

Kazimierz PODGÓRSKI

Stanisław DUŻY

WPLYW ZMIAN OBJĘTOŚCIOWYCH GÓROTWORU
W PROCESIE EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ
ZA ZACISKANIE CHODNIKÓW PRZYŚCIANOWYCH

Streszczenie. Proces deformacji masywu skalnego w otoczeniu wyrobisk górniczych, objawiający się przemieszczeniami określonej bryły górotworu w kierunku wybranej przestrzeni, jest ściśle związany z zmianami objętościowymi zachodzącymi w masywie. Wykazują to liczne badania, które w opisie zjawiska wskazują na zmiany szczelinowatości, czy rozwarstwienia masywu. W pracy, na podstawie pomiarów przemieszczeń masywu skalnego w otoczeniu chodników przyścianowych, określono funkcję rządzącą zjawiskiem zmian objętościowych podając wzór empiryczny pozwalający na określenie współczynnika zmian objętościowych górotworu w zależności od odległości od czoła ściany oraz od odległości od obrysu wyłomu wyrobiska. Wykorzystując podane w pracy wzory, przeprowadzono w pracy obliczenia przemieszczeń masywu skalnego w otoczeniu chodników przyścianowych uzyskując dużą dokładność w stosunku do pomiarów prowadzonych w kopalni.

1. WPROWADZENIE

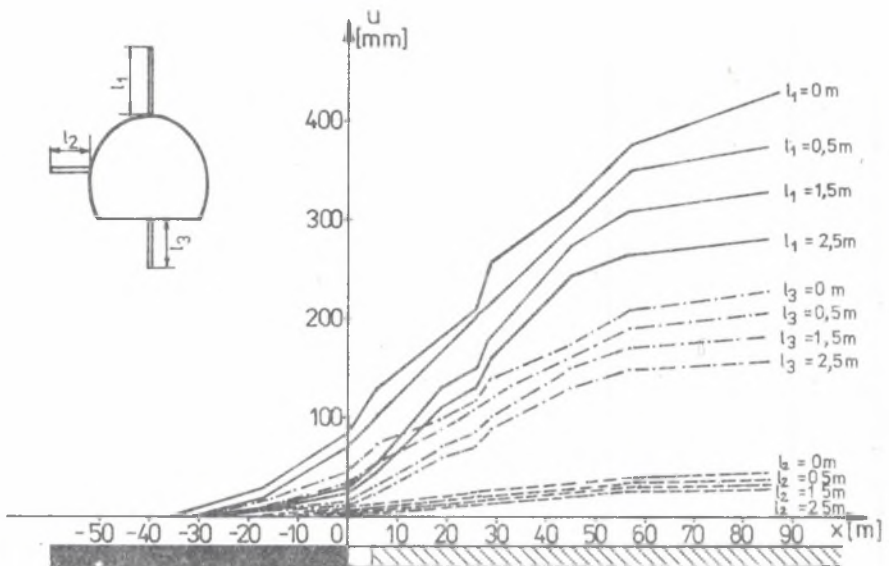
Proces deformacji masywu skalnego w otoczeniu wyrobisk górniczych, objawiający się przemieszczeniami określonej bryły górotworu w kierunku wybranej przestrzeni, jest ściśle związany z zmianami objętościowymi zachodzącymi w masywie. Wykazują to liczne badania, które w opisie zjawiska wskazują na zmiany szczelinowatości, czy rozwarstwienia masywu [5, 8, 9].

Zjawisko zmian objętościowych górotworu w procesie jego deformacji jest trudne do opisu ilościowego. Najczęściej do tego celu wykorzystuje się, tzw. współczynnik zmian objętościowych górotworu. Współczynnik ten określany jest, jako stosunek przyrostu objętości skał do pierwotnej objętości analizowanej bryły górotworu. W pracy podjęto próbę określenia zmian objętościowych masywu skalnego w otoczeniu chodników przyścianowych w oparciu o pomiary przemieszczeń oraz wpływu zmian objętościowych górotworu w procesie eksploatacji górniczej na zaciskanie chodników przyścianowych.

2. PRZEMIESZCZENIA MASYWU SKALNEGO W OTOCZENIU CHODNIKÓW PRZYŚCIANOWYCH

W celu określenia deformacji masywu skalnego w otoczeniu chodników przyścianowych, przeprowadzono badania przemieszczeń masywu w poszczególnych etapach oddziaływania eksploatacji górniczej. Aby te osiągnąć, w chodnikach przyścianowych wydzielono odcinki, w których prowadzono pomiary. Łącznie wykonano i prowadzono pomiary w pięciu stacjach pomiarowych. W każdej z nich w stropie, spęgu i odcioach wyrobiska zaustabilizowano repery na obrysie wyrobiska oraz na głębokościach 0,5, 1,5, 2,5 i 5,0 m od obrysu wyrobiska [5, 6, 7, 9].

W przedstawionych powyżej stacjach pomiarowych prowadzono pomiary przemieszczeń obrysu wyłomu wyrobiska oraz reperów wgłębnych. Przykładowe wyniki pomiarów przemieszczeń masywu skalnego w otoczeniu chodników przyścianowych przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Wykres przemieszczeń masywu skalnego w otoczeniu chodników przyścianowych w zależności od odległości od czoła ściany

Fig. 1. Diagram of displacements of the rock mass adjacent to stringing headings depending on the distance from the coal face

Analizując przemieszczenia masywu skalnego w otoczeniu chodników przyścianowych należy stwierdzić, że wokół wyrobiska tworzy się strefa, w której skały ulegają przesłuszczeniu. Największe przesłuszczenia występują na konturze wyrobiska i zmniejszają się wgłęb masywu, aż do całkowitego

zaniku. Obserwacja ta upoważniając do wysunięcia wniosku, że skały tworzące otaczającą wyrobisko masywu zwiększają swoją objętość.

3. OKREŚLENIE ZMIAN OBJĘTOŚCIOWYCH MASYWU SKALNEGO W OTOCZENIU CHODNIKÓW PRZYŚCIANOWYCH

W celu określenia zmian objętościowych górotworu, przeprowadzono analizę przyjmując założenie, że jeśli w danym przekroju wyrobiska pomiary przesuwów reperów zastabilizowanych na różnych głębokościach wykazują różne wartości, to górotwór pomiędzy tymi głębokościami zmienił swoją objętość.

Uwzględniając podaną powyżej zasadę oraz wyniki pomiarów przesuwów masywu, obliczono wartości współczynnika zmian objętościowych górotworu dla poszczególnych brył górotworu. Analiza uzyskanych tą drogą wartości współczynnika zmian objętościowych pozwoliła na określenie przebiegu funkcji wzrostu objętości skał, w zależności od odległości od czoła ściany oraz odległości od obrysu wyłomu wyrobiska. Stwierdzono, że zależność współczynnika zmian objętościowych skał w zależności od odległości od czoła ściany oraz odległości od obrysu wyłomu wyrobiska można opisać wzorem:

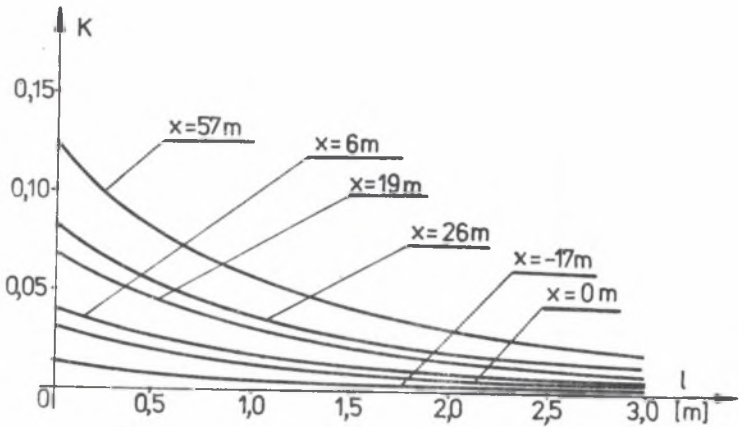
$$K = \frac{\alpha}{r^{\beta}} [1 + \operatorname{tgh} \beta(x - \Delta)] \quad (1)$$

gdzie:

- K - współczynnik zmian objętościowych górotworu,
- α, β, Δ - parametry funkcji wyznaczane z pomiarów,
- r - bezwymiarowa wartość odległości rozpatrywanego punktu masywu od środka wyrobiska liczona, jako stosunek odległości rozpatrywanego punktu masywu od środka wyrobiska do odległości punktu na obrysie wyrobiska (odpowiadającego rozpatrywanemu punktowi masywu) od środka tego wyrobiska,
- x - odległość analizowanego przekroju wyrobiska od czoła ściany, m.

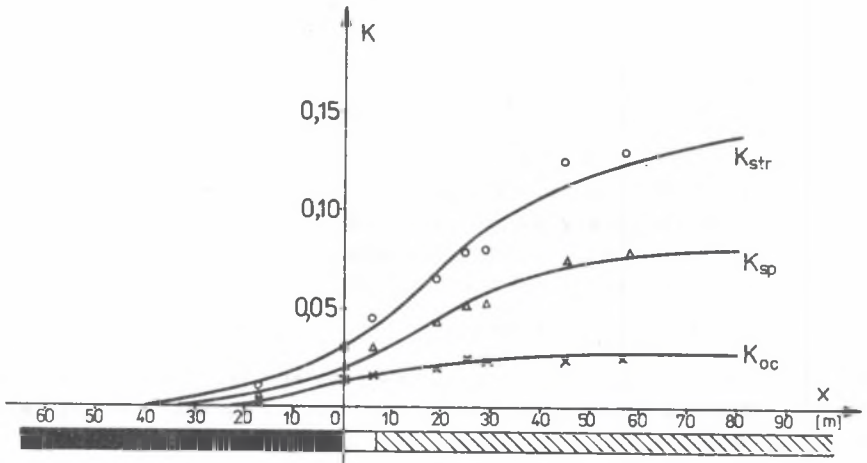
Wykresy przebiegu funkcji (1) przedstawione na rys. 2 i 3. Analiza wartości współczynnika zmian objętościowych górotworu wykazała, że parametry funkcji (1) zależą m.in. od wytrzymałości skał na ścisnienie, głębokości zalegania pokładu (ciśnienia pierwotnego) oraz od przeporności obudowy. Zależności te można wyrazić wzorami:

$$\alpha = (0,2199 - 0,1357 p_0) \frac{p_z}{K_c} \quad (2)$$



Rys. 2. Wykres współczynnika zmian objętościowych górotworu w zależności od odległości od obrysu wylomu wyrobiska

Fig. 2. Diagram of the coefficient of volumetric changes of the orogen depending on the distance from the neat line of the breach of the heading



Rys. 3. Wykres współczynnika zmian objętościowych górotworu w zależności od odległości od czoła ściany

Fig. 3. Diagram of the coefficient of volumetric changes of the orogen depending on the distance from the coal face

$$\beta = \frac{0,0049}{p_0} \exp(2,6435 p_0) \quad (3)$$

$$\Delta = 6,85 \frac{R}{p_z} \ln(6,225 p_0) \quad (4)$$

gdzie:

p_0 - podporność obudowy w MPa,

R_c - wytrzymałość skał na ściskanie w MPa,

p_z - ciśnienie pierwotne górotworu w MPa.

Przedstawione powyżej wzory dotyczą parametrów funkcji (1) w odniesieniu do stropu chodnika. W celu określenia wielkości zmian objętościowych skał w ociosie i epągu wyrobiska, znając pomiary przemieszczeń masywu skalnego ustalono, że między współczynnikiem zmian objętościowych górotworu w stropie, ociosie i epągu wyrobiska istnieją zależności funkcyjne, które przedstawiają się następująco:

$$K_{oc} = K_{str} [0,1825 \exp(-0,0243 \cdot x) + 0,1675] \quad (5)$$

$$K_{ep} = K_{str} [0,0913 \exp(-0,0243 \cdot x) + 0,584] \quad (6)$$

gdzie:

K_{oc} - wartość współczynnika zmian objętościowych górotworu w ociosie wyrobiska,

K_{str} - wartość współczynnika zmian objętościowych górotworu w stropie wyrobiska,

K_{ep} - wartość współczynnika zmian objętościowych górotworu w epągu wyrobiska.

4. OBLICZANIE PRZEMIESZCZEŃ MASYWU SKALNEGO W OTOCZENIU CHODNIKÓW PRZYŚCIANOWYCH

Na podstawie analizy wyników badań stanów naprężeniowo-deformacyjnych w otoczeniu wyrobisk korytarzowych [1, 2, 5, 8], można przyjąć, że wokół chodników przyścianowych tworzą się strefy odkształceń niesprężystych. Analogicznie do zachowania się próbek skał badanych w maszynach wytrzymałościowych o dużej sztywności przyjęto, że w strefie odkształceń niesprężystych otaczającej wyrobisko można wyróżnić strefę kruchego zniszczenia skał, która w pewnej odległości od obrysu wyłomu wyrobiska przechodzi w strefę odkształceń pozagranicznych, która z kolei przechodzi w strefę sprężystą. Jeżeli przyjmiemy schemat obliczeniowy w postaci tarczy znacznych rozmiarów z wyrobiskiem wykonanym w jej środku i obciąż-

zonej siłę będącą sumą obciążenia wynikającego z pierwotnego stanu naprężenia oraz z obciążenia wynikającego z wpływu eksploatacji górniczej, to w strefie sprężystej przemieszczenia radialne wyraża się wzorem:

$$u(x) = \frac{3}{2E} \{ p[1 + \lambda(x)] - p_2(x) \} \frac{[r_2(x)]^2}{r} \quad (7)$$

gdzie:

$u(x)$ - przemieszczenia radialne dla przekroju wyrobiska oddalonego o x m od czoła ściany, m,

E - moduł sprężystości skał tworzących masyw skalny, MPa,

p - ciśnienie pierwotne górotworu, MPa,

$\lambda(x)$ - współczynnik koncentracji naprężeń i nierównomierności podparcia stropu dla przekroju wyrobiska odległego o x m od czoła ściany,

$p_2(x)$ - naprężenie radialne na granicy stref odkształceń pozagranicznych i sprężystej dla przekroju wyrobiska odległego od czoła ściany o x m, obliczane z wzoru:

$$p_2(x) = \frac{2p[1 + \lambda(x)] - R_c}{A + 1} \quad (8)$$

A - współczynnik liczony z wzoru:

$$A = \frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi} \quad (9)$$

φ - kąt tarcia wewnętrznej skał,

R_c - wytrzymałość skał na ściskanie, MPa,

$r_2(x)$ - promień strefy odkształceń pozagranicznych dla przekroju wyrobiska odległego od czoła ściany o x m, m,

r - promień, dla którego prowadzi się obliczenia przemieszczeń, m.

W strefie odkształceń pozagranicznych oraz w strefie kruchego zniszczenia skał przemieszczenia radialne obliczyć można z wzoru:

$$u(x) = \left\{ \frac{K(x)}{r} \ln \frac{r}{r_2(x)} + \frac{K(x)}{2} \left[\frac{1}{r} - \frac{r}{(r_2(x))^2} \right] + t(x) \frac{[r_2(x)]^2}{r} \right\} r \quad (10)$$

gdzie:

$K(x)$ - współczynnik zmian objętościowych górotworu dla przekroju wyrobiska oddalonego od czoła ściany o x m,

$r_2(x)$ - bezwymiarowy promień zasięgu strefy odkształceń pozagranicznych liczony, jako stosunek $r_2(x)/r_0$,

r_0 - promień zastępczy wyrobiska, m,

$\varepsilon_t''(x)$ - odkształcenie na granicy stref odkształceń pozagranicznych i sprężystej liczone z wzoru:

$$\varepsilon_t'' = \frac{3[p(x) - p_2(x)] \cdot [r_2(x)]^2}{2Er^2} \quad (11)$$

Ustalenie zasięgu poszczególnych stref odbywa się poprzez rozwiązanie następującego układu równań będącego wynikiem przyjętych warunków brzegowych polegających na zgodności naprężeń i odkształceń na granicach poszczególnych stref [5]:

$$r_1(x) = \sqrt{\frac{K(x) \left\{ \ln \frac{r_1(x)}{r_2(x)} + \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \left[\frac{r_1(x)}{r_2(x)} \right]^2 \right\}}{\varepsilon_1' + \varepsilon_t''(x) \left[1 - \left(\frac{r_2(x)}{r_1(x)} \right)^2 \right]}} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & \frac{R_c^0}{1-A} \left[1 - \left(\frac{r_0}{r_1(x)} \right)^{A-1} \right] + p_2(x) \left[\frac{r_0}{r_2(x)} \right]^{A-1} + \frac{R_c}{1-A} \left[\left(\frac{r_0}{r_1(x)} \right)^{A-1} - \left(\frac{r_0}{r_2(x)} \right)^{A-1} \right] - \\ & - \frac{R_c - R_c^0}{\varepsilon_1'} \left\{ \frac{K(x)}{A+1} \left[\left(\ln \frac{r_1(x)}{r_2(x)} + \frac{1}{A+1} + \frac{1}{2} \right) \frac{1}{(r_1(x))^2} \left(\frac{r_0}{r_1(x)} \right)^{A-1} - \left(\frac{1}{A+1} + \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. + \frac{1}{2} \right) \frac{1}{[r_2(x)]^2} \left(\frac{r_0}{r_2(x)} \right)^{A-1} \right] + \left[\frac{K(x)}{2(A-1)[r_2(x)]^2} + \frac{\varepsilon_t''(x)}{A-1} \right] \cdot \left[\left(\frac{r_0}{r_1(x)} \right)^{A-1} - \right. \right. \\ & \left. \left. - \left(\frac{r_0}{r_2(x)} \right)^{A-1} \right] - \frac{\varepsilon_t''(x)}{A+1} \left[\left(\frac{r_2(x)}{r_1(x)} \right)^2 \left(\frac{r_0}{r_2(x)} \right)^{A-1} - \left(\frac{r_0}{r_2(x)} \right)^{A-1} \right] \right\} - p_0 = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

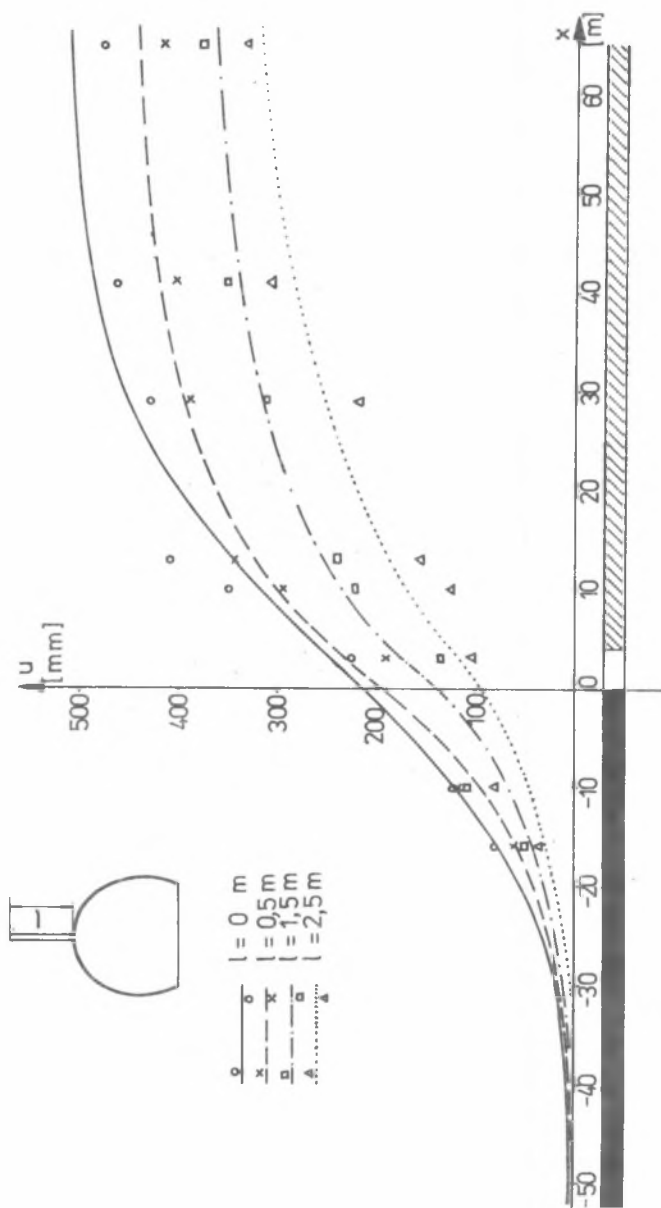
gdzie:

R_c^0 - wytrzymałość resztkowa skał, MPa,

$r_1(x)$ - promień strefy kruchego zniszczenia skał,

ε_1' - odkształcenie zniszczenia,

p_0 - podporność obudowy, MPa.



Rys. 4. Wykres obliczonych i pomierzonych wielkości przemieszczeń masywno skalnego w stropie chodników przyścianowych

Fig. 4. Diagram of calculated and measured displacements of the rock mass in the roof of stringing headings

Uwzględniając przedstawną powyżej metodę, przeprowadzono obliczenia przemieszczeń masywu skalnego w otoczeniu chodników przyścianowych. Na rys. 4 przedstawiono wykres obliczonych przemieszczeń stropu chodników przyścianowych w stacjach pomiarowych oraz zaznaczono na nim punktami wielkości pomierzone.

5. PODSUMOWANIE

Proces deformacji masywu skalnego w otoczeniu chodników przyścianowych jest bardzo złożony. Wpływ na jego charakter ma szereg czynników, do których zaliczyć należy budowę geologiczną górotworu, jego własności mechaniczne i wytrzymałościowe, stosowany sposób utrzymania chodnika, sposób wzmocnienia obudowy, odległość od czoła ściany, system eksploatacji, prędkość postępu frontu eksploatacyjnego itp.

Analiza wyników pomiarów przemieszczeń masywu skalnego w otoczeniu chodników przyścianowych wykazała, że wokół wyrobiska tworzy się strefa, w której skały ulegają przemieszczeniom. Charakter obserwowanych przemieszczeń wskazuje na zachodzące w masywie zmiany jego objętości. W pracy określono funkcję rządzącą tym zjawiskiem, podając wzór pozwalający na określenie współczynnika zmian objętościowych górotworu, w zależności od odległości od czoła ściany oraz od odległości od obrysu wyłomu wyrobiska. Wykorzystując podane zależności przeprowadzono obliczenia przemieszczeń masywu skalnego w otoczeniu chodników przyścianowych uzyskując dużą dokładność. Podana wzory uwzględniają wpływ zmian objętościowych górotworu na jego przemieszczenia.

Przeprowadzone badania dotyczyły jednak warunków tylko jednej kopalni, dlatego też w celu rozwiązania zagadnienia zmian objętościowych zachodzących w masywie skalnym w procesie jego deformacji, konieczne jest prowadzenia dalszych badań w wyrobiskach wykonanych w różnych warunkach geologicznych, górniczych i technologicznych.

LITERATURA

- [1] Chudek M.: Mechanika górotworu, Skrypt Uczelniany Politechniki Śląskiej, Gliwice 1981.
- [2] Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych cz. I, Wyd. Śląsk, Katowice 1987.
- [3] Chudek M., Pach A.: Roboty górnicze cz. II. Obudowa oraz systemy ochrony wyrobisk przygotowawczych. Skrypty Centralne Wyższych Studiów Technicznych dla Pracujących, Gliwice 1980.
- [4] Chudek M., Pach A., Zukian B., Skudlik G., Garnarcz R.: Prognoza zaciekania chodników przyścianowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, zeszyt nr 157, Gliwice 1987.

- [5] Duży S.: Wpływ eksploatacji górniczej na pole przemieszczeń masywu skalnego w otoczeniu chodników przyścianowych. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1986.
- [6] Podgórski K., Duży S., Makeelon F., Preidl W.: Powiedzenie kriepl uzkich wyrobotok podwiergajemych wlijanju gornych robot w swietu prowadzianych badani. 3 Mezinarodni Vadecka Konferenc Sekce 13, Vystavba dolu a geotechnika, Ostrava 1985.
- [7] Podgórski K., Duży S., Preidl W.: Wpływ eksploatacji górniczej na przemieszczenia masywu skalnego w otoczeniu chodników przyścianowych w świetle przeprowadzonych badań. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, zeszyt nr 157, Gliwice 1987.
- [8] Podgórski K., Kleta H.: Wpływ zmian objętościowych na zaciskanie wyrobisk korytarzowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej seria Górnictwo, zeszyt nr 145, Gliwice 1988.
- [9] Praca zbiorowa: Wpływ zmian objętościowych górotworu w procesie eksploatacji górniczej na deformacje wyrobisk przyścianowych i ich obudowy. Prace Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, Gliwice 1986 (praca niepublikowana).

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ОБЪЕМА ГОРНОГО МАССИВА
В ПРОЦЕССЕ ГОРНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ЗАЖАТИЕ
ШТРЕКОВ ПРИЛЕГАЮЩИХ К ЛАВЕ

Р е з ю м е

Процесс деформации горного массива в окружении горных выработок, который проявляется в виде перемещений определенной глыбы горных пород в направлении выбранного пространства, тесно связан с изменениями объема горного массива. Это подтверждают многочисленные исследования, которые в описании явления указывают на изменения трещиноватости или расслоения. В работе на основе измерений перемещений горного массива в окружении штреков прилегающих к лаве определена функция, управляющая явлением изменения объема, дана ее эмпирическая формула, позволяющая определить коэффициент объемных изменений горных пород в зависимости от удаленности от фронта лавы, а также от удаленности от контура пролома выработки. С использованием данных в работе формул произведены расчеты перемещений горного массива в окружении штреков прилегающих к лаве, причем получена большая точность по сравнению с измерениями проводимыми в шахте.

THE INFLUENCE OF VOLUMETRIC CHANGES OF THE OROGEN IN THE COURSE
OF MINING ACTIVITIES UPON THE TIGHTENING OF STRINGING HEADINGS

S u m m a r y

The deformation of the rock mass around headings, manifested by dislocations of some given part of the orogen towards some chosen space, is strictly connected with volumetric changes occurring in the massif. This has been proved by numerous investigations indicating changes of fissures

as well as changes in the stratification of the rock mass. Basing on measurements of dislocations of the rock mass around stringing headings, the paper provides a function which governs the phenomenon of volumetric changes. The suggested empirical formula makes it possible to determine the coefficient of volumetric changes in the orogen depending on the distance from the working face and from the neat lines of the vreach of the heading. Making use of the formulae provided in the paper, calculations were carried out concerning the dislocation of the rock mass adjacent to stringing headings, achieving considerable accuracy if compared with measurements taken in the colliery.