienia g, zmiany wartości współczynnika eksploatacji h oraz nomogramy i i j służące do wybierania odpowiedniej okładziny b.

Pomiędzy wymienną okładziną b a wspólną okładziną k (wyciętą z materiału o własnościach przewodzących) obrazującą wybrany pokład, umieszcza się dielektryk, którym może być również mapa powierzchni lub eksploatawanego pokładu l. Przewodem z łączy się okładzinę k z urządzeniem przetwarzającym. Następnie do stołu a przytwierdza się linia m, obrazujący jedną z osi symetrii okładziny (kierunek ekstremalnych wartości wskaźników deformacji) oraz punkt centralny n.

### 3. Sposób posługiwania się analogiem pojemnościowym

Po określeniu danych górniczo-geologicznych wybranej lub projektowanej do wybrania części pokładu z nomogramów i i j dla danej skali mapy wybiera się odpowiednią okładzinę b żadanego wskaźnika deformacji. Po zainstalowaniu jej w przyrządzie wykonuje się następujące czynności:

- 1) zerowanie przyrządu - polega na zamodelowaniu takich warunków brzegowych, dla których wartość wskaźnika jest równa zero.

Potencjometrem f ustawia się na wskaźniku d wskazówkę na cyfrę 0.

- 2) ustawienie wartości maksymalnej (wzmocnienie) - okładziny b i k ustawa się względem siebie w sposób odpowiadający maksymalnym deformacjom.

- Np.: - obniżenie - okładzina k pokrywa w całości okładzinę b,  
 - przesunięcie poziome, prostoliniowa krawędź okładziny k pokrywa się z odpowiednią osią symetrii okładziny b, a jedna z dwóch symetrycznych części tej okładziny pokryta jest w całości przez okładzinę k,  
 - krzywizna - skaluje się okładzinę o specjalnym kształcie, dającą maksymalną wartość wskaźnika.

Po wykonaniu powyższych czynności nastawia się potencjometrem g wartość 100 % lub znaną wartość deformacji wyrażoną w odpowiednich jednostkach. Po takim wyskalowaniu przyrządu posługujemy się okładziną k reprezentującą konkretny kształt eksploatacji.

Punkt centralny n okładziny b względem okładziny k (lub mapy l) obrazuje nam usytuowanie punktu pomiarowego w terenie, natomiast wskaźnik d procent lub wielkość deformacji. Informacją o jego znaku jest stan przełącznika biegunowości e. Przesuwając okładzinę k wraz z dielektrykiem (mapą l) względem punktu centralnego n, modelujemy wpływ eksploatacji na poszczególne punkty terenu lub górotworu. Linia m reprezentuje kierunek ekstremalnej wartości dla wskaźników deformacji, które taki kierunek posiadają.

#### 4. Przykład praktyczny

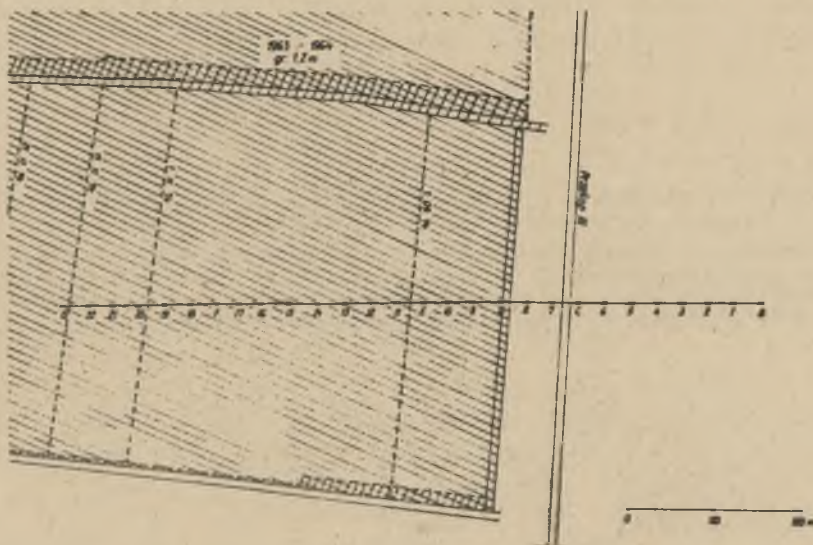
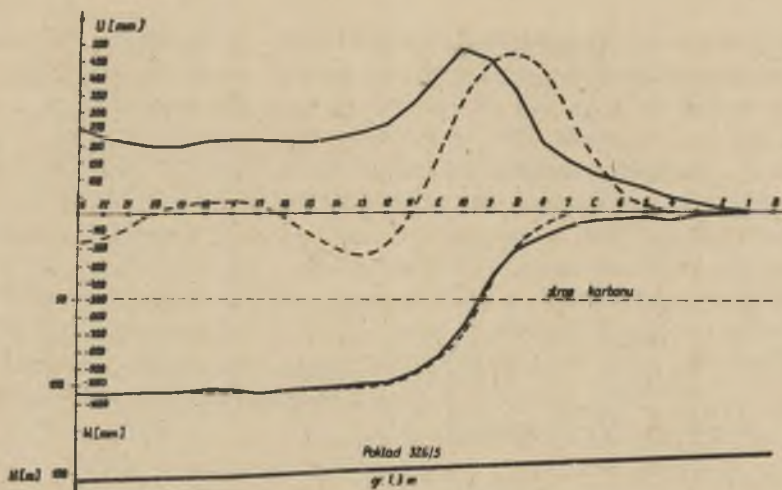
Przykładem praktycznego wykrzystania analogu pojemnościowego może być praca [2], wykonana pod kierunkiem A. Kota.

Dla opracowania prognozy deformacji powierzchni powodowanych projektowaną eksploatacją w pokładzie 326/5 Kopalni "Dębieńsko" wykorzystano analog pojemnościowy i wyniki obserwacji geodezyjnych prowadzonych w sąsiednim rejonie.

Linie obserwacyjną B-L zastabilizowano równolegle do rozciągłości pokładu 326/5 zgodnie z wytycznymi obserwacji ruchów górotworu i powierzchni dla obserwacji wpływów eksploatacji płytko zalegającego pokładu. Pierwsze dwa pomiary wykonano przed rozpoczęciem eksploatacji ściany 4a pokładu 326/5. W trakcie tej eksploatacji prowadzono obserwacje początkowo w odstępach 10-dniowych a w końcu 20-dniowych. Pomiary wysokościowe prowadzono w klasie niwelacji technicznej, a długości taśmą stalową 30-metrową z przykładką milimetrową, z czterokrotnym pomiarem odległości.

W rejonie linii obserwacyjnej i projektowanej eksploatacji górotwór wykształcony jest w postaci warstw czwartorzędu i karbonu produktywnego. Czwartorzęd o miąższości do 64 m zbudowany jest z piasków, glin i ilów.





Rys. 3. Deformacje powierzchni wskutek eksploatacji pokładu 326/5 Kopalni "Dębieńsko"

Warstwy karbońskie to naprzemianległe łupki ilaste i piaskowce drobnociar-niste. W bezpośrednim rejonie linii obserwacyjnej przed eksploatacją pokładu 326/5 wybierano w latach 1931 - 1942 pokład 328 o grubości 1,4 m na głębokości 210 m i w latach 1955 - 56 pokład 338 o grubości 1,2 m na głębokości 600 m systemem ścianowym z zawalem.

Pokład 326/5 ma średnią grubość 1,3 m i nachylenie  $\alpha = 10^\circ$ , a zalega na głębokości 126 - 172 m. Eksploatowany był systemem ścianowym podłużnym z zawalem stropu o dużym postępie frontu ściany w okresie 1974 - 1975.

Na rysunku 3 przedstawiono szkic wybranego pokładu 326/5, przekrój geologiczny oraz wskaźniki deformacji powierzchni powodowane tą eksploatacją. Na rysunku tym przedstawiono również wykresy deformacji określone analogiem przy optymalizacji parametrów teorii S. Knothe'go metodą przybliżeń. Tą metodą wyznaczone parametry wynoszą:

$$\text{tg } \beta = 2,2$$

$$a = 0,79$$

$$\frac{U \text{ max}}{W \text{ max}} = 0,46$$

Wykorzystując wyznaczone parametry za pomocą analogu pojemnościowego opracowano prognozę deformacji powierzchni nowo projektowanej eksploatacji w tym samym pokładzie, która wykazała, że należy się liczyć z wielkościami deformacji III i IV kategorii ochrony powierzchni.

#### LITERATURA

- [1] NIEMIEC T., TRZASKALIK R.: Analog pojemnościowy do określania wskaźników deformacji górotworu. OTG nr 31, 1975.
- [2] KOSTEMSKI A.: Określenie parametrów teorii S.Knothe'go oraz wpływu postępu frontu eksploatacji na maksymalne wartości wskaźników deformacji powierzchni w oparciu o wyniki obserwacji geodezyjnych prowadzonych w kopalni "Dębieńsko". Praca magisterska, Gliwice 1978.

#### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИ ПОМОЩИ ЕМКОСТНОГО АНАЛОГА ДЕФОРМАЦИЙ ГОРНОГО МАССИВА И ПОВЕРХНОСТИ, ВЫЗВАННЫХ ОЧИСТНЫМИ РАБОТАМИ

Резюме:

Авторы систематизировали прогнозы влияния очистных работ, проводимых на каменно-угольных шахтах и доказывают необходимость вооружения шахтных геолого-маркшейдерских отделов аналоговым устройством с целью ускоренного определения показателей деформации горного массива и поверхности.

Кроме того приводится принцип действия и конструкция емкостного аналога. Возможности использования устройства иллюстрируются практическим примером.

FORECASTING THE DEFORMATION OF OROGEN AND THE SUBMERGED  
TERRAINS CAUSED BY MINING EXPLOITATION USING THE CAPACITIVE  
ANALOGUE

**S u m m a r y:**

The authors systematized the forecasts of influences of mining exploitation performed in coal mines, indicating the necessity of introducing the analogue systems, which would serve to determinate quickly the indices of deformation of the orogen and surface, to the geological measurement departments of coal mines. The principles of calculating a capacitive analogue and ways to utilize it were given. A practical example was employed to illustrate the capability of the system.