

Marek MARUSZCZYK

KWK „JANKOWICE”, Rybnik

## PRZEBIEG DEFORMACJI GÓROTWORU W ŚWIETLE WYNIKÓW BADAŃ MODELOWYCH

**Streszczenie.** Prognozowanie poeksploatacyjnych deformacji górotworu było przedmiotem zainteresowania wielu badaczy. Większość prac w tym zakresie dotyczyła przedstawiania opisu zmienności parametru charakteryzującego zasięg deformacji w górotworze. W ramach pracy podano analizę własnych wyników badań przeprowadzonych na modelu.

## COURSE OF ROCK MASS DEFORMATION IN THE LIGHT OF MODEL RESEARCH

**Summary.** Forecasting of rock mass deformations caused by mining exploitation has been subject of a lot of researcher. A large majority of works in this scope have concerned description of variation of deformation range in rock mass. In this paper analysis of own results of model research has been presented.

### 1. Wprowadzenie

Przebieg zmienności parametrów używanych do celów prognoz poeksploatacyjnych deformacji górotworu był przedmiotem wielu badań. Najwięcej prac dotyczyło badania zmienności w górotworze parametru charakteryzującego zasięg wpływów eksploatacji górniczej.

S. Knothe [4] przedstawił następującą zależność pozwalającą na obliczanie wartości parametru  $r_z$  w górotworze:

$$r_z = r \left( \frac{z}{H} \right)^n, \quad (1)$$

gdzie:  $r$  – promień zasięgu wpływów głównych na powierzchni terenu, [m],

$z$  – odległość horyzontu obliczeniowego od stropu eksploatowanego pokładu, [m],

$H$  – głębokość zalegania eksploatowanego pokładu, [m],

$n$  – współczynnik, którego wartość W. Budryk określił jako:  $n = \sqrt{2\pi}$ .

Badania przeprowadzone na modelach piaskowych przez D. Krzysztonia [5] wykazały, że wartość współczynnika  $n$  jest nieznacznie mniejsza od 1, co pozwala do celów praktycznych przyjmować liniową zmienność parametru w górotworze.

B. Drzęźła [2] na podstawie wyników badań modelowych oraz pomiarów prowadzonych w wyrobiskach górniczych podał natomiast następującą zależność:

$$r_z(z) = r \left( \frac{z + z_o}{H + z_o} \right)^n, \quad (2)$$

gdzie:  $n = 0,665$

$$z_o = H \frac{d^{\frac{1}{n}}}{1 - d^{\frac{1}{n}}}, \quad d = 1 - e^{-0,0548(\gamma g \beta)^{-1,96489}}.$$

Pozostałe oznaczenia jak dla wzoru (1).

M. Chudek i L. Stefański [1] zaproponowali uzależnienie zasięgu oddziaływania eksploatacji w górotworze od wybranych własności fizykomechanicznych pakietu warstw zalegających pomiędzy stropem eksploatowanego pokładu a danym horyzontem znajdującym się na wysokości  $z$  nad pokładem:

$$r_z = \sqrt{\frac{z \cdot R_{rs}}{\gamma_{sr}}}, \quad (3)$$

gdzie:  $R_{rs}$  – średnia ważona wartość wytrzymałości na rozciąganie skał pomiędzy stropem

$$\text{i rozpatrywanym horyzontem, } R_{rs} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{ri} \cdot g_i}{\sum_{i=1}^n g_i},$$

$\gamma_{sr}$  – średnia ważona wartość ciężaru objętościowego skał pomiędzy stropem

$$\text{i rozpatrywanym horyzontem, } \gamma_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^n g_i}.$$

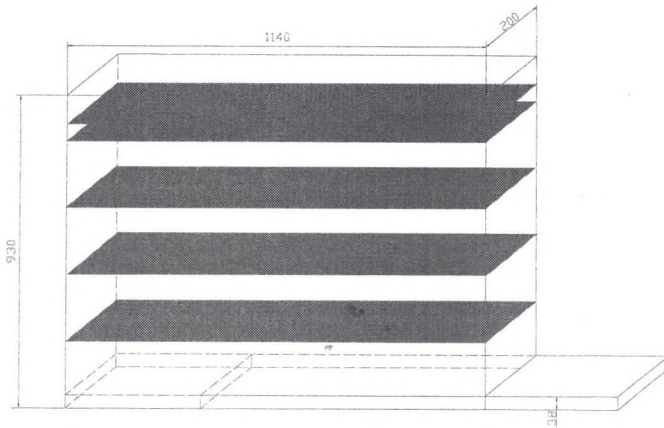
Biorąc pod uwagę powyższe wzory, nasuwa się spostrzeżenie, że przebieg zmienności parametru charakteryzującego zasięg deformacji w górotworze najlepiej jest opisywać na podstawie wyników pomiarów prowadzonych na kilku liniach zlokalizowanych nad sobą w górotworze. Idealna byłaby sytuacja polegająca na zastabilizowaniu linii w poziomych wyrobiskach nad eksploatacją oraz na powierzchni terenu. Lini takich powinno być kilka, aby analizy statystyczne były wiarygodne. Z oczywistych powodów realizacja pomiarów w tak szerokim zakresie nie jest łatwa, a nawet możliwa. Z tego względu dobrym sposobem prowadzenia badań nad zagadnieniem zmienności parametrów w górotworze wydaje się prowadzenie badań na modelach. Z jednej strony w dobie rozwoju metod numerycznych narzuca się budowę takich właśnie modeli, z drugiej jednak strony posiadają one pewne ograniczenia w stosowaniu [8]. Dotychczasowe doświadczenia [9] wskazują na możliwość wykorzystania prostych i poglądowych modeli piaskowych, co przystaje do założeń teorii W. Budryka – S. Knothego (jednorodność górotworu) i pozwala na wstępne wyrobienie sobie poglądu co do dalszych kierunków badań. Wyniki prac w powyższym zakresie przedstawiono w dalszej części niniejszej pracy.

## 2. Sposób przeprowadzenia badań i ich zakres

Badania modelowe na ośrodku sypkim w zastosowaniu do zagadnień przemieszczeń górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej zostały zapoczątkowane w 1954 roku w Krakowie, w Zakładzie Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk pod kierunkiem W. Budryka oraz w Pracowni Reologii Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk [6]. Modelowanie przemieszczeń górotworu za pomocą ośrodka sypkiego daje większe możliwości niż za pomocą materiałów ekwiwalentnych. Model zbudowany z materiału sypkiego (w tym przypadku piasku) wykazuje wiele zalet w stosunku do modelu z materiału ekwiwalentnego czy też modelu numerycznego, a mianowicie:

- jest łatwiejszy do zbudowania i może być wykonany w krótszym czasie przy mniejszych nakładach pracy i kosztów,
- powtarzalność wyników poszczególnych doświadczeń przeprowadzonych w tych samych warunkach jest bardzo duża.

Powyższe badania przeprowadzono w sposób umożliwiający uzyskiwanie tzw. niecki elementarnej, co wydaje się pewnym ograniczeniem metody badań. Dlatego postanowiono przeprowadzić badania polegające na symulacji rozwoju eksploatacji i tworzącej się niecki osiadania, co umożliwia również prowadzenie obserwacji w zakresie kinetyki procesu deformacji. W wyniku wielu prób opracowane zostały urządzenia modelowe do badań płaskiego stanu przemieszczeń w ośrodku sypkim (piasku), wywołanego zadaniem określonych warunków brzegowych. Jedno z takich urządzeń wykonane zostało w Katedrze Geomechaniki i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej. Zasadniczym elementem stoiska jest skrzynia modelowa o wymiarach wewnętrznych 200 mm (głębokość), 1140 mm (szerokość) oraz 930 mm (wysokość). Ściany boczne skrzyni stanowią płyty drewniane, natomiast ścianę przednią i tylną stanowi szyba szklana. Dno naczynia stanowi ruchoma płyta drewniana o grubości 38 mm. Wymiary modelu przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schemat skrzyni modelowej  
Fig. 1. Scheme of the model box

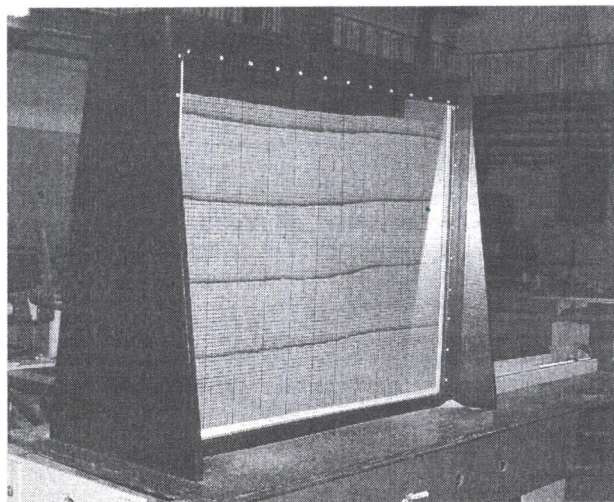
Dno skrzyni wykonane jest jako element ruchomy. Wysuwanie elementu za pomocą mechanizmu metalowego pokrętła oraz nagwintowanego pręta pozwala na symulację eksploatacji górniczej (fot. 1).

Górotwór zamodelowano piaskiem szklarskim o jednorodnej granulacji wynoszącej maksymalnie 1 mm, wypełniając nim skrzynię. Dla lepszej obserwacji i pomiaru przemieszczeń, warstwy piasku przesypane zostały cienkimi warstwami pyłu węglowego (horyzonty pomiarowe), rozsypanego równomiernie na poszczególnych warstwach piasku. Tym sposobem oznaczone zostały 4 poziomy zalegające w odległości 200 mm, 400 mm,

600 mm, 800 mm oraz 850 mm (powierzchnia terenu) od eksploatowanego pokładu grubości 38 mm. Eksploatacja symulowana była za pomocą wcześniej wspomnianego mechanizmu wysuwu szuflady (dna skrzyni).

Przy prowadzeniu badań na ośrodku sypkim należy zwracać uwagę na to, by stanowisko modelowe nie ulegało przypadkowym wstrząsom, które powodują nagłe zagęszczanie ośrodka sypkiego. Opierając się na wynikach badań własności ośrodka sypkiego i warunków realizowania doświadczeń na tym ośrodku, można stwierdzić, że przy dobraniu odpowiedniego składu ziarnowego ośrodka, stopnia jego zagęszczenia i wilgotności oraz ograniczeniu wielkości przemieszczeń i prędkości ich narastania, przebieg przemieszczeń i odkształceń w ośrodku sypkim jakościowo wystarczająco dobrze odpowiada przebiegowi przemieszczeń w górotworze, wywołanemu eksploatacją górnictw [3].

Modele z materiałów sypkich pozwalają zatem na badanie i rozwiązywanie różnych zagadnień związanych z wpływami eksploatacji górnictw. Jednym z takich ważnych zagadnień jest badanie zmienności parametru rozproszenia wpływów  $r_z$  na dowolnym horyzoncie wewnątrz górotworu, od wysokości tego horyzontu  $z$  nad eksploatowanym pokładem.



Fot. 1. Widok skrzyni modelowej  
Photo 1. View of the model box

### 3. Identyfikacja wartości parametrów

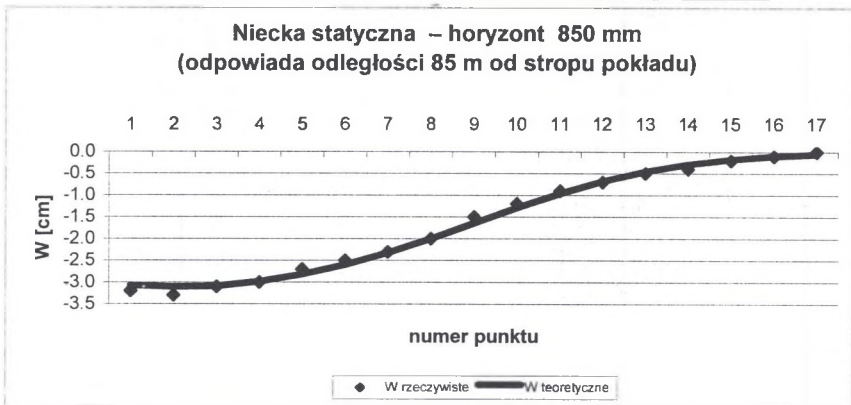
Dla celów identyfikacji wartości parametrów wykorzystano program komputerowy opisany w pracy [7]. W trakcie korzystania z oprogramowania założono podobieństwo geometryczne modelu w skali 1:100, co oznacza, że miąższość eksploатовanego pokładu 38 mm odpowiada 3,8 m, a głębokość 850 mm odpowiada głębokości 85 m. Tak duża wartość miąższości pokładu w stosunku do głębokości podyktowana została chęcią uzyskania relatywnie dużych wartości osiadań, co pozwoliło na zmniejszenie wartości błędów odczytu.

Poniżej na rysunkach od 2 do 6 przedstawiono przebiegi osiadań stwierdzonych pomiarami („znacznik”) oraz uzyskanych w wyniku obliczeń (linia ciągła). Wartości parametru  $r_z$  oraz błędów procentowych osiadań, rozumianych jako wyrażony w procentach stosunek odchylenia standardowego do maksymalnej wartości stwierdzonej pomiarem, przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Zestawienie wartości parametru  $r(z)$   
dla badanych odległości od stropu pokładu  $z$

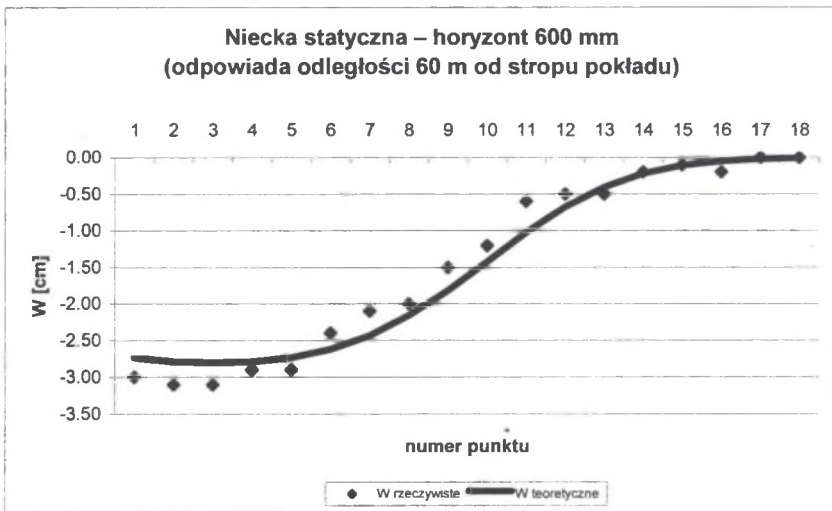
$r(z)$ [m]	$z$ [m]
20,35	20
28,4	40
35,3	60
37,38	80
46,02	85



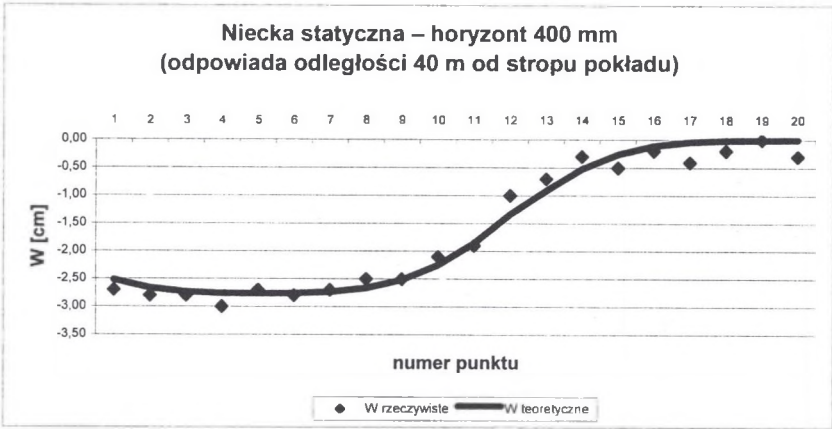
Rys. 2. Niecka statyczna na linii pomiarowej w odległości pionowej 850 mm od stropu pokładu  
Fig. 2. The static trough on the measurements line within the distance of 850 mm from the roof of coal bed



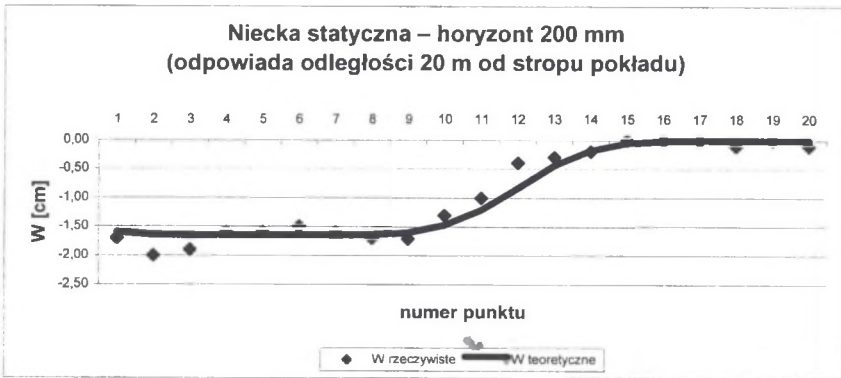
Rys. 3. Niecka statyczna na linii pomiarowej w odległości pionowej 800 mm od stropu pokładu  
Fig. 3. The static trough on the measurements line within the distance of 800 mm from the roof of coal bed



Rys. 4. Niecka statyczna na linii pomiarowej w odległości pionowej 600 mm od stropu pokładu  
Fig. 4. The static trough on the measurements line within the distance of 600 mm from the roof of coal bed



Rys. 5. Niecka statyczna na linii pomiarowej w odległości pionowej 400 mm od stropu pokładu  
Fig. 5. The static trough on the measurements line within the distance of 400 mm from the roof of coal bed

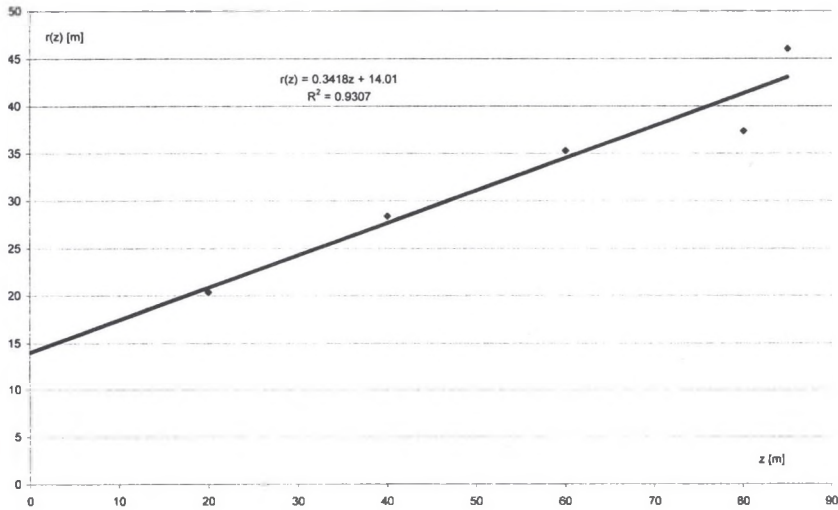


Rys. 6. Niecka statyczna na linii pomiarowej w odległości pionowej 200 mm od stropu pokładu  
Fig. 6. The static trough on the measurements line within the distance of 200 mm from the roof of coal bed

Na podstawie wyników zestawionych w tabeli 1 sporządzono wykres zależności parametru  $r_z$  od odległości od stropu wybieranego pokładu  $z$  – rys. 7. Przedstawioną zmienność aproksymowano funkcją w postaci:

$$r(z) = 0,3418 z + 14,01. \quad (4)$$





Rys. 7. Zależności parametru  $r_z$  od odległości od stropu wybieranego pokładu  
Fig. 7. Relationship of the parameter  $r_z$  and distance to roof of coal bed

Uzyskano wartość współczynnika korelacji wielokrotnej  $R = 0,9307$ .

#### 4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych w ramach niniejszej pracy badań i analiz ich wyników sformułować można następujące stwierdzenia i wnioski:

1. Opracowany do potrzeb pracy sposób prowadzenia badań modelowych pozwolił na otrzymanie interesujących wyników, słusznych przy założeniu jednorodnej budowy górotworu. Stanowi to oczywiście uproszczenie, lecz pozwala w poglądowy (jakościowo) sposób zobrazować rozkład deformacji w górotworze.
2. Wyznaczone na podstawie wyników pomiarów wartości promienia zasięgu wpływów na poszczególnych horyzontach pozwoliły na opisanie przebiegu zmienności tego parametru funkcją potęgową, co nie potwierdza wyników badań prowadzonych przez innych Autorów dla niecek elementarnych.
3. Przeprowadzone badania pozwalają na dokonanie dalszych analiz w zakresie przebiegu deformacji górotworu w czasie, co będzie przedmiotem dalszych badań.

## BIBLIOGRAFIA

1. Chudek M., Stefański L.: Wpływ postępu frontu górniczego na szybkość deformacji terenu na powierzchni. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 185, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1990.
2. Drzęzła B.: Rozwiązanie pewnego przestrzennego zadania liniowej teorii sprężystości w zastosowaniu do prognozowania deformacji górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej wraz z oprogramowaniem. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 91, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1978.
3. Klein G.: Badania fluktuacji losowych niejednorodnych pól przemieszczeń w ośrodku rozdrobnionym. Archiwum Górnictwa, t. 23, z. 3, 1978.
4. Knothe S.: Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, 1953.
5. Krzysztóń D.: Parametr zasięgu niecek osiadania w ośrodku sypkim. Archiwum Górnictwa, t. 10, z. 1, 1965.
6. Litwiniszyn J., Mączyński J., Stolarski A.: O pewnych eksperymentalnych badaniach nad zastosowaniem piasku jako ośrodka stochastycznego. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, t. 3, z. 4, 1955.
7. Strzałkowski P.: Program do wyznaczania parametrów teorii statystyczno-całkowych prognozowania wpływów eksploatacji górniczej. Ochrona Terenów Górniczych, nr 86/1989.
8. Tomiczek K.: Krótka numeryczna analiza wpływu prędkości eksploatacji na deformacje górotworu i powierzchni terenu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 276, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
9. Zych J.: Badania modelowe a parametry teorii. Cz. II. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 91, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.

Recenzent: Dr hab. inż. Piotr STRZAŁKOWSKI, prof. nzw. w Pol. Śl.

**Abstract**

Course of variability parameters using for aim of forecast after mining rock mass deformations has been subject a lot of investigations [1, 2, 4, 5] mainly in the range of determination of parameter variability characterizing reach of mining exploitation influence.

Course of variability this parameters is describe with the help of results of measurements carried out on e few measurements lines localized above oneself in the rock mass. The most

accurate their magnitude can be obtained after stabilization of measurements line in horizontal excavations above mining exploitation and on the land surface.

These lines should be several, in order to reliability of statistical analysis but it is very difficult and even impossible. Therefore proper methods of investigation's carry out in the scope of parameters variability are investigations on models.

In the paper examples of model investigation on the loose medium has been presented. The researches consist of simulation of mining exploitation and subsiding trough formatting. It makes allow observations in the scope of kinetics deformation process. In the effect of numerous tests has been carried out modeling installation for research of plane state of displacements in the loose medium.

Identification of parameters achieved by use computer software, making an geometrical assumption of model on scale 1:100. Determined on the base of measurements results values of influence range on particular horizons allowed for description this parameter by involution function.