

Josef ALDORF

Wyższa Szkoła Górnicza  
Ostrava, CSRS

O PEWNYCH REZULTATACH STUDIÓW NAD WPŁYWEM  
ODKSZTAŁCENIOWEJ ANIZOTROPII SKAŁ  
NA STATECZNOŚĆ OBUDOWY

Streszczenie. W artykule przedstawiono niektóre wyniki badań wpływu anizotropii górotworu na wielkość sił wewnętrznych w obudowie i obciążenia obudowy, które uzyskano za pomocą metod modelowych dla ośrodka transwersalnie izotropowego.

Podano zależność uwzględniającą zwiększenie obciążenia obudowy pod wpływem anizotropii skał przy różnym nachyleniu warstw górotworu.

W oparciu o podaną w pracy analizę przyjętych modeli górotworu ustalono empiryczno-analityczne zależności pozwalające określić konwergencje i obciążenie obudowy wyrobisk górniczych. Wpływ anizotropii skał i obciążenia obudowy ujęto zależnością:

$$q = k \cdot q_{(n=1)}$$

gdzie:

$q$  - obciążenie obudowy przy uwzględnieniu anizotropii skał,

$q_{(n=1)}$  - obciążenie obudowy dla  $n = \frac{E_1}{E_2} = 1$ ,

$E_1, E_2$  - moduły sprężystości górotworu,

$k$  - współczynnik,

$$k = \left\{ \left[ 0,998 + 0,144 - 0,737 \cdot \beta^2 + 0,265 \beta^3 \right] \right. \\ \left. \left[ 0,044 + 1,02 \frac{E_1}{E_2} - 0,072 \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^{0,6} \right] \right\}^{-1}$$

$\beta$  - kąt nachylenia warstw w radianach.

Jedną z najważniejszych własności skał i górotworu jest anizotropia mechaniczna jako skutek ich fizycznej niejednorodności i budowy strukturalnej. Anizotropię w ogólnym fizycznym pojęciu rozumiemy jako zmianę kierunkową jednej lub kilku własności skały lub górotworu związaną z uprzednim uporządkowaniem albo zorientowaniem elementów niejednorodności. W tym sensie anizotropia jest zatem przejawem genezy tekstury i struktury skał.

Z punktu widzenia wagi wpływu anizotropii na procesy deformacyjne i związane z oddziaływaniem sił w górotworze największe znaczenie ma studium nad wpływem anizotropii na odkształceniowe i wytrzymałościowe własności skał.

Celem niniejszego artykułu jest przytoczenie niektórych wyników badań wpływu odkształceniowej anizotropii górotworu na wielkość sił wewnętrznych w obudowie i obciążenia obudowy, które uzyskano na podstawie studium parametrycznego przeprowadzonego dla ośrodka transwersalnie izotropowego, charakterystycznego zwłaszcza dla skał osadowych i niektórych skał metamorficznych.

Dla uzyskania roboczej bazy odniesienia przyjęto model ośrodka transwersalnie izotropowego charakteryzowany:

- modułem sprężystości  $E_1$  i liczbą Poissona  $\mu_1$  opisującymi własności w płaszczyźnie (warstwie) izotropii,
- modułem sprężystości  $E_2$  i liczbą Poissona  $\mu_2$  opisującymi własności w kierunku prostopadłym do płaszczyzny (warstwy) izotropii,
- kątem  $\beta$  zawartym pomiędzy lokalnym ( $x', y'$ ) a globalnym ( $x, y$ ) układem współrzędnych, który charakteryzuje nachylenie warstw.

Do obliczeń wykorzystano program HYBRID umożliwiający modelowanie współpracy i współdziałania elementów płaskich i prętowych. Wyrobisko o kształcie opisanym symbolem OG-0-08 w obudowie z elementów profilowanych K 21 zostało zamodelowane w kształcie wielokąta z wykorzystaniem 14 prętów połączonych w 15 węzłach. Deformacja skał była przenoszona na obudowę całkowitą. Warunki brzegowe zostały tak dobrane, aby nie dochodziło do zniszczenia skały oraz aby zachowana zostały warunki statyczne położenia obudowy w górotworze. Moduły sprężystości górotworu były zmieniane w stosunku:

$$n = \frac{E_1}{E_2} = 1,8,$$

nachylenia warstw w przedziale  $0^\circ$ - $90^\circ$ .

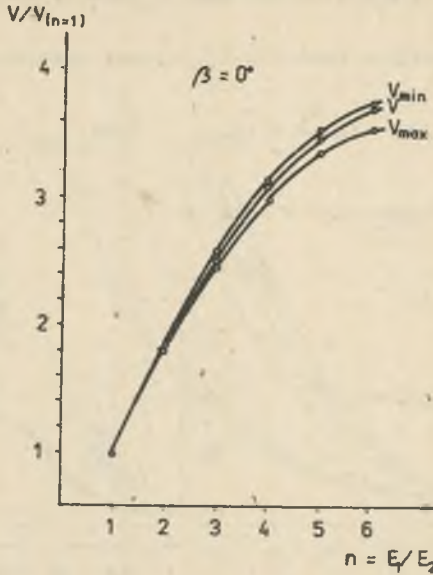
#### WYNIKI STUDIUM PARAMETRYCZNEGO

Celem oceny wyników najpierw rozwiązywano porównawczy model izotropowy ( $n = 1$ ), do którego odnoszono wszystkie uzyskane wyniki.

1. Wpływ anizotropii na wielkość odkształcenia (przemieszczenie pionowe) został przedstawił na rys. 1 i 2. Wykorzystując analizę regresyjną uzyskano wzór na wielkość maksymalnego pionowego przemieszczenia w stropie wyrobiska (przy  $\beta = 0^\circ$ )

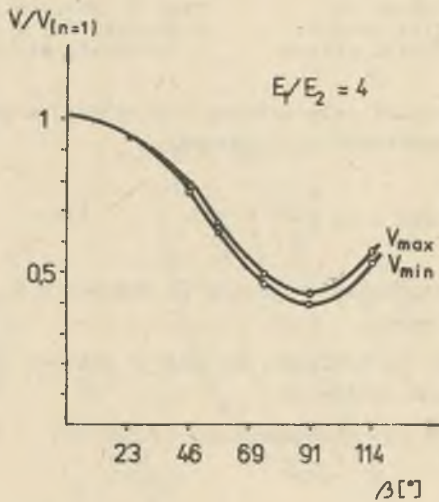
$$V_{\max} = V_{(n=1)} \cdot \left[ 0,044 + 1,02 \cdot \frac{E_1}{E_2} - 0,072 \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^2 \right] \quad (a)$$

Wpływ nachylenia warstw dla  $n = 4$  charakteryzuje wykres na rys. 2.



Rys. 1. Wpływ zmiany wartości stosunku  $n$  na wielkość pionowego przemieszczenia skał w stropie dla warstw poziomo zalegających

Fig. 1. Influence of ratio  $n$  change on vertical displacement of rocks in a roof for horizontal strata



Rys. 2. Wielkość pionowego przemieszczenia skał w stropie dla  $n = 4$  w zależności od zmiennego nachylenia warstw

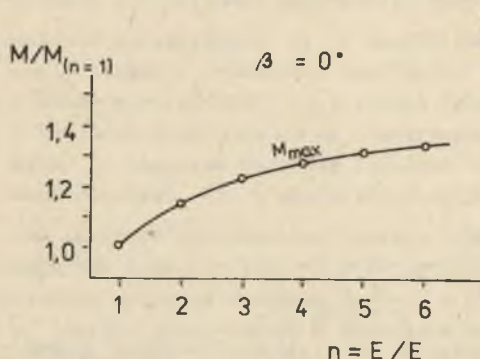
Fig. 2. Vertical rock displacement in a roof for  $n = 4$  depending on variable strata inclination

2. Wpływ anizotropii na wielkość sił wewnętrznych w obudowie przedstawiają rysunki 3-6.

Dla  $\beta = 0^\circ$  przy maksymalnym momencie zginającym obowiązuje zależność:

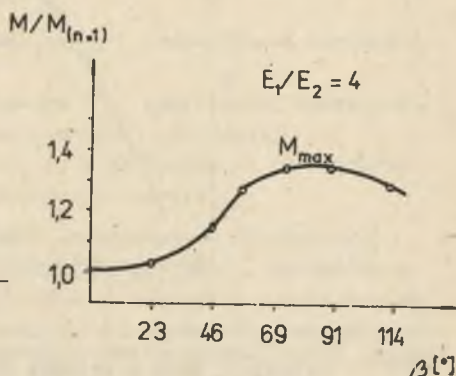
$$M_{\max} = M_{(n=1)} \cdot (0,19 \cdot \lg \frac{E_1}{E_2} + 1), \quad (\text{kNm})$$

gdzie znana jest wielkość momentu  $M$  dla  $n = 1$ .



Rys. 3. Wpływ zmiany wartości stosunku  $n$  na wielkość maksymalnego momentu zginającego w obudowie dla warstw poziomo zalegających

Fig. 3. Influence of ration  $n$  change on maximum bending moment in a support for horizontal strata



Rys. 4. Wielkość maksymalnego momentu zginającego w obudowie dla  $n = 4$  w zależności od zmiennej nachylenia warstw

Fig. 4. Maximum bending moment in a support for  $n = 4$  depending on Variable strata inclination

Dla określenia wielkości siły osiowej (normalnej) w punkcie działania maksymalnego momentu wyprowadzono zależność:

$$N = N_{(n=1)} \cdot (0,216 \cdot \lg \frac{E_1}{E_2} + 0,99) \quad (\text{kN})$$

Wpływ nachylenia warstw jest widoczny na rysunkach 5 i 6, które umożliwiają kwantyfikowanie oceny.

3. Wpływ anizotropii na wielkość obciążenia obudowy był badany przy założeniu, że obowiązuje zależność

$q = f(v)$  przy jednocześnie obowiązującej zależności

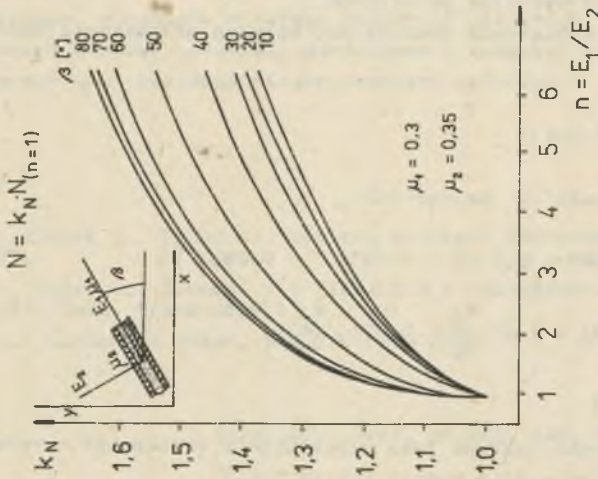
$v = q(b)$ ,

gdzie:

$q$  - obciążenie obudowy,

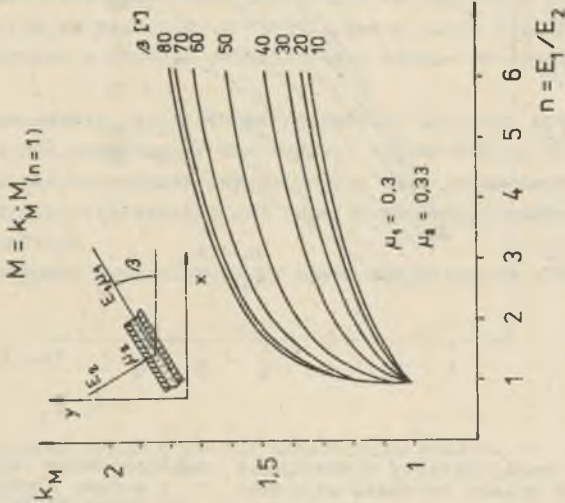
$v$  - przemieszczenie pionowe stropu wyrobiska,

$b$  - wielkość niesprężystości odkształcającej się strefy skał w stropie wyrobiska.



Rys. 6. Wykres umożliwiający wyznaczenie siły osiowej (normalnej) w miejscu działania maksymalnego momentu zginającego

Fig. 6. Diagram allowing to determine axial force (normal) in the point of maximum bending moment action



Rys. 5. Wykres umożliwiający wyznaczenie wielkości maksymalnego momentu zginającego w obudowie w zależności od różnych wartości stosunku  $n$  i zmiany nachylenia warstw

Fig. 5. Diagram allowing to determine maximum bending moment in a support depending on different values of ratio  $n$  and a change of strata inclination

Przedstawione zależności tworzą podstawę empiryczno-analitycznych metod wykorzystywanych u nas i za granicą dla określenia konwergencji i obciążenia obudowy wyrobisk górniczych.

Związek obciążenia obudowy pod wpływem anizotropii skał podaje zatem zależność:

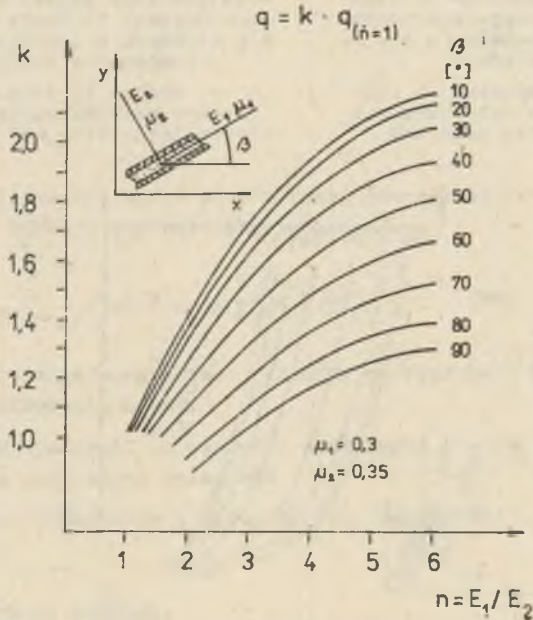
$$q = k \cdot q_{(n=1)},$$

gdzie współczynnik  $k$  ma wartość:

$$k = \left[ (0,998 + 0,144\beta - 0,737\beta^2 + 0,265\beta^3) \cdot (0,044 + 1,02 \frac{E_1}{E_2} - 0,072 \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^2) \right]^{0,6}$$

( $\beta$  - rad)

i można go charakteryzować jako współczynnik obciążenia wyrażający wpływ anizotropii i nachylenia warstw (patrz rys. 7).



Rys. 7. Wykres umożliwiający wyznaczenie współczynnika obciążenia  $k$  w zależności od zmiany wartości stosunku  $n$  i zmiany nachylenia warstw

Fig. 7. Diagram allowing to determine load factor  $k$  depending on the change of ratio  $n$  and of strata inclination

## ZAKOŃCZENIE

Uzyskane wyniki potwierdzają, że anizotropia (w danym przypadku transwersalna izotropia) górotworu wyraźnie wpływa na wielkości, które decydują o stateczności obudowy wyrobiska górniczego i może być w niektórych przypadkach przyczyną powstania niebezpiecznych sytuacji.

## LITERATURA

- [1] Šiška L., Aldorf J., Exner K.: Základy hornické geotechniky. SNTL, Praha 1979.
- [2] Aldorf J., Exner K., Škrabiš A.: Stabilita a vyztužování dlouhých dulních děl, SNTL, Praha 1979.
- [3] Saferna M.: Diplomová práce. VŠB, Ostrava 1983.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Mirosław Chudek

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1985 r.

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ  
ДЕФОРМАЦИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ СКАЛ НА УСТОЙЧИВОСТЬ КРЕПИ

## Р е з ю м е

В работе представлены некоторые результаты исследований влияния анизотропии горных пород на величину внутренних сил в крепи и нагрузки крепи, которые были получены с помощью моделирования среды траверсально изотропной.

Приведена зависимость, учитывающая увеличение нагрузки крепи от влияния анизотропии скал при различных углах наклона горных пород. На основе анализа приведенных в работе моделей горных пород, были установлены эмпирико-аналитические зависимости позволяющие определить конвергенцию и нагрузку крепи горных выработок.

Влияние анизотропии скал и нагрузки крепи представлено в виде следующей зависимости:

$$q = k \cdot q(n=1)$$

где:

$q$  — нагрузка крепи с учётом анизотропии скал;

$q(n=1)$  — нагрузка крепи при  $n = \frac{E_1}{E_2} = 1$ ;

$E_1, E_2$  — модули упругости горных пород;

$k$  - коэффициент;

$$k = \left\{ [0,998 + 0,144 - 0,737 \cdot \beta^2 + 0,265 \beta^3] \right. \\ \left. [0,044 + 1,02 \frac{E_1}{E_2} - 0,072 \frac{E_1}{E_2}] \right\}$$

$\beta$  - угол наклона толщ в радианах.

#### SOME RESULTS OF STUDIES ON INFLUENCE OF DEFORMATION ANISOTROPY OF ROCKS ON SUPPORT STABILITY

##### Summary

In the paper some results of studies on influence of rock anisotropy on inner force magnitude in a support and support load have been presented. The results have been achieved by means of model methods for transversally isotropic medium.

Given dependence considers increased load of the support under the influence of rock anisotropy at different rock layer inclination. On the base of presented analysis of rock models the dependences which allow to determine convergence and load of mining supports have been worked out empirically and analytically.

Influence of rock anisotropy and support load is expressed by:

$$q = k \cdot q_{(n=1)}$$

where:

$q$  - support load considering rock anisotropy,

$q_{(n=1)}$  - support load for  $n = \frac{E_1}{E_2} = 1$

$E_1, E_2$  - modulus of rock elasticity

$k$  - factor

$$k = \left\{ [0,998 + 0,144 - 0,737 \cdot \beta^2 + 0,265 \beta^3] \right. \\ \left. [0,044 + 1,02 \frac{E_1}{E_2} - 0,072 \frac{E_1}{E_2}] \right\}$$

$\beta$  - angle of strata inclination in radians.