

Zenon SZCZEPANIAK

Jan URBANČZYK

OKREŚLANIE KONCENTRACJI NAPRĘŻEŃ W SKAŁACH PRZYOCIOSOWYCH
ODGAŁĘŻEŃ WYROBISK KORYTARZOWYCH

Streszczenie. W pracy podano zależności pozwalające określić wielkość, rozkład i zasięg naprężeń ściskających występujących w skałach przyociosowych w rejonie połączenia wyrobisk korytarzowych. Zasięg naprężeń dodatkowych w ociosach wyrobiska korytarzowego można wyznaczyć wg wzoru:

$$s = m \cdot \frac{\sigma_{d \max}}{R_c} \cdot a,$$

a ich rozkład opisano funkcją:

$$Q_1 = \int_0^s \sigma_{d \max} \left[1 - \left(\frac{x}{s} \right)^n \right] dx,$$

gdzie:

- s - zasięg naprężeń dodatkowych,
- m i n - współczynniki uwzględniające własności fizykomechaniczne skał górotworu w otoczeniu rozpatrywanego wyrobiska,
- $\sigma_{d \max}$ - naprężenia dodatkowe równoważące ciężar Q , słupa skał zalegającego nad połową szerokości wyrobiska,
- a - połowa szerokości wyrobiska,
- R_c - durażna wytrzymałość na ściskanie skał górotworu w otoczeniu wyrobiska,

Zależności powyższe zostały ustalone po dokonaniu analizy wyników badań laboratoryjnych przeprowadzonych na modelach, w których odwzorowywano najczęściej spotykany w praktyce sposób połączenia poziomych wyrobisk korytarzowych, tj. odgałęzienie. Modele sporządzono uwzględniając kryteria podobieństwa modelowego przy wykorzystaniu do ich konstrukcji chemoutwardzalnych materiałów ekwiwalentnych.

Opierając się na wynikach przeprowadzonych badań określono warunki zachowania stateczności ociosów w rejonie połączenia wyrobisk korytarzowych oraz sformułowano wnioski odnośnie do wymagań dotyczących prawidłowości lokalizacji połączeń wyrobisk jak również ich gabarytów.

1. Wstęp

Jednym z istotnych zagadnień występujących w praktyce górniczej jest problem stateczności wyrobisk korytarzowych i ich połączeń, stanowiących ważne węzły głównych dróg transportowych i komunikacyjnych. Naroża występujące między łączącymi się wyrobiskami są miejscem koncentracji naprężeń,

stwarzających potencjalne niebezpieczeństwo ich rozgniatania, a tym samym zwiększenia obciążenia calizny w ociosach przeciwległych do naroża, co w konsekwencji może spowodować przyspieszone zaciskanie wyrobisk w rejonie ich połączenia.

Stąd istnieje konieczność ustalenia zasięgu, wielkości i rozkładu naprężeń występujących w górotworze w miejscu połączenia wyrobisk w celu dobrania odpowiedniego sposobu zabezpieczenia wyrobisk przed ich zaciskaniem.

2. Sposób ustalania naprężeń ściskających w ociosach połączenia wyrobisk korytarzowych w świetle badań modelowych

Ciążar skał zalegających nad wykonanymi wyrobiskami, w miejscu ich połączenia, przekazany zostaje na caliznę w narożu i w ociosach wyrobiska głównego i odgałęziającego się, przebiegających po obu stronach naroża.

Obciążenie to (wywołane ciężarem skał zalegających nad połową szerokości każdego z odgałęziających się wyrobisk) jest przyczyną powstania w ociosach wyrobisk i naroża naprężeń ściskających, tzw. dodatkowych w stosunku do naprężeń pierwotnych występujących w górotworze na głębokości wykonania połączenia wyrobisk.

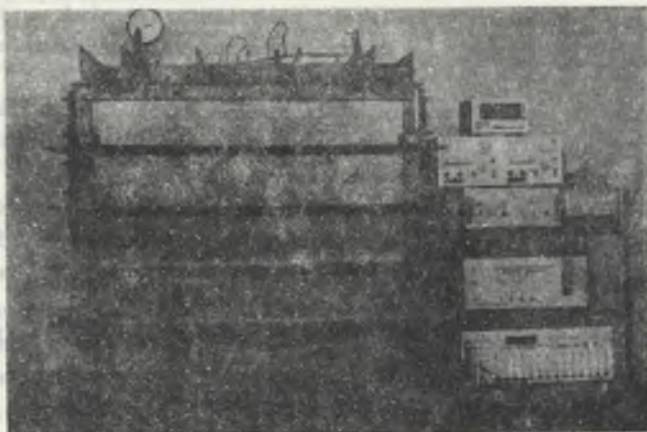
Zasięg, wielkość i rozkład ww. naprężeń dodatkowych ustalono na podstawie badań laboratoryjnych przeprowadzonych na modelach odwzorowujących odgałęzienie wyrobisk korytarzowych, przy przyjęciu następujących założeń:

- szerokość wyrobiska głównego i odgałęziającego się równa około 4 m,
- szerokość czoła naroża równa się około $0,5 \pm 0,8$ m,
- wysokość wyrobiska głównego i odgałęziającego się równa około 3 m,
- lokalizacja połączenia wyrobisk w uwarstwionych skałach średniozwięzłych ($R \cong 3 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$) i nieuwarstwionych zwięzłych ($R_c \cong 6 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$).

Modele sporządzono, uwzględniając kryteria podobieństwa modelowego, przyjmując skalę wymiarów liniowych α_1 jak 1:25. Do sporządzenia modeli użyto chemoutwardzalnego, szybkosprawnego materiału ekwiwalentnego [4]. Stanowisko do badań stępczości naroży i ociosów przy połączeniach poziomych wyrobisk korytarzowych wraz ze stosowaną aparaturą pomiarową przedstawiono na rys. 1.

Naprężenia pionowe w badanym modelu osiągnięto poprzez wtlaczanie, w sposób ciągły, powietrza pod odpowiednim ciśnieniem do poduszki gumowej umieszczonej pod górną płytą stalową stanowiska badawczego.

O wielkości i zasięgu naprężeń dodatkowych występujących w narożu i ociosach wyrobisk, w rejonie ich połączenia, wnioskowano na podstawie przemierzzeń górotworu, które rejestrowano czujnikami elektrooporowymi zabudowanymi w badanych modelach, przyjmując, że za naprężenia odpowiadające



Rys. 1. Stanowisko do badań stateczności połączeń poziomych wyrobisk udostępniających

Fig. 1. A stand for testing the stability of horizontal connections of development headings



Rys. 2. Badanie odgałężenia usytuowanego w zamodelowanych skałach - w stanowisku przedstawionym na rys. 1

Fig. 2. Testing of the branch situated in the modelled rocks - in the stand shown in fig. 1

danym odkształceniom uważa się - z pewnym przybliżeniem - stwierdzone wielkości naprężeń przy analogicznych odkształceniach próbek materiału użytego do sporządzenia modelu [6].

Na rys. 2 pokazano przykładowo zachowanie się skał w otoczeniu odgałęzienia w badanym modelu, w którym odwzorowano odgałęzienie zlokalizowane w skałach o $R_c \cong 3 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$.

Etap badań obrazuje łuszczenie się skał w narożu i w ociosach odgałęzienia po wystąpieniu w nich naprężeń przekraczających doraźną wytrzymałość zamodelowanych skał na ściskanie.

Przeprowadzone badania laboratoryjne na modelach oraz obserwacje dołowe pozwoliły określić wielkość, rozkład i zasięg naprężeń ścisających występujących w narożu i w przeciwległych do niego ociosach oraz ustalić kryteria ich stateczności.

O stateczności ociosów wyrobisk w rejonie ich połączenia decydują:

- własności fizykomechaniczne skał, w których zlokalizowano wyrobiska odgałęzienia,
- gabaryty wyrobisk odgałęzienia i zawartego między nimi naroża,
- wielkość obciążenia naroża i calizny w ociosach otaczających je wyrobisk,
- konstrukcja obudowy rzutuująca na jej podporność, podatność i współpracę z górotworem,
- rozwiązania techniczno-technologiczne w zakresie wykonawstwa połączenia wyrobisk i sposób ich zabezpieczenia przed zaciskaniem.

3. Obliczanie zasięgu i wielkości naprężeń w ociosach wyrobisk korytarzowych

Zasięg naprężeń dodatkowych w ociosach wyrobiska korytarzowego można - na podstawie przeprowadzonych badań - ustalić wg podanej zależności:

$$s = \mu \cdot m \cdot \frac{\sigma_{d \max}}{R_c} \cdot a, \quad (1)$$

gdzie:

- s - zasięg naprężeń dodatkowych,
- μ - współczynnik określający zasięg naprężeń dodatkowych w zależności od szerokości i wysokości wyrobiska,
- m - współczynnik uwzględniający własności fizykomechaniczne skał górotworu w otoczeniu rozpatrywanego wyrobiska, którego wartość przyjmuje się w granicach 1÷2.

W przypadku badanych modeli wielkość współczynnika m wynosiła około 1,5 - dla skał o $R_c \cong 3 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$, przy czym dla skał o $R_c > 3 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$ wartość współczynnika m dąży do 1,0,

- $\sigma_{d \max}$ - naprężenia dodatkowe,
- a - połowa szerokości wyrobiska,

R_c - doraźna wytrzymałość na ściskanie skał górotworu w otoczeniu wyrobiska.

Z przeprowadzonych badań [6] wynika, że wpływ współczynnika μ na zasięg naprężeń dodatkowych jest nieznaczny - przy ograniczonej szerokości wyrobisk - i wówczas jego wartość w zależności (1) można przyjąć równą 1,0, co pozwoli na jej przedstawienie w uproszczonej postaci wzoru (2)

$$s = m \frac{\sigma_{d_{\max}}}{R_c} \cdot a \quad (2)$$

Według przeprowadzonych badań wzór (2) w przypadku skał średniozwięzłych i zwięzłych zachowuje ważność przy szerokości wyrobiska do 8-10 m, dla której to szerokości przeprowadzono badania na modelach. Stąd zależność (2) może być wykorzystana dla wyznaczenia zasięgu naprężeń dodatkowych zarówno w ociosach korytarzowych wyrobisk nitkowych, połączeń wyrobiska, jak i w ociosach wyrobisk komorowych.

Maksymalna wielkość zasięgu naprężeń dodatkowych s występuje przy $\sigma_{d_{\max}} = R_c$ i tę wielkość przyjmuje się przy określeniu wartości $\sigma_{d_{\max}}$.

Dobór odpowiedniej funkcji opisującej - ustalony doświadczalnie - rozkład naprężeń dodatkowych przyjęto na podstawie następujących kryteriów:

- znana jest - na podstawie przeprowadzonych badań - wielkość s zasięgu naprężeń dodatkowych,
- znana jest - na podstawie przeprowadzonych badań - wielkość dodatkowych naprężeń ściskających w caliznie przy ociosach wyrobiska,
- wypadkowa naprężeń objętych krzywą funkcji na długości s liczonej względem ociosu wyrobiska równoważy ciężar Q_1 skupa skał o podstawie równej połowie szerokości wyrobiska i wysokości sięgającej do powierzchni ziemi lub do tzw. warstwy podporowej spełniającej warunki jak w pracy [3].

Z przeanalizowanych funkcji najbardziej właściwa dla opisanego rozkładu naprężeń dodatkowych w caliznie wyrobiska okazała się - na podstawie przeprowadzonych badań - zależność (3):

$$Q_1 = \int_0^s \sigma_{d_{\max}} \left[1 - \left(\frac{x}{s} \right)^n \right] dx \quad (3)$$

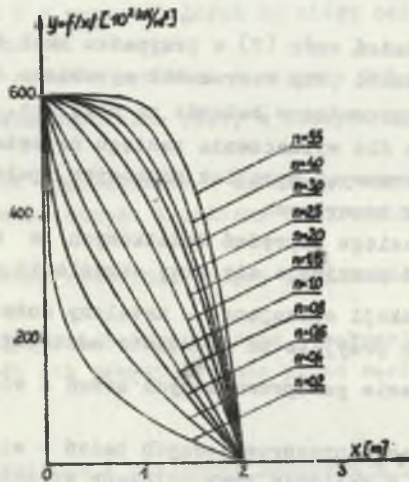
W powyższej zależności dla każdego warunków górniczo-geologicznych można dobrać odpowiednią krzywą (rys. 3) przy charakterystycznym dla nich parametrze n zależnym od rodzaju skały i wielkości $\sigma_{d_{\max}}$; ustalono, że dla skał o $R_c \approx 6 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$ wartość parametru n wynosi około 2, a dla skał o $R_c \approx 3 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$ - $n = 3,5$.

Stateczność ociosów wyrobiska zostanie zachowana, jeżeli spełniony będzie warunek (4)

$$\sigma_p + \sigma_{d_{\max}} < R_c, \quad (4)$$

gdzie:

σ_p - naprężenia pierwotne związane z głębokością lokalizacji wyrobisk.



Rys. 3. Wykres funkcji $y = \sigma_{d_{\max}} \left[1 - \left(\frac{x}{S} \right)^n \right]$ dla skał o $R_c = 6 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$ obrazujący rozkład naprężeń dodatkowych w zamodelowanych skałach, w otoczeniu ociosów odgałęziających się wyrobisk

Fig. 3. Diagram of the function $y = \sigma_{d_{\max}} \left[1 - \left(\frac{x}{S} \right)^n \right]$ for the rocks with $R_c = 6 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$ obligatory distribution of additional stresses in the modelled rocks in the vicinity of side walls of the branching excavations

Po przeprowadzeniu całkowania funkcji wyrażonej równaniem (3) i jej uwzględnieniu w zależności (4) uzyskuje się ostateczny wzór (5), określający stateczność ociosów w otoczeniu połączenia wyrobisk:

$$\sigma_{d_{\max}} = \frac{Q_1(n+1)}{S \cdot n} < R_c - \sigma_p \quad (5)$$

Wzór (3) opisuje rozkład dodatkowych naprężeń ściskających występujących w całym otoczeniu ociosów odgałęzienia przeciwległych do istniejącego w nim naroża.

Jak wynika z przeprowadzonych badań, wzór ten słuszny jest również dla określenia rozkładu naprężeń dodatkowych w ociosach samego naroża począwszy od odległości około 3÷5 m względem jego czoła.

Naroże na odcinku długości 3+5 m (licząc od czoła naroża) wskutek dużej koncentracji naprężeń ściskających może ulec rozgnieceniu, co z kolei spowoduje zwiększenie koncentracji naprężeń w przeciwniejszych do niego ociosach. Celem ograniczenia wielkości naprężeń ściskających występujących w ociosach wyrobisk odgałęzienia należy zastosować odpowiednie zabezpieczenie rozgniatanej części naroża w sposób umożliwiający przejmowanie przez skały, w odprężonym odcinku naroża, naprężeń o wielkości zbliżonej do naprężeń pierwotnych występujących na głębokości lokalizacji połączenia wyrobisk.

Rozwiązanie takie powinno zapewnić stateczność ociosów wyrobisk odgałęzienia, jeżeli naprężenia sumaryczne - w ociosach odgałęzienia przy czołe naroża - będą spełniały warunek wyrażony zależnością (4).

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych na modelach i dokonanych rozważań teoretycznych można wyciągnąć następujące wnioski:

- najczęstszą przyczyną deformacji odgałęzienia wyrobisk jest wystąpienie w ich ociosach sumarycznych naprężeń pierwotnych i dodatkowych o wielkości, która przekracza doraźną wytrzymałość na ściskanie skał zalegających w otoczeniu danego odgałęzienia,
- połączenie wyrobisk korytarzowych należy lokalizować w skałach związanych o R_c nie mniejszej od $3 \cdot 10^4 \pm 4 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$,
- szerokość odgałęzienia przed czołem naroża nie powinna przekraczać wielkości, przy której suma naprężeń pierwotnych i dodatkowych występujących w całości ociosów odgałęzienia, w miejscu największej jego szerokości, jest większa od doraźnej wytrzymałości na ściskanie skał otaczających odgałęzienie,
- czołową część naroża (na odcinku około 3+5 m licząc od jego czoła) należy zabezpieczyć przed nadmiernymi deformacjami tak, aby odprężona całość w tym odcinku naroża mogła przejmować naprężenia ściskające o wielkości zbliżonej do wartości naprężeń pierwotnych panujących na głębokości wykonania wyrobiska.

LITERATURA

- [1] Borecki M., Chudek M.: Mechanika górotworu. Wyd. Śląsk, Katowice 1972.
- [2] Chudek M.: Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wyd. Śląsk, Katowice 1972.
- [3] Galanka J.: Hipoteza sklepień wspornikowych w górotworze. Wyd. Śląsk, Katowice 1964.
- [4] Straś J., Urbanczyk J.: Masy szybkowiązące jako materiały ekwiwalentne do modelowania górotworu. ZN Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 68, 1975.

- [5] Szczepaniak Z.: Stan naprężeń w narożach połączeń podziemnych wyrobisk korytarzowych. ZN Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 7, 1963.
- [6] Urbańczyk J.: Stateczność naroży połączeń poziomych wyrobisk udostępniających. Praca doktorska (nie publikowana). Gliwice 1977.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Rułka

Wpłynęło do Redakcji w maju 1986 r.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРИТЁСОВЫХ СКАЛАХ ОТВЕТВЛЕНИЙ КОРРИДОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Р е з ю м е

В работе даны зависимости позволяющие определить величину, распределение и радиус сжимающих напряжений, выступающих в притёсовых скалах в районе соединения корридорных выработок. Радиус добавочных напряжений по осям корридорной выработки можно определить по формуле

$$s = \frac{\sigma_{d \max}}{R_c} \cdot a,$$

$$Q_1 = \int_0^s \sigma_{d \max} \left[1 - \left(\frac{x}{s} \right)^n \right] dx,$$

где:

- s — радиус добавочного напряжения,
- m и n — коэффициенты учитывающие физико-механические свойства скал горообразования в пределе рассматриваемой выработки,
- $\sigma_{d \max}$ — добавочные напряжения уравнивающие вес столба скал залегающего над половиной ширины выработки,
- a — половина ширины выработки,
- R_c — коэффициент сопротивления на сжатие скал горообразования в пределе выработки.

Показанные зависимости определены после анализа результатов лабораторных модельных исследований. Модели построены с учётом критериев подобия с использованием для их постройки химически затвердевающих пластмасс в качестве эквивалентных материалов.

На основе проведённых исследований определено условие равновесия стены выработки в области соединения корридорных выработок а также сформулированы выводы в отношении требований, касающихся правильности локализации соединений выработок и их габаритов.

DETERMINATION OF STRESS CONCENTRATION IN THE SIDE-WALL ROCKS OF THE BRANCHES OF DOG HEADINGS

Summary

In the paper given the dependences which permit to determine the quantity, distribution and range of the compressive stresses occurring in side-wall rocks in the region of dog heading junctions.

The range of the additional stresses in the side walls of a dog heading may be determined from the formula:

$$s = m \cdot \frac{\sigma_{d \max}}{R_c} \cdot a,$$

while their distribution is described by the function:

$$Q_1 = \int_0^s \sigma_{d \max} \left[1 - \frac{x}{s} \right]^n dx,$$

where

- s - range of additional stresses,
- m - coefficients considering the physical-mechanical properties of the rocks in the vicinity of the particular excavation,
- $\sigma_{d \max}$ - additional stresses compensating the weight Q_1 of the rock column deposited over one half of the excavation width,
- a - one half of the excavation width,
- R_c - immediate compressive strength of the rock mass in the vicinity of the excavation.

The above dependences have been established after an analysis of laboratory test results carried out on models in which a method of connecting the horizontal dog headings, i.e., branching most frequently seen in practice, has been represented. The models were made with due consideration to the criterion of model similarity using chemosetting equivalent materials for the construction.

Basing on the results of the conducted studies, the condition of stability of side walls in the region of dog heading junctions has been determined, and the conclusions in relation to the requirements on the correctness of the location of dog heading junctions, as well as their dimensions, have been formulated.