

Ryszard MIELIMAŁA, Krzysztof OPAŁKA

ZASTOSOWANIE BADAŃ MODELOWYCH DO WERYFIKACJI OPISU DEFORMACJI GÓROTWORU I POWIERZCHNI TERENU

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę badań modelowych deformacji powierzchni terenu pod wpływem prowadzonej eksploatacji górniczej z zastosowaniem materiałów ekwiwalentnych. Pozwala ona modelować i prowadzić obserwacje wpływów dowolnego układu technologicznego eksploatacji złóż. Przedstawiono jeden z etapów analizy wyników badań na czterech modelach obejmujący określenie współczynników eksploatacji i parametrów teorii S.Knothe'go.

USIN MODELLING RESEARCH FOR VERIFICATION OF ROCK MASS DEFORMATION DESCRIPTION AND SURFACE OF THE AREA

Summary. The article presents methodology of modelling research of area surface under the influence of carried mining using equivalent materials. This methodology enables modelling and monitoring of the influence of any technological system of deposits exploitation.

1. Wprowadzenie

Badania w zakresie udoskonalenia dotychczasowego teoretycznego modelu ruchów górotworu i powierzchni terenu górniczego wskutek eksploatacji złoża pokładowego wymagają zakładania skomplikowanych sieci obserwacyjnych i stacji pomiarowych. Są czasochłonne, a uzyskany materiał obserwacyjny ma często ograniczony charakter. Należy podkreślić, że układ warunków geologiczno-górnich dla danej eksploatacji jest w zasadzie niepowtarzalny, co znacznie utrudnia uogólnienie wyników obserwacji in situ.

Dlatego też jako jedną z metod badań procesu deformacji jest metoda badań modelowych z zastosowaniem materiałów ekwiwalentnych. Badania te umożliwiają modelowanie i prowadzenie obserwacji wpływów dowolnego układu technologicznego eksploatacji złoża.

Mają one szczególne znaczenie przy opisie przejścia niecki przez górotwór, jak również przy badaniu sumowania się wpływów wynikających z wielokrotnej eksploatacji, aktywacji bocznej czy też przez podebranie. Badanie powyższych procesów w warunkach in situ jest bardzo trudne.

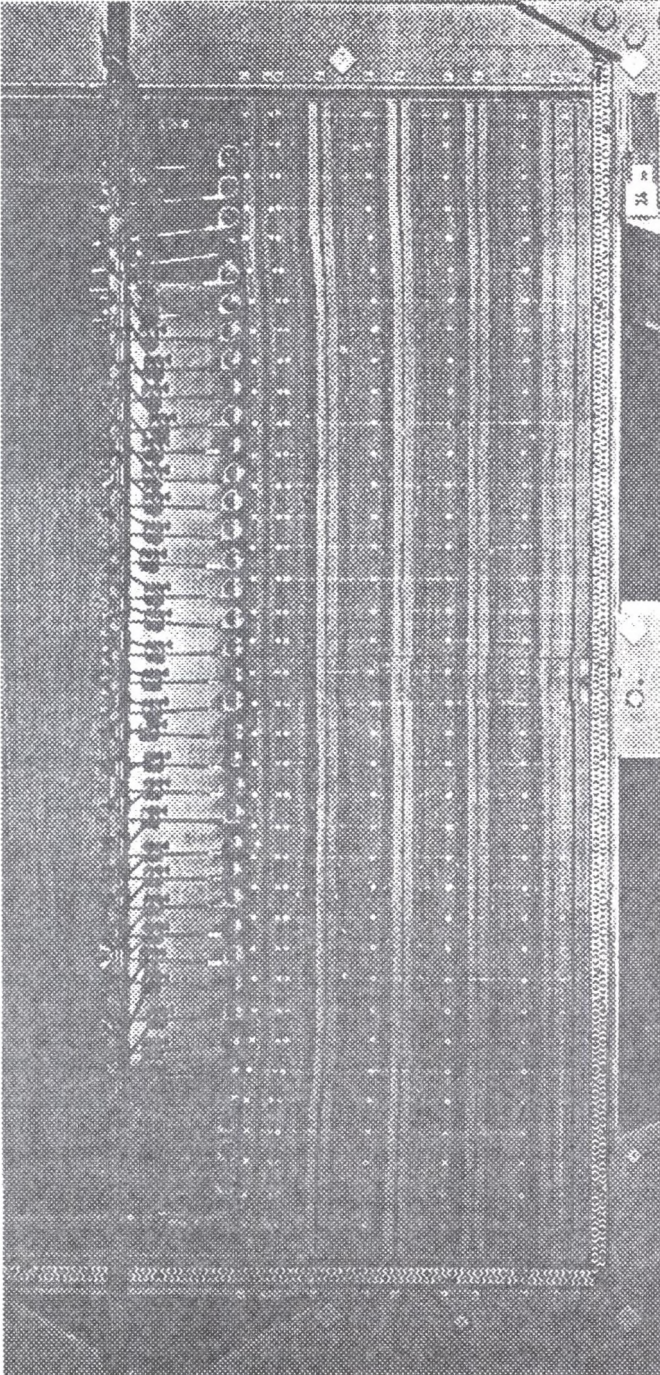
W Instytucie Eksploatacji Złóż prowadzono badania modelowe wykorzystując polskie i zagraniczne doświadczenia. Skonstruowano stanowiska laboratoryjne, opracowano skład materiału ekwiwalentnego (Patent nr 114688) oraz metodykę badań i sposób ich dokumentowania. Badania realizowano w zakresie skal od 1:300 do 1:800 bez dodatkowego obciążania warstw nadległych w zakresie ciśnień pionowych.

Podstawę teoretyczną badań stanowiła teoria podobieństwa modelowego i analiza wymiarowa. W praktyce teoria ta została ograniczona do najistotniejszych warunków, możliwych do zrealizowania. Są to głównie własności mechaniczne i reologiczne skał. Ponadto przy opracowywaniu materiału ekwiwalentnego, a także w technice wykonywania modeli uwzględniano uwarstwienie górotworu i rodzaj nadkładu.

Badania prowadzono na płaskich modelach. Uwzględniano w nich między innymi takie czynniki geologiczno-górnice, jak: głębokość eksploatacji, odległość między pokładami, rodzaj skał w nadkładzie, sposób kierowania stropem, grubość wybranego pokładu, prędkość wybierania i stopień naruszenia górotworu wcześniejszymi eksploatacjami.

Pomiaru przemieszczeń powierzchni modelu dokonywano metodą tensometrów optycznych (powierzchnia terenu - modelu) i fotogrametrycznie (cały przekrój górotworu - modelu). W odniesieniu do tej drugiej metody zastosowano fotogrametrię jednoobrazową opracowując metodę pomiaru, jak również - opartą na zasadach przekształceń rzutowych technikę obliczeniową. Równocześnie prowadzono obserwację wizualną modelu, która miała za zadanie rejestrowanie wszelkich zmian zachodzących na jego powierzchniach pod wpływem prowadzonej eksploatacji.

Zdjęcie jednego ze stanowisk badawczych przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Zdjęcie stanowiska badawczego z przygotowanym modelem górotworu
Fig. 1. The picture of research stand with the model of rock mass

2. Badania modelowe z zastosowaniem materiałów ekwiwalentnych

Kierując się przedstawioną metodyką badań zaprojektowano i przeprowadzono badania na kilkunastu modelach. Myślą przewodnią tych badań było możliwie pełne rozpoznanie procesu deformacji powierzchni i górotworu zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym. Ponizej przedstawiono charakterystykę badań na kilku modelach.

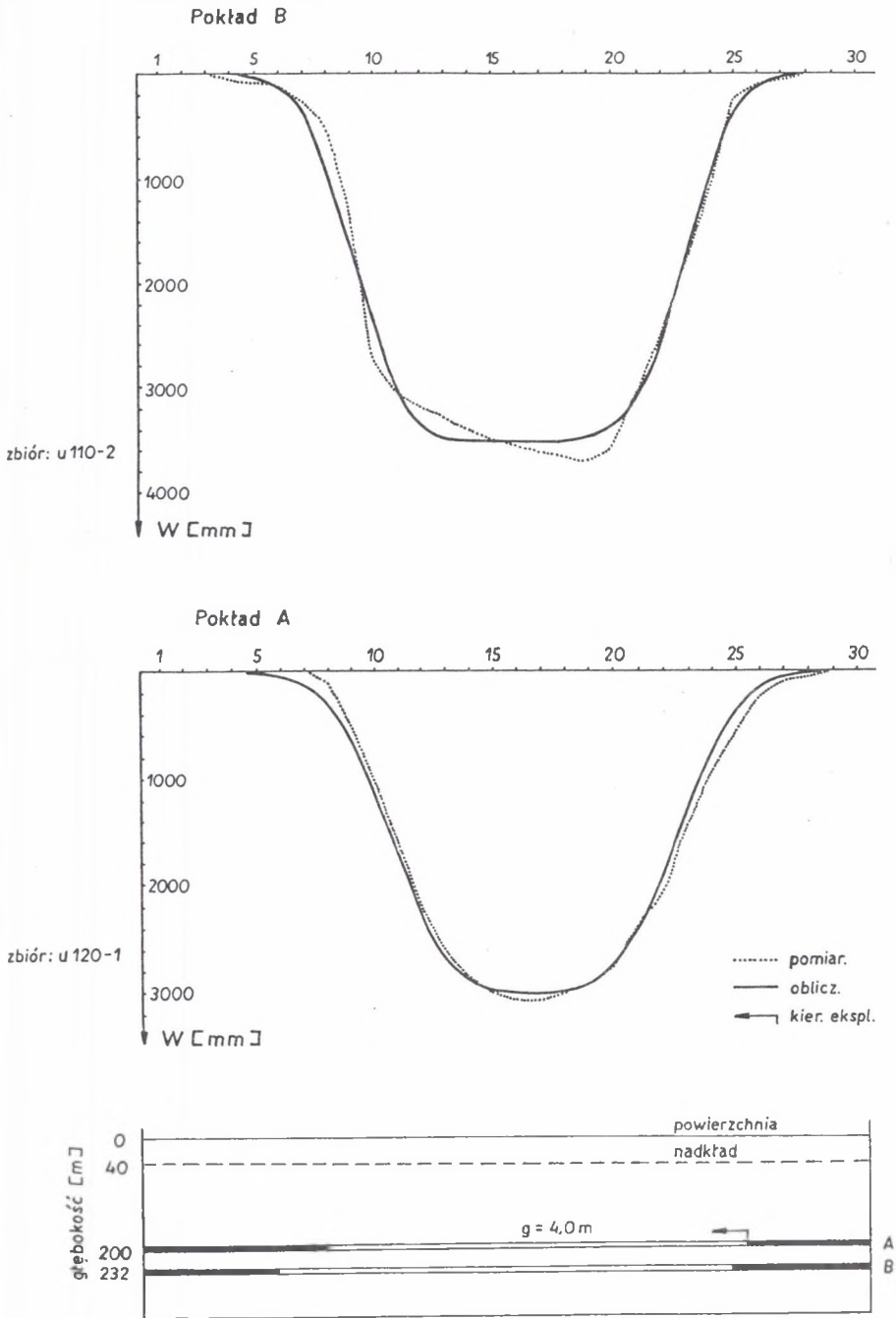
Głównym celem badań modelowych przedstawionych na rys. 2 i 3 był wpływ głębokości eksploatacji na kształtowanie się parametrów teorii ruchów górotworu w warunkach górotworu nienaruszonego i naruszonego wcześniejszą eksploatacją. Następnie wpływ wzajemnego pionowego położenia krawędzi eksploatacji, jak również kształtowanie się dalekich wpływów.

Na modelu przedstawionym na rys. 2 zaprojektowano dwa pokłady o grubości 4,0 m położone na głębokości 200 i 232 m. Górotwór uwarstwiony z występującymi warstwami łupku piaszczystego w stropie pokładów. W obu pokładach eksploatację zawałową prowadzono w tym samym kierunku ze stałą, identyczną prędkością. W pierwszej kolejności wybierano pokład A, a po zakończeniu procesu ujawniania się wpływów tej eksploatacji przystąpiono do wybierania pokładu B z odpowiednim przesunięciem krawędzi eksploatacji. Długość wybiegu ścian w pokładach A i B wynosiła odpowiednio 720 m i 1080 m. Zamodelowany nadkład plastyczno-kruchy miał miąższość 40 m. Na rysunkach linią ciągłą pokazano ostatecznie wykształcone niecki obniżeniowe zarejestrowane metodą tensometrów optycznych na powierzchni modelu.

Przedstawiony na rys. 3 model miał za zadanie kontynuację rozpoczętych i opracowanych wcześniej badań. Również zamodelowano pokłady A i B, ale na znacznej głębokości, tj. 600 m i 632 m. Pozostałe warunki, jak i sposób prowadzenia badań był identyczny jak na modelu z rys. 2.

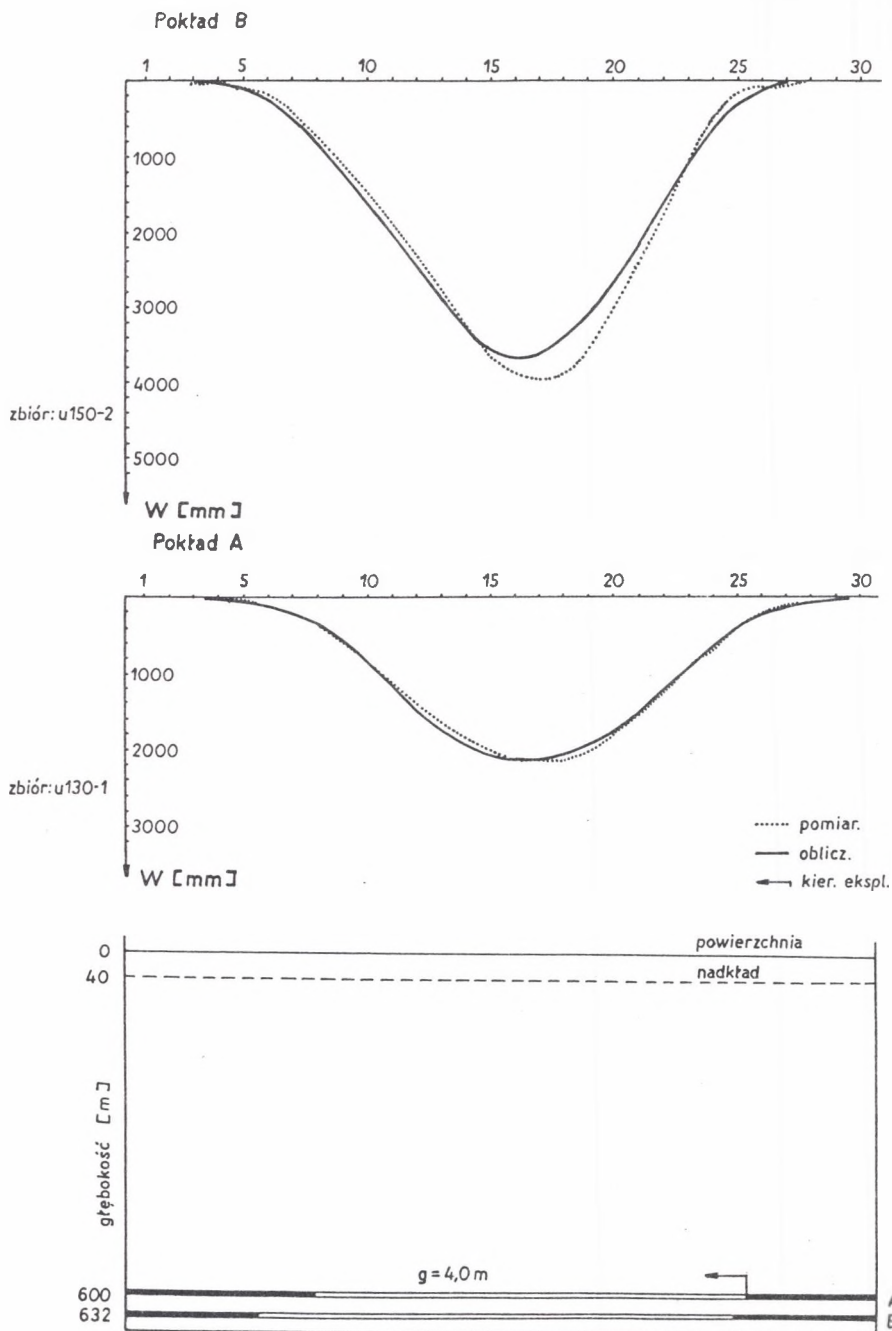
Należy zaznaczyć, że prowadzona eksploatacja na obydwu modelach w pokładzie B odbywała się w górotworze naruszonym, wystąpiło więc zjawisko aktywacji przez podebranie.

Na kolejnym modelu (rys. 4) zaprojektowano szereg badań obejmujących eksploatację w kilku pokładach. Jako pierwszy wybierano pokład A o grubości 3,2 m i zalegający na głębokości 400 m. Górotwór uwarstwiony był podobnie jak w poprzednich modelach. W stropie pokładu zalegał łupek piaszczysty, a nadkład zamodelowano na grubość 40 m. Po wy-



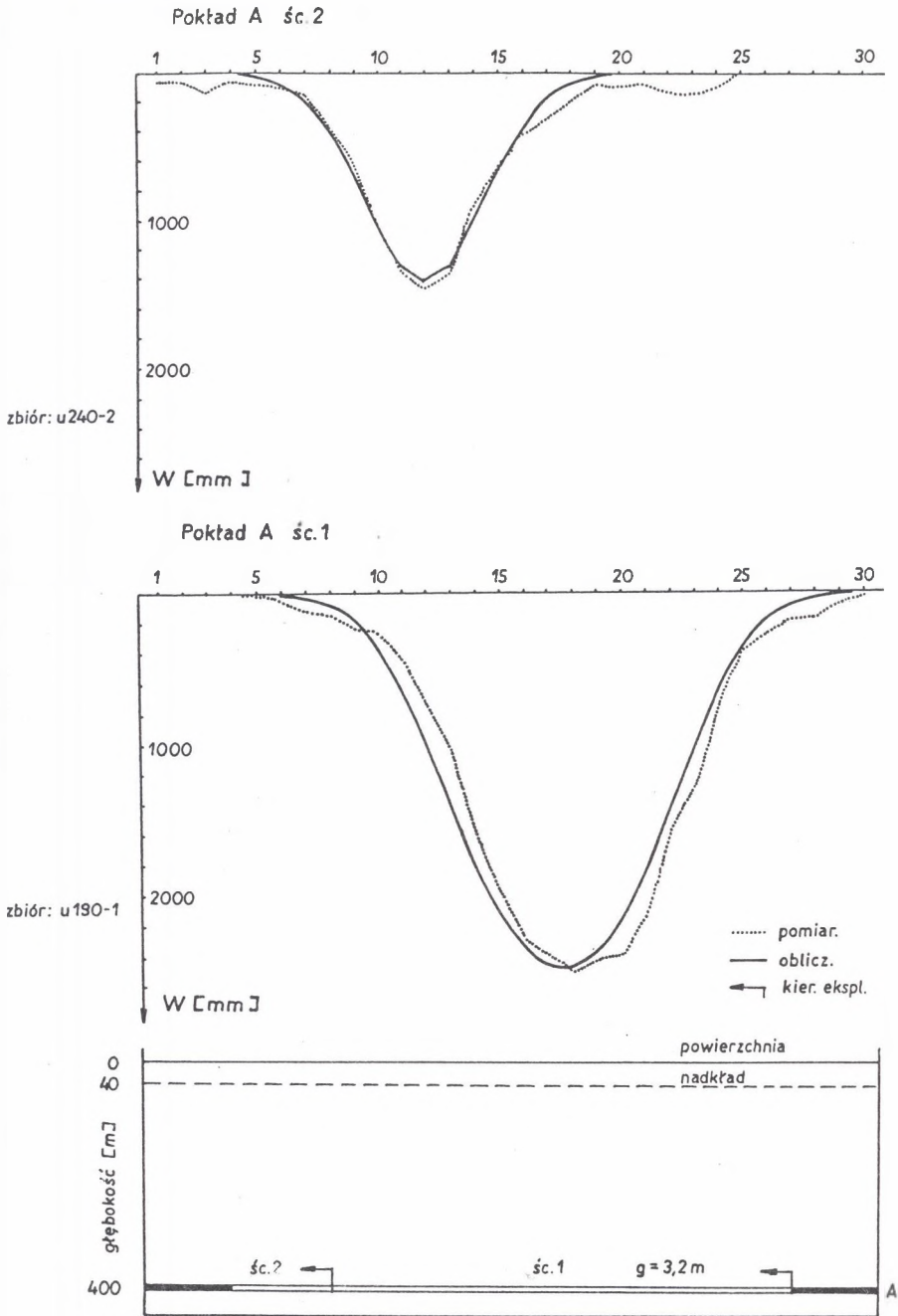
Rys.2. Dopasowanie niecki teoretycznej do pomierzonej na modelu w warunkach płytkiej eksploatacji górniczej w dwóch pokładach

Fig.2. Matching theoretical to measured basin on the model in shallow mining in two seams



Rys.3. Dopasowanie niecki teoretycznej do pomierzonej na modelu w warunkach głębokiej eksploatacji górniczej w dwóch pokładach

Fig.3. Matching theoretical to measured basin on the model in deep mining in two seams



Rys.4. Dopasowanie nicki teoretycznej do pomierzonej na modelu w warunkach płytkiej eksploatacji w jednym pokładzie dwoma ścianami

Fig.4. Matching theoretical to measured basin on the model in shallow mining in one seam with two longwalls

braniu ściany 1 w pokładzie A o wybiegu 760 m eksploatację zatrzymano. Po ujawnieniu się wpływów wznowiono eksploatację ścianą 2 w tym samym pokładzie, rozpoczynając bezpośrednio od starych zrobów (ściana 1). W przypadku eksploatacji ściany 2 mamy do czynienia z aktywacją boczną w tym samym pokładzie.

Inne bardzo interesujące badania przeprowadzono na modelu przedstawionym na rys. 5. Zastosowano zmodyfikowany materiał ekwiwalentny, tak aby jeszcze precyzyjniej spełniał kryteria podobieństwa modelowego. Zaprojektowano eksploatację w trzech pokładach z odpowiednimi przesunięciami w pionie krawędzi eksploatacji.

W pierwszej kolejności wybrano pokład A, zalegający na głębokości 242 m. Potem pokład B, a następnie C, zalegające odpowiednio na głębokościach 264 m i 286 m. Wybierano je na grubość 3,2 m. Mamy do czynienia tutaj z eksploatacją w górotworze nienaruszonym, jak i naruszonym przez kolejne niżej zalegające eksploatacje (aktywacja przez podebranie). Nadkład miał grubość 25 m, natomiast charakterystyka modelowanego górotworu była podobna do poprzednio opisanych modeli (uwarstwienie, rodzaj warstw stropowych, prędkość wybierania).

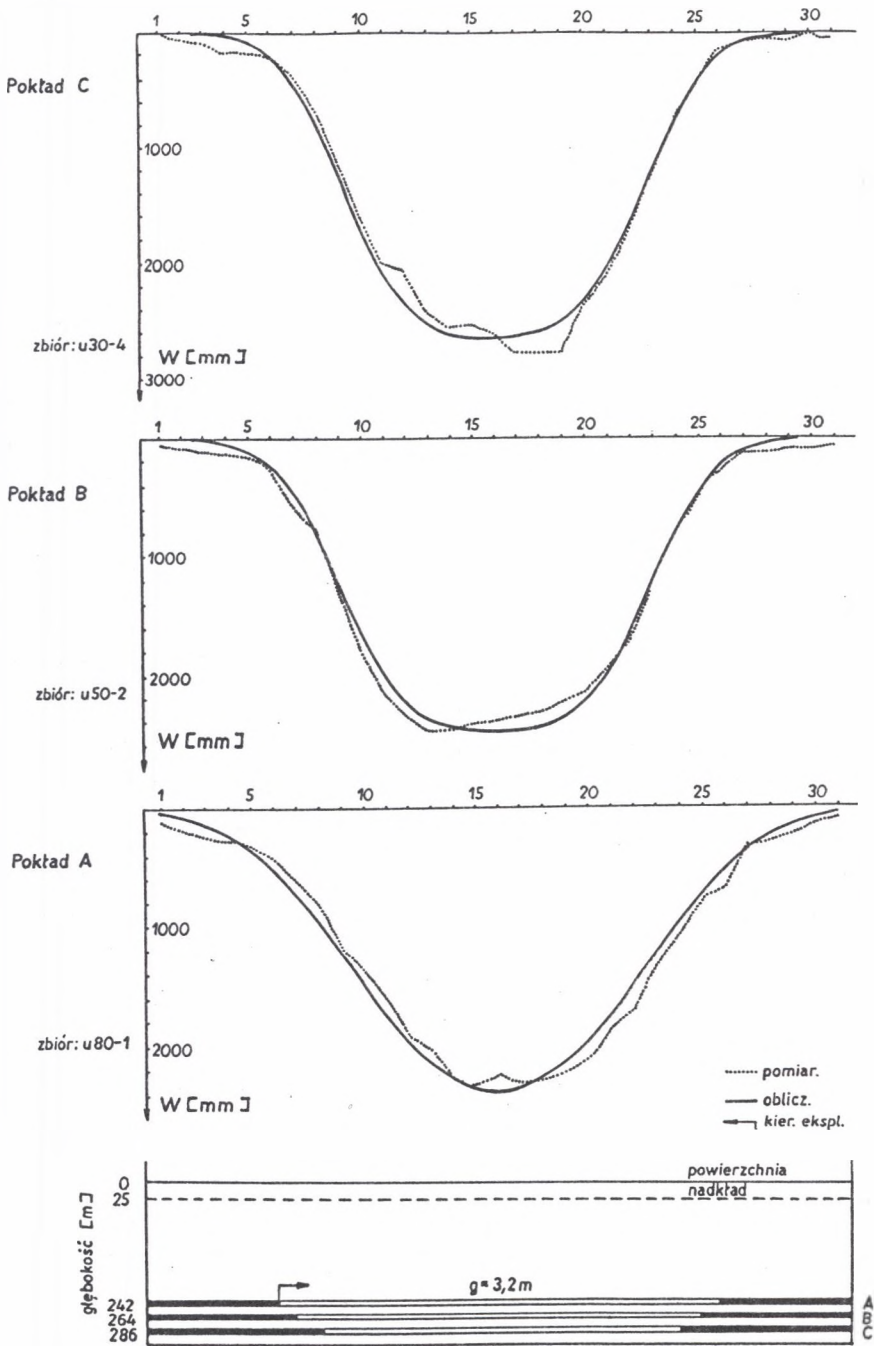
Każdy z modeli podlegał kompleksowej obserwacji, tj. wizualnej, tensometrycznej na powierzchni i fotogrametrycznej dla całego przekroju górotworu. Wyniki tych obserwacji są opracowywane analitycznie i graficznie. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów przemieszczeń pionowych dla powierzchni badanego modelu, osobno dla każdego etapu badania, wraz z dopasowaniami niecek teoretycznych wg teorii Budryka - Knothego.

3. Wyniki badań modelowych

Analizę wyników badań modelowych przeprowadzono w kilku etapach:

1. Określono współczynniki eksploatacji i parametry teorii S.Knothego z niecek obniżeniowych dla poszczególnych stanów eksploatacji.
2. Przeanalizowano niektóre aspekty sumowania się wpływów, takich jak aktywacja starych zrobów.
3. Analizowano związki empiryczne pozwalające określić parametry opisujące model ruchów powierzchni od istotnych czynników geologiczno-górnicych.

W artykule przedstawiono wyniki badań pierwszego etapu analizy na podstawie czterech modeli przedstawionych w rozdziale 2.



Rys.5. Dopasowanie niecki teoretycznej do pomierzonej na modelu w warunkach wielokrotnej eksploatacji
 Fig. 5. Matching theoretical to measured basin on the model in multiple mining

Wykorzystując pakiet programów EDN J. Białka przeprowadzono obliczenia zmierzające do dopasowania niecek rzeczywistych lub ich gałęzi do teoretycznych. Pozwoliło to na określenie optymalnych parametrów teorii S. Knothego. W tablicy 1 przedstawiono wyniki tych analiz, zaś wykresy niecek na rysunkach 2, 3, 4 i 5.

Dopasowywanie przeprowadzono osobno dla każdej gałęzi niecki, a następnie dla obu łącznie, wynikających z eksploatacji pojedynczych, jak i kilku pokładów. Z uwagi na obszerny materiał graficzny dopasowania przedstawiono tylko dla pełnych przekrojów niecek obniżeniowych.

Przeprowadzone na tym etapie badania wykazały, że wartość parametru $tg\beta$ rośnie wraz z głębokością, zarówno dla górotworu nienaruszonego, jak i naruszonego wcześniejszymi eksploatacjami. Wyraźny wzrost współczynnika eksploatacyjnego a i parametru $tg\beta$ (tablica 1) wystąpił w przypadku eksploatacji kolejnych pokładów (B i C) po wybraniu pierwszego (A) zalegającego najpłycej. Wynikało to z nieuwzględnienia aktywacji starych zrobów w procesie dopasowywania niecek teoretycznych do rzeczywistych. Zjawisko to przejawiające się w postaci występowania dodatkowych niecek aktywacji wcześniej wybranych partii pokładów należy uwzględnić w prognozowaniu wpływów eksploatacji górniczej, wprowadzając współczynniki aktywacyjne.

Jak wykazały badania, istotne znaczenie przy kształtowaniu się deformacji powierzchni ma również wielkość obrzeża eksploatacyjnego, udział dalekich zasięgów, jak również wpływ prędkości wybierania na przebieg ujawniania się wpływów eksploatacji.

Zagadnienia te są przedmiotem analiz wykonanych w Instytucie Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej na kilkunastu badaniach modelowych z zastosowaniem materiałów ekwiwalentnych.

Wyniki potwierdzają potrzebę prowadzenia takich badań, szczególnie w przypadkach, gdzie istnieją zasadnicze trudności lub wręcz niemożliwość realizacji badań *in situ*. W połączeniu z obserwacjami geodezyjnymi mogą one stanowić materiał weryfikujący dla rozwiązań teoretycznych.

Tablica 1

Zestawienie wyznaczonych parametrów teorii W. Budryka - S. Knothego
dla niecek obniżeniowych z badań modelowych

| Model | Pokład ekspl. | Kolej- ność ekspl. | H [m] | g [m] | Parametry teorii W. Budryka - S. Knothego | | | | | |
|----------------------|------------------|--------------------------|----------|----------|--|-----|--|-----|---|-----|
| | | | | | Dla gałęzi niecki zgodnej z kier. eksploatacji | | Dla gałęzi niecki przeciwnej do kier. ekspl. | | Średnie wyznaczone dla całej niecki | |
| | | | | | a | tgβ | a | tgβ | a | tgβ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Model z rys. 2 | A | 1 | 200 | 4,0 | 0,76 | 0,9 | 0,75 | 1,1 | 0,75 | 1,0 |
| | B | 2 | 232 | 4,0 | 0,88 | 1,4 | 0,87 | 2,1 | 0,86 | 1,5 |
| | A+B | | | | 0,87 | 1,1 | 0,83 | 1,4 | 0,83 | 1,2 |
| Model z rys. 3 | A | 1 | 600 | 4,0 | 0,56 | 2,0 | 0,60 | 1,9 | 0,57 | 2,0 |
| | B | 2 | 632 | 4,0 | 0,90 | 2,7 | 0,88 | 2,2 | 0,88 | 2,5 |
| | A+B | | | | 0,75 | 2,6 | 0,82 | 2,2 | 0,78 | 2,3 |
| Model z rys. 4 | A (śc. 1) | 1 | 400 | 3,2 | 0,78 | 1,7 | 0,82 | 1,7 | 0,82 | 1,6 |
| | A (śc. 2) | 2 | 400 | 3,2 | 0,82 | 1,8 | 0,76 | 1,8 | 0,76 | 1,8 |
| | A (śc. 1+2) | | | | 0,82 | 1,8 | 0,84 | 1,7 | 0,80 | 1,7 |
| Model z rys. 5 | A | 1 | 242 | 3,2 | 0,72 | 1,2 | 0,78 | 1,2 | 0,79 | 1,2 |
| | B | 2 | 264 | 3,2 | 0,76 | 1,7 | 0,78 | 1,9 | 0,78 | 1,8 |
| | A+B | | | | 0,74 | 1,4 | 0,76 | 1,5 | 0,76 | 1,5 |
| | C | 3 | 286 | 3,2 | 0,83 | 2,1 | 0,85 | 1,9 | 0,83 | 2,0 |
| | A+B+C | | | | 0,77 | 1,8 | 0,86 | 1,7 | 0,81 | 1,7 |

4. Podsumowanie

Badania in situ zmierzające do udoskonalenia modelu ruchów powierzchni wymagają zakładania skomplikowanych sieci obserwacyjnych, są czasochłonne, a układ warunków geologiczno-górnicznych dla danej eksploatacji jest w zasadzie niepowtarzalny, co utrudnia uogólnienie wyników obserwacji in situ. Stąd badania modelowe z zastosowaniem materiałów ekwiwalentnych umożliwiają uzyskanie wyników wpływów dowolnego układu geologiczno-górnicznego. Badania takie prowadzono w Instytucie Eksploatacji Złóż.

Wyniki wykonanych badań wykazały, że kształt powstałych niecek obniżeniowych na powierzchni jest ogólnie zgodny z założeniami teorii W. Budryka - S. Knothego. Różnice (charakterystyczne w teoriach geometryczno-całkowych) pojawiają się w zanizaniu wpływów dalekich, nieuwzględnianiu zmian objętości deformowanych skał, zawyżaniu wartości

deformacji dla niepełnych niecek obniżeniowych, jak również wynikają z nieuwzględniania wpływu aktywacji starych zrobów. Badania te mogą stanowić przyczynek do stworzenia pełniejszego opisu deformacji.

LITERATURA

1. Białek J.: Opis nieustalonej fazy obniżen terenu górniczego z uwzględnieniem asymetrii wpływów końcowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. s. Górnictwo, z.194. Gliwice 1991.
2. Kot A., Opałka K.: Aktywacja starych rozrobokotk wśledstwie wiedenija gornoj ekspluatacji. Proc. of the IX Congress ISM (International Society for Mine Survey'ing), Prague 1994.
3. Dziura T., Mielimąka R., Opałka K.: Przebieg deformacji powierzchni terenu powodowanych eksploatacją górnica w warunkach górotworu nienaruszonego. Referat na Konferencję Naukowo-Techniczną „III Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych”. Ustroń-Zawodzie, 1995.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Bogdan Dżegniuk

Wpłynęło do Redakcji: 10.10.1996 r.

Abstract

In situ research aiming at improving the model of surface movements requires setting complicated monitoring nets. The research is time consuming and geological and mining system for a given exploitation is in fact unique which makes generalisation of the in situ monitoring results difficult. Model research with equivalent materials enables obtaining results of the influence of any geological and mining system. Such research has been carried out in

Deposit Exploitation Institute and suitable equivalent materials which optimally reflect qualities of rock mass layers has been elaborated, especially for that research and also methodology of tensometric observation and single image photogrammetry for measuring dislocations in model has been adapted.

The results have shown that the shape of depression basins on the surface generally agrees with assumptions of W. Budryk-S. Knothe's theory. The differences (typical of geometrically integral theories) can be seen in decrease of dislocation influences, indifference to the volume of deformed rocks, increase in deformation values of incomplete depression basins as well as they results from not taking into consideration the influence of activation of old abandoned workings. This research can contribute to creating richer description of deformation.