

Kazimierz PODGÓRSKI

Henryk KLETA

Instytut Projektowania Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni  
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

## WPŁYW ZMIAN OBJĘTOŚCIOWYCH NA ZACISKANIE WYROBISK KORYTARZOWYCH

**Streszczenie.** Wraz z głębokością położenia wyrobiska korytarzowego rośnie wielkość naprężenia i odkształcenia, które sprzyjają wzrostowi objętości deformowanych skał i zaciskania obudowy. W pracy podano podstawy teoretyczne prognozowania wielkości zaciskania wyrobisk na podstawie uprzednio wyznaczonych parametrów z badań.

Wielkość odkształceń obwodowych w strefie pozagranicznego deformowania się skał przy uwzględnieniu zmian objętościowych ujmuje zależność:

$$\varepsilon_t = \frac{K}{r^2} \ln \frac{r}{r_2} + \frac{K}{2} \left( \frac{1}{r^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) + \varepsilon_t'' \left( \frac{r_2}{r} \right)^2,$$

gdzie:

- $\varepsilon_t$  - odkształcenie obwodowe sprężyste,
- $K$  - współczynnik zmian objętościowych ustalany na podstawie pomiarów zaciskania wyrobisk i położenia reperów wgłębnych,
- $r_2$  - promień strefy odkształceń pozagranicznych,
- $r$  - promień określający położenie rozpatrywanego punktu w stosunku do osi wyrobiska.

Wykorzystując podaną zależność ustala się wpływ zmian objętościowych na zaciskanie wyrobiska. Potrzebna wielkość współczynnika zmian objętościowych  $K$  można ustalać również wykorzystując wyniki badań próbek skał w tzw. sztywnych maszynach wytrzymałościowych. Przytoczone w pracy pomiary jak i ich analiza wykazały, że na wielkość zmian objętościowych skał ma również wpływ podporność obudowy.

## 1. WSTĘP

Podstawowym zadaniem przy projektowaniu budowli podziemnych jest określenie charakteru współpracy systemu "obudowa-masyw skalny", podatności obudowy i jej typu oraz wielkości i kształtu przekroju poprzecznego wyrobiska. Podstawową trudnością jest jednak uwzględnienie własności masywu skalnego, który przedstawia sobą złożony ośrodek sformowany pod wpływem czynników geologicznych. Zachowanie się masywu skalnego otaczającego wyrobisko de-

terminowane jest głównie własnościami mechanicznymi skał, stanem naprężenia i technologią robót górniczych. Z tego względu mechanika budowli podziemnych posługuje się modelami mechanicznymi masywu skalnego. Szerokie zastosowanie znalazły tu rozwiązania mechaniki ośrodków ciągłych dla takich podstawowych modeli, jak: sprężysty, sprężysto-plastyczny, sprężysto-lepki, lepko-plastyczny.

W przypadku lokalizacji wyrobisk korytarzowych na większych głębokościach stwierdza się, że prognozowane przemieszczenia w oparciu o powyższe modele są mniejsze od przemieszczeń rzeczywistych. W pracy przeprowadzono analizę kształtowania się przemieszczeń konturu wyrobiska kołowego w zależności od własności mechanicznych masywu skalnego.

## 2. KSZTAŁTOWANIE SIĘ ZACISKANIA WYROBISK KORYTARZOWYCH PRZY UWZGLĘDNIENIU WZROSTU OBJĘTOŚCI MASYWU SKALNEGO

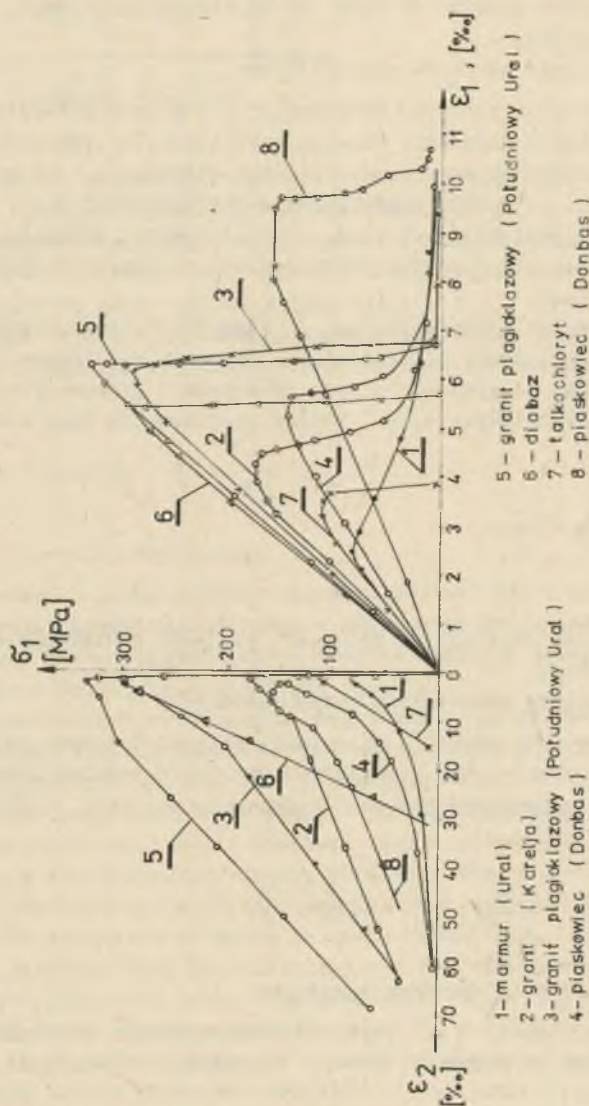
Do głębokości około 300 metrów nie występowały większe trudności w utrzymaniu wyrobisk korytarzowych. Wielkość obciążenia obudowy prognozowano przyjmując, że nad wykonanym wyrobiskiem tworzy się naturalne sklepienie ciśnień, poniżej którego znajdujące się skały obciążają obudowę. Przy takim założeniu pomijano zagadnienie współpracy obudowy z masywem skalnym. W miarę wzrostu głębokości prowadzenia robót górniczych występują trudności w utrzymaniu wyrobisk korytarzowych. Zagadnienie prognozowania zaciskania wyrobisk korytarzowych dla dużych głębokości oparto na rozwiązaniu J.W. Bakłaszowa [1]. W rozwiązaniu tym model matematyczny mechanizmu deformowania się skał wokół wyrobiska korytarzowego oparto na zachowaniu się próbek skał badanych w maszynach wytrzymałościowych posiadających dużą sztywność, większą od sztywności badanych próbek skał (rysunek 1).

Analogicznie do przebiegu funkcji  $\delta - \varepsilon$  (rys. 1) przyjęto, że wokół wyrobiska tworzy się strefa kruchego zniszczenia skał, która w pewnej odległości od konturu wyrobiska przechodzi w strefę odkształceń pozagranicznych, a ta w strefę odkształceń sprężystych.

Założono, że na konturze wyrobiska działa odpór obudowy  $\sigma_r = p$  dla  $r = 1$ , a w dużej odległości od wyrobiska panuje pierwotny stan naprężenia  $\sigma_r = \sigma_t = p_1$ .

Strefa pozagranicznego deformowania się masywu skalnego charakteryzuje się niejednorodnością własności wytrzymałościowych i odkształceniowych. Skały są tu spękane w stopniu nierównomiernym - od maksymalnego zniszczenia na promieniu  $r = r_1$  do nienaruszonego stanu na promieniu  $r = r_2$ . Całkowite naprężenia obwodowe w strefie II przedstawia równanie:

$$\sigma_t = (2\lambda + 1)\sigma_r + R_c - E\varepsilon', \quad (1)$$



Rys. 1. Wykres zależności "naprężenie-odkształcenie" dla jednoosiowego ściskania w sztywnej prasie dla różnych rodzajów skał [9]

FIG. 1. Diagram of the dependence "stress-strain" for uniaxial compression in a rigid press for different kinds of rock [9]



gdzie:

- $R_c$  - wytrzymałość skał na ściskanie w masywie, obliczana na podstawie wytrzymałości próbek skał w jednoosiowym stanie naprężenia,
- $\lambda$  - współczynnik zależny od kąta tarcia wewnętrznego skał,
- $E$  - moduł rozpadu,
- $\varepsilon'_t$  - odkształcenia obwodowe pozagraniczne.

Jednym z podstawowych założeń, przyjmowanych w modelach współpracy obudowa-masyw skalny, jest założenie warunku nieściśliwości odkształceń, czyli braku wzrostu objętości skał w procesie ich deformacji. Jak wynika z badań próbek skał, w przypadku przekroczenia wytrzymałości skały suma odkształceń liniowych jest różna od zera, również badania przemieszczeń masywu skalnego w otoczeniu wyrobisk korytarzowych wskazują na występowanie wzrostu objętości skał.

W pracy przyjęto, że z wystarczającą dokładnością można założyć, iż wzrost objętości skał, które biorą udział w procesie współpracy obudowa-masyw skalny, zależy od wymiarów strefy odkształceń niesprężystych oraz od współczynnika charakteryzującego stopień rozluźnienia skał otaczających masyw skalny.

$$\varepsilon_t + \varepsilon_r = \frac{K}{r^2} - \frac{K}{r_2^2}, \quad (2)$$

gdzie:

- $K$  - współczynnik ustalany na podstawie pomiarów zaciskania wyrobisk korytarzowych,
- $r_2$  - promień strefy odkształceń pozagranicznych.

Podstawiając powyższe równanie do warunku nierozdzielności odkształceń, otrzymano równanie różniczkowe pozwalające wyznaczyć rozkład odkształceń obwodowych w strefie pozagranicznego deformowania się skał, który przedstawia zależność:

$$\varepsilon_t = \frac{K}{r^2} \ln \frac{r}{r_2} + \frac{K}{2} \left( \frac{1}{r^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) + \varepsilon_t^* \left( \frac{r_2}{r} \right)^2, \quad (3)$$

gdzie  $\varepsilon_t^*$  - odkształcenia obwodowe sprężyste.

Na podstawie zależności  $\sigma - \varepsilon$  (rys. 1) można przyjąć, że wielkość odkształceń obwodowych na promieniu  $r = r_1$  wyraża się zależnością:

$$\varepsilon'_t = \frac{R_c - R_c^0}{E}, \quad (4)$$

gdzie  $R_c^0$  - tzw. wytrzymałość resztkowa.

Przyrównując równanie (3) z równaniem (4), dla  $r = r_1$ , promień strefy zniszczenia oblicza się z zależności:

$$r_1 = \frac{K \left[ \ln \frac{r_1}{r_2} + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{r_2^2}{r_1^2} \right) \right]}{\frac{R_0 - R_0^0}{R} - \varepsilon_t'' \left[ \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^2 - 1 \right]} \quad (5)$$

Składowe stanu naprężenia w strefie II obliczono z równania różniczkowego równowagi naprężeń przy uwzględnieniu równania (1) i równania (3), wyrażając składowe stanu naprężenia poprzez funkcję naprężeń.

Wielkość promienia strefy odkształceń pozagranicznych wyznaczono z warunku zgodności naprężeń radialnych dla  $r = r_2$ .

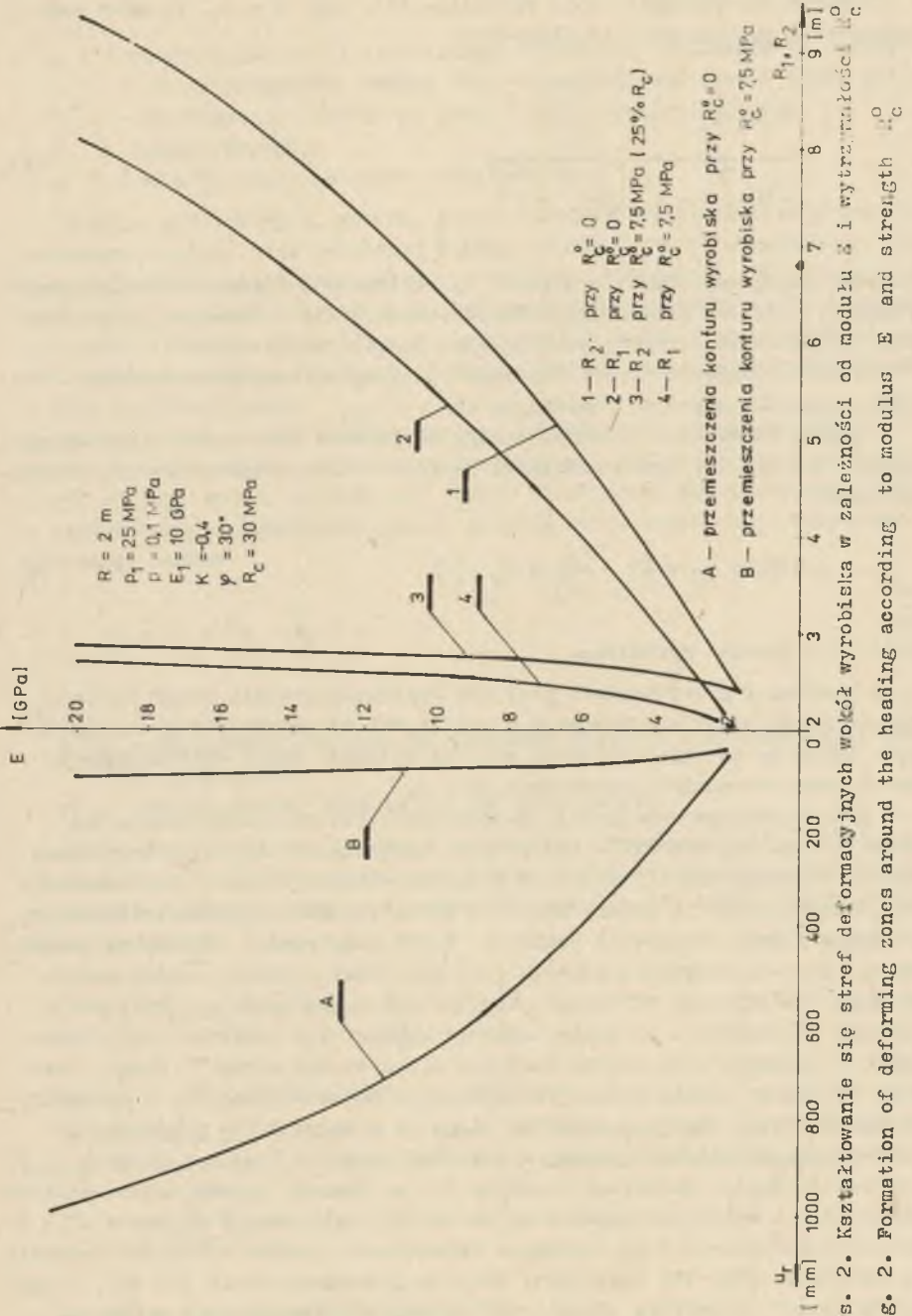
W wyniku rozwiązania równania nierozdzielności odkształceń przy uwzględnieniu równania (2) przemieszczenia radialne konturu wyrobiska przedstawia zależność:

$$u = R \left[ K \left( \ln \frac{1}{r_2} + \frac{1}{2} \right) - \frac{K}{2r_2^2} + \varepsilon_t'' r_2^2 \right] \quad (6)$$

gdzie  $R$  - promień wyrobiska.

Na rysunku 2 przedstawiono przykład kształtowania się stref deformacyjnych wokół wyrobiska kołowego w zależności od parametrów geotechnicznych. Wpływ zmian objętościowych skał na wielkość stref deformacyjnych otaczających wyrobisko przedstawia rys. 3.

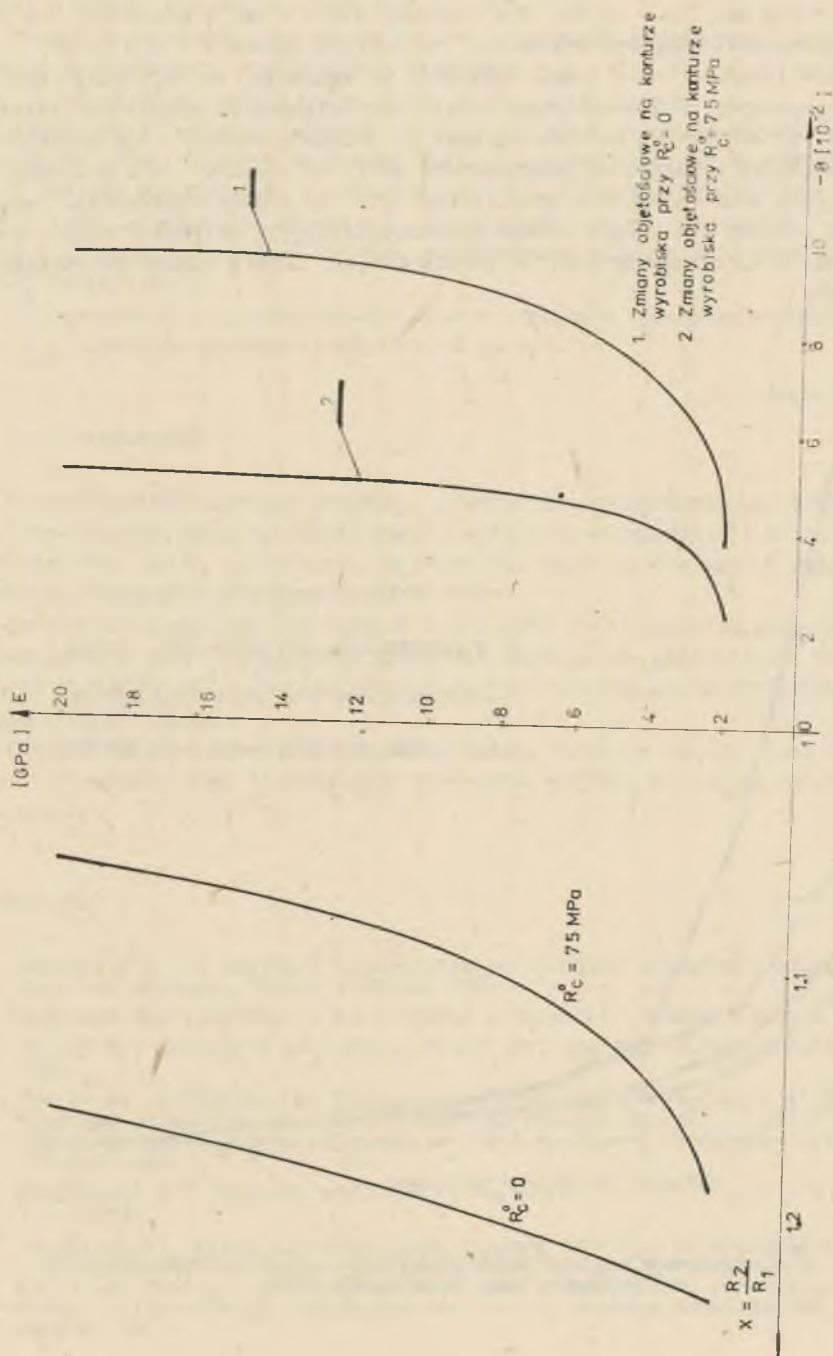
W przedstawionym rozwiązaniu zasadniczy wpływ na kształtowanie się przemieszczeń konturu wyrobiska posiada współczynnik  $K$ , charakteryzujący wzrost objętości skał. Jak wynika z zależności (6), wraz ze wzrostem wartości współczynnika  $K$  rośnie wielkość przemieszczeń konturu wyrobiska, a tym samym rośnie obciążenie obudowy. Wpływ podporności obudowy na kształtowanie się współczynnika wzrostu objętości skał i przemieszczeń masywu skalnego otaczającego wyrobisko korytarzowe rozpatrzono na przykładzie pomiarów we wschodnim chodniku taśmowym kopalni im. Zaszjadko [10]. Wyrobisko to wykonano przy użyciu kombajnu z przybierką stropu i spagu. Omawiane wyrobisko zlokalizowano na głębokości około 960 metrów. W stropie występował łupek ilasty o grubości 11 m, a w spagu łupek piaszczysty o grubości 6m. Wyrobisko wykonano w podatnej obudowie stalowej łukowej AP 5, a odległość między odrzwiami wynosiła 0,8 m. Pomiar przemieszczeń reperów konturowych i wgłębnych prowadzono na odcinku wyrobiska w obudowie AP 5 - odcinek kontrolny oraz na odcinkach wzmocnionej obudowy - odcinki badawcze o podporności 130, 180 i 240 kPa. Badania prowadzono przez 150 dni, w tym czasie przodek wyrobiska oddalił się na odległość około 1240 metrów od stacji pomiarowej. Na odcinku kontrolnym przemieszczenia reperów konturo-



Rys. 2. Kształtowanie się stref deformacyjnych wokół wyrobiska w zależności od modułu  $E$  i wytrzymałości  $R_C$

Fig. 2. Formation of deforming zones around the heading according to modulus  $E$  and strength  $R_C$

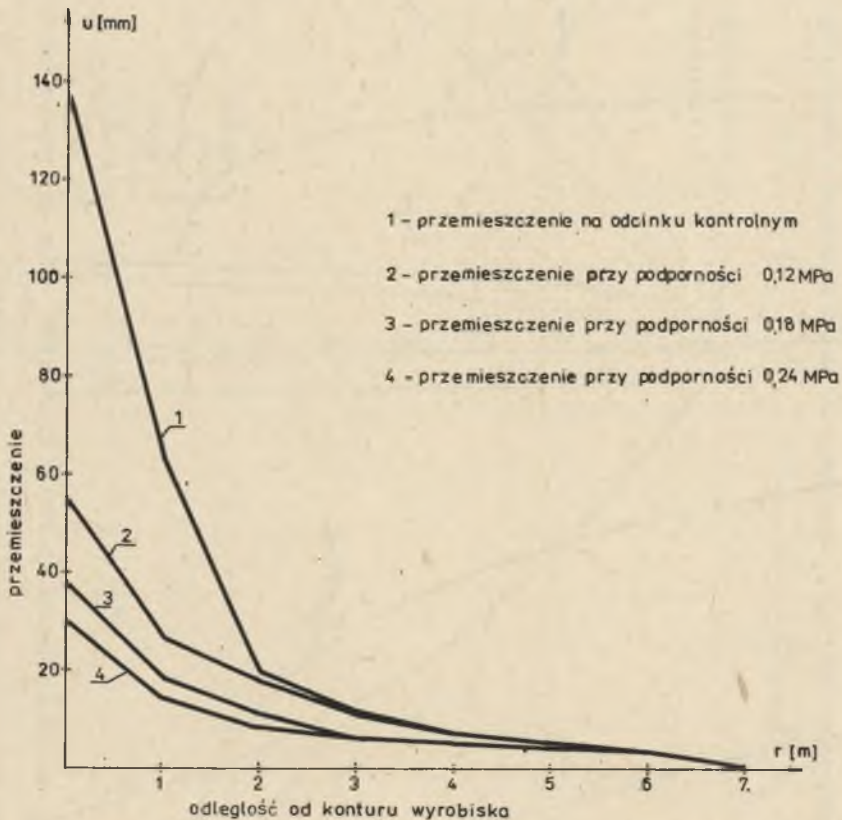




Rys. 3. Wykres zależności wielkości strefy sprężenia i zmian objętościowych od modułu  $E$  na podstawie obliczeń

Fig. 3. Diagram of the dependence of lozen zone magnitude and volumetric changes on modulus  $E$  on the base calculation.

wych i wglębnych w okresie, gdy przodek oddalił się na 350 m, wyniosły: kontur - 150 mm, 1 m - 64 mm, 2 m - 20 mm, 3 m - 9 mm, 4 m - 6 mm, 6 m - 2 mm. Rozwarstwienie skał wyniosło: na odcinku kontur - 1 m - 22 mm, 1 - 2 m - 18 mm, 2 - 3 - 5 mm. Wielkości te wskazują, że deformacje skał nie przekroczyły wielkości granicznych. Przy odległości stacji kontrolnej około 40 m od przodka deformacje skał na odcinku kontur - 1 m przekroczyły wartości odkształceń granicznych. Skały na odcinku 1 - 2 m uległy zniszczeniu przy odległości przodka ok. 70 m od stacji pomiarowej. Tak więc na odcinku kontrolnym strefa zniszczenia objęła pierścień skał o grubości ok. 2 m. Można przyjąć, że strefa ta jest strefą czasowego zniszczenia skał.



Rys. 4. Przebieg przemieszczeń skał stropowych we wschodnim chodniku taśmowym kop. "Zasjadka" [10]



Współczynnik wzrostu objętości skał w strefie czasowego zruszenia wynosił - 1.065, a w strefie sprężystej 1.004.

Wzrost podporności obudowy do 120 kPa spowodował zmniejszenie przemieszczeń na konturze i w odległości od wyłomu 1, 2, 3, 4, 6 i 8 m do 55, 27, 17, 8, 5, 2 mm, czyli 2,73; 2,37; 1,18; 1,12; 0 razy.

Współczynnik wzrostu objętości skał uległ zmniejszeniu w strefie odkształceń niesprężystych do 1.019, czyli 3,6 razy. Przy podporności obudowy 180 kPa współczynnik wzrostu objętości skał zmniejszył się do wartości 1.013 na konturze wyrobiska. Jak wykazały pomiary na odcinku badawczym o podporności obudowy 240 kPa, współczynnik wzrostu objętości nie uległ zmniejszeniu.

Kształtowanie się przemieszczeń skał w otoczeniu wyrobiska w zależności od podporności obudowy przedstawiono na rys. 4.

### 3. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono rozwiązanie pozwalające prognozować przemieszczenia skał otaczających wyrobisko korytarzowe przy uwzględnieniu pełnej charakterystyki  $\sigma - \varepsilon$ , otrzymanej na podstawie badań próbek skał w sztywnych maszynach wytrzymałościowych.

Na podstawie analizy otrzymanych zależności oraz przykładu pomiarów przemieszczeń skał otaczających wyrobisko korytarzowe stwierdzono, że wzrost objętości skał posiada zasadniczy wpływ na charakter współpracy obudowa-masyw skalny.

Stwierdzono, że wzrost podporności obudowy powoduje zmniejszenie stopnia rozluźnienia skał otaczających wyrobisko, głównie w strefie zniszczenia skał.

### LITERATURA

- [1] Bakłaszow I.W.: Kartozja - Mechanika podziemnych сооруżeń i konstrukcji krepiej. "Nedra", Moskwa 1984.
- [2] Бу́льчез N.S.: Mechanika podziemnych сооруżeń. "Nedra", Moskwa 1982.
- [3] Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1981.
- [4] Chudek M., Stefański L.: Obciążenia i naprężenia występujące w górotworze w otoczeniu wyrobisk ścianowych, resztek pokładów i filarów oporowych w kopalniach podziemnych. ZN Pol. Sl. s. Górnictwo z. 145, Gliwice 1985.
- [5] Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. Wyd. "Śląsk", Katowice 1982.
- [6] Podgórski K., Kleta H.: Obliczanie obudowy wyrobisk udostępniających i ich połączeń w warunkach deformacyjnych ciśnień górotworu. Mater. Konf. pt. "Wybrane problemy geomechaniki i budownictwa górniczego oraz eksploatacji złóż na dużych głębokościach". Komisja Górnicza PAN, Katowice, 1981.

- [7] Podgórski K., Kleta H.: Kryteria doboru obudowy dla połączeń wyrobisk korytarzowych. Mater. Konf. pt.: "Drażenie i utrzymywanie wyrobisk korytarzowych i komorowych w kopalniach na dużych głębokościach". Kokotek 1983.
- [8] Stavrogin A.N., Protosjenia A.G.: Plastyczność gornych porod. "Nedra", Moskwa 1979.
- [9] Pietuchow I.M. i inni: Przedotwraszczenie gornych udarów na rudnikach. "Nedra", Moskwa 1984.
- [10] Czernjak I.L., Burczakow Ju.I.: Uprawienie gornym dawaniem w podgotowitelnych wyrobkach głębokich szacht. "Nedra", Moskwa 1984.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Alfred Biliński

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1986 r.

#### ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ЗАЖИМ УЗКИХ ВЫРАБОТОК

##### Резюме

С увеличением глубины, на которой расположен штрек, растёт величина напряжения и деформации, которые сопособствуют росту объёма деформируемых скал и зажима крепи. В работе приведены теоретические основы прогнозирования величины зажима выработок на основе параметров заранее выявленных в процессе исследования.

Величину периметрических деформаций во внеграницной зоне с учётом объёмных изменений можно представить в следующем виде:

$$\epsilon_t = \frac{K}{r^2} \ln \frac{r}{r_2} + \frac{K}{2} \left( \frac{1}{r^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) + \epsilon_t^* \left( \frac{r_2}{r} \right)^2.$$

где:

$\epsilon_t$  – периметрическая упругая деформация,

$K$  – коэффициент объёмных изменений определяемый на основе замеров зажима выработок и расположения углублённых реперов,

$r_2$  – радиус зоны внеграницных деформаций,

$r$  – радиус, определяющий расположение рассматриваемой точки относительно оси выработки.

На основе этой зависимости определяется влияние объёмных изменений на зажим выработки. Необходимую величину коэффициента  $K$  можно определить используя результаты исследования образцов скал в т.н. жёстких испытательных машинах прочности.

## INFLUENCE OF VOLUMETRIC CHANGES ON DOG HEADING TIGHTENING

## S u m m a r y

The deeper dog heading, the bigger stress and deformation which cause the increase of deformed rock volume and of support tightening. In the paper the theoretical fundamentals of prediction of heading tightening magnitude have been given on the base of parameters taken from the tests.

The magnitude of circumferential deformation in the zone of behind limit rock deformation taking volumetric changes into account is expressed by:

$$\varepsilon_t = \frac{K}{r^2} \ln \frac{r}{r_2} + \frac{K}{2} \left( \frac{1}{r^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) + \varepsilon_t'' \left( \frac{r_2}{r} \right)^2,$$

where:

- $\varepsilon_t$  - circumferential elastic strain,
- K - coefficient of volumetric changes determined on the base of measuring heading tightening and bench-mark position,
- $r_2$  - radius of behind limit deformation zone,
- r - radius defining the position of examined point in relation to heading axis.

Making use of given dependence the influence of volumetric changes on heading tightening is determined. Volumetric change coefficient K can be also determined on the base of the results from rock specimen examinations in so-called rigid testing machines. The measurements and their analysis given in the paper have shown that also supporting ability of the support influences magnitude of volumetric changes.