ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Nr 103 Górnictwo z.8 1964

KAZIMIERZ PODGÓRSKI

OKREŚLENIE RODZAJU PRZEPŁYWU WODY PRZEZ WODOPRZEPUSZCZALNĄ MUROWĄ OBUDOWĘ SZYBU

Streszczenie. W pracy podano sposób ustalenia granicznego spadku ciśnienia ΔP_g, granicznego promienia pierścienia obudowy szybu - przy którym laminarny ruch wody przechodzi w burzliwy. Promień graniczny r_g można obliczyć z wzorów podanych w pracy i z nomogramu.

1. Wstęp

W praktyce górniczej często spotykamy górotwór zawodniony, w którym wykonywane są szyby w obudowie: murowej, żelbetowej, tubingowej. Spośród wykonywanych szybów w wymienionych obudowach najbardziej wodoprzepuszczalną jest obudowa murowa.

W górotworze zawodnionym na murową obudowę szybu działa ciśnienie wody, jakie się ustali w wyniku spływu wody do szybu z warstw górotworu. W zależności od wodoprzepuszczalności obudowy, wodoprzepuszczalności zawodnionych skał (ciśnienia wody i zasobów wody w warstwach skalnych) na murową obudowę szybu, woda może wywierać ciśnienie:

a) równe ciśnieniu wody w warstwie skalnej (przed wykonaniem szybu) - w przypadku, gdy obudowa jest wodoszczelna i stan ciśnienia wody nie został naruszony podczas głębienia szybu lub przy wykonywaniu innych wyrobisk górniczych,

b) mniejsze - o spadek ciśnienia, który zostaje zużyty na pokonanie oporów przepływu wody z warstw górotworu do zewnętrznej powierzchni ścianki wodoprzepuszczalnej obudowy szybu,

c) zbliżone do zera - gdy ustali się taki stan, w którym opory ruchu (np. tarcia, sił przyciągających wodę na kontaktach ziarn i cząstek skalnych) będą przeciwdziałały ciśnieniu wody wzdłuż drogi przepływu,

d) równe zero - gdy górotwór ulegnie w danym miejscu osu szeniu.

Im obudowa jest więcej wodoprzepuszczalna, w stosunku do wodoprzepuszczalności warstw górotworu, tym mniejsze jest ciśnienie wody na obudowę szybu. W zależności od ciśnienia wody, współczynnika wodoprzepuszczalności, grubości obudowy woda może przepływać przez ścianki murowej obudowy szybu ruchem laminarnym lub burzliwym.

2. Zależności między laminarnym i burzliwym ruchem wody przepływającej przez murową obudowę szybów

Przy przepływie ruchem laminarnym strata ciśnienia na je dnostkę długości drogi przepływu, przy średniej prędkości v, jest wprost proporcjonalna do współczynnika K_1 oraz do prędkości [1].
Współczynnik K_1 jest stosunkiem ciężaru objętościowego wody do współczynnika wodoprzepuszczalności k

$$K_1 = \frac{\gamma_w}{k} \left(\frac{\frac{kG}{cm^3}}{\frac{cm}{sek}}\right) \tag{1}$$

Wzór na spadek ciśnienia na jednostkę długości drogi przepływu, przy przepływie wody ruchem laminarnym ma postać:

$$\Delta P_1 = K_1 \cdot v_1 \tag{2}$$

Gdy przepływ wody odbywa się ruchem burzliwym, to strata ciśnienia ΔP_b na jednostkę długości drogi przepływu jest proporcjonalna do współczynnika K, średniej prędkości v_b do potęgi "m" wykładnika ruchu burzliwego, co wyraża się na stępującym wzorem:

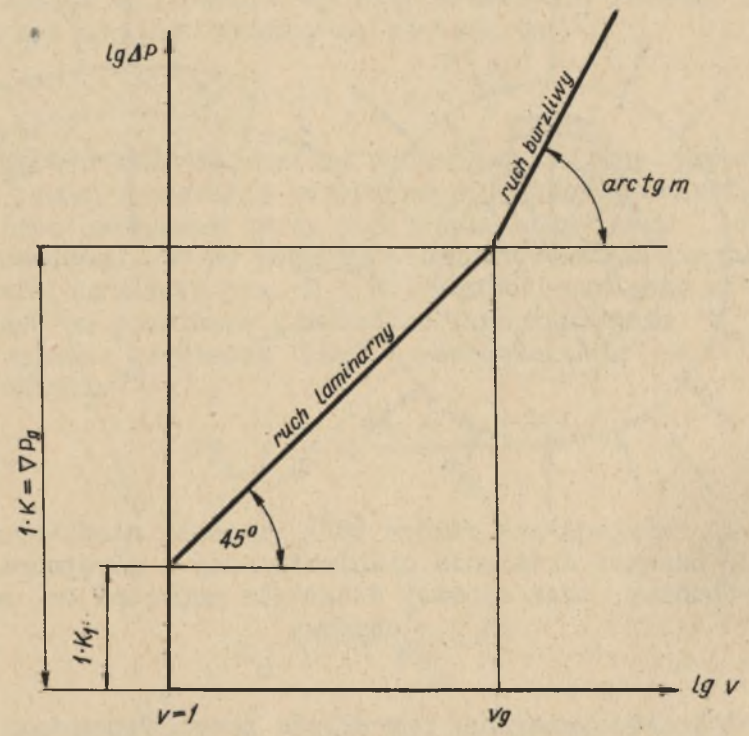
$$\Delta P_b = K \cdot v_b^m \tag{3}$$

Po zlogarytmowaniu wzoru (2) i (3) otrzymano:

$$\lg \Delta P_l = \lg K_l + \lg v_l \qquad (4)$$

$$\lg \Delta P_b = \lg K + m \lg v_b \qquad (5)$$

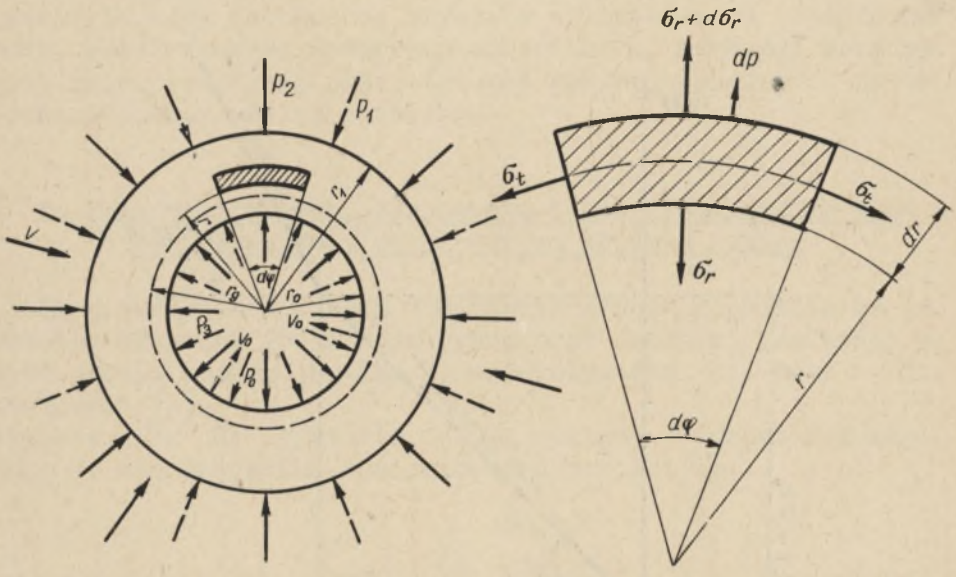
Sporządzony w oparciu o powyższe wzory wykres w układzie osi o podziałce logarytmicznej, przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Zależność spadku ciśnienia od prędkości przepływu wody ruchem laminarnym i burzliwym (w układzie logarytmicznym)

Z rysunku 1 wynika, że współczynnik proporcjonalności K odpowiada granicznemu spadkowi ciśnienia ΔP_g, przy którym ruch laminarny przechodzi w burzliwy. Przy przepływie ruchem burzliwym, spadek ciśnienia na drodze "dr" wyniesie:

$$dp_b = K \cdot v^m \cdot dr \tag{6}$$



Rys. 2. Schemat działania ciśnienia wody i górotworu na pierścień obudowy oraz schemat działania naprężeń w segmencie obudowy

Spadek ciśnienia przy przepływie przez segment obudowy (rys. 2) jest zmienny, ponieważ zmienia się wzdłuż promienia przekrój przepływu. Z uwagi na to, że ilość przepływającej wody w danych warunkach jest stała, a zmiana przekroju przepływu jest proporcjonalna do promienia, wynika stąd następująca zależność:

$$v = \frac{v_o \cdot r_o}{r} \tag{7}$$

gdzie:

v_o - średnia prędkość wypływu wody z obudowy szybu.

Po wstawieniu (6) w (7) otrzymano wzór na spadek ciśnienia przy przepływie wody przez segment obudowy ruchem burzliwym, co wyraża się następującym równaniem:

$$dp = K \cdot (v_o \cdot r_o)^m \cdot \frac{dr}{r^m} \tag{8}$$

Wzór na spadek ciśnienia wody przy przepływie ruchem laminarnym przez segment obudowy ma postać:

$$dp = K_1 \cdot v_o \cdot r_o \frac{dr}{r} \tag{9}$$

W związku z tym, że wraz ze zmniejszaniem się promienia r i r_o maleje przekrój przepływu a prędkość wzrasta, może zaistnieć przypadek (przy przepływie wody przez grubościenną obudowę), że od pewnego promienia (granicznego) r_g ruch będzie burzliwym rys. 2 i 3. Promień graniczny r_g można obliczyć na podstawie ustalonego laboratoryjnie granicznego spadku ciśnienia ∇P_g z równania (10) po jego przekształceniu

$$\nabla P_g = \frac{dp}{dr} = \frac{K_1 \cdot v_o \cdot r_o}{r_g} \tag{10}$$

Z przekształcenia równania (10) wynika następująca zależność:

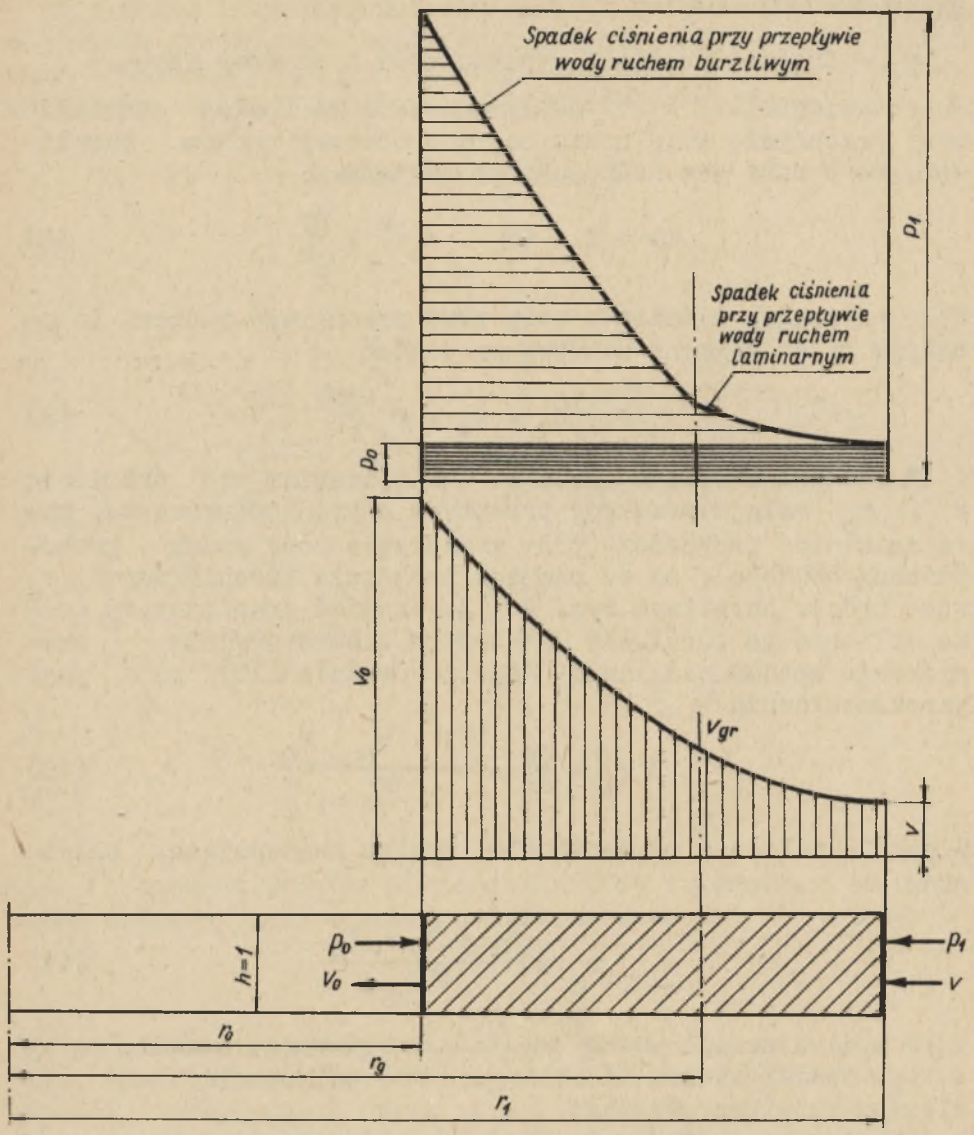
$$r_g = \frac{K_1 \cdot v_o \cdot r_o}{\nabla P_g} \tag{11}$$

W wyniku przepływu od r_1 do r_g ciśnienie spadnie od p_1 do p_g. Spadek ciśnienia obliczono po scałkowaniu wzoru (9) dla warunków brzegowych:

$$r = r_1 \text{ to } p = -p_1$$

$$r = r_g \text{ to } p = -p_g$$

$$\int_{-p_g}^{-p_1} dp = \int_{r_g}^{r_1} K_1 \cdot v_o \cdot r_o \frac{dr}{r} \tag{12}$$



Rys. 3. Przebieg wzrostu prędkości przepływu wody i spadku ciśnienia wody, przy przepływie ruchem laminarnym i burzliwym

Z przekształcenia wzoru (12) otrzymano:

$$-(p_1 - p_g) = K_1 \cdot v_o \cdot r_o \ln \frac{r_1}{r_g} \tag{13}$$

Po wstawieniu równania (10) do równania (13) otrzymano:

$$-(p_1 - p_o) = \nabla P_g \cdot r_h \cdot \ln \frac{r_1}{r_g} \tag{14}$$

Przepływająca woda od r_g do r_o przepływa ruchem burzliwym, a wynikający stąd spadek ciśnienia obliczono po scałkowaniu równania (8) dla warunków brzegowych:

$$r = r_g \quad \text{to} \quad p = -p_g$$

$$r = r_o \quad \text{to} \quad p = -p_o$$

skąd otrzymano:

$$\int_{p_o}^{-p_g} dp = \int_{r_o}^{r_g} K(v_o \cdot r_o)^m \cdot \frac{dr}{r^m}$$

$$-(p_g - p_o) = \frac{K(v_o \cdot r_o)^m}{1-m} (r_g^{1-m} - r_o^{1-m}) \tag{15}$$

Po wstawieniu równania (10) do równania (15) i przyjęciu, że:

$$K \sim \nabla P_g;$$

otrzymano:

$$p_g - p_o = -\frac{\nabla P_g}{1-m} \cdot \left(\frac{r_g \cdot \nabla P_g}{K_1}\right)^m \cdot \left(\frac{1}{r_g^{m-1}} - \frac{1}{r_o^{m-1}}\right) =$$

$$= -\frac{\nabla P_g^{m+1} \cdot r_g^m}{(m-1)K_1^m} \cdot \frac{r_g^{m-1} - r_o^{m-1}}{(r_o \cdot r_g)^{m-1}} \tag{16}$$

Po dodaniu równania (14) do równania (16) otrzymano wzór na spadek ciśnienia przy przepływie wody przez ściankę obudowy ruchem laminarnym i burzliwym:

$$p_1 - p_o = -\nabla P_g \cdot r_g \cdot \ln \frac{r_1}{r_g} - \frac{r_g^m \cdot \nabla P_g^{m+1}}{K_1^m (m-1)} \cdot \frac{r_g^{m-1} - r_o^{m-1}}{(r_g \cdot r_o)^{m-1}} \qquad (17)$$

W celu łatwiejszego rozwiązania równania (17) podzielono je przez r_o i podstawiono za:

$$\frac{r_1}{r_o} = x_o; \quad \frac{r_g}{r_o} = x_g; \quad a = \frac{p_1 - p_o}{r_o \cdot \nabla P_g}; \quad b = \frac{\nabla P_g}{K_1^m (m-1)} \qquad (18)$$

Przyjęto również przeciwny zwrot kierunku spadku ciśnienia dp pokazanego na rysunku 2.

Po podstawieniu oznaczeń z równań (18) do równania (17) i jego przekształceniu otrzymano:

$$x_g \cdot \ln \frac{x_o}{x_g} = a - b \cdot x_g^m \cdot \frac{x^{m-1} - 1}{x_g^{m-1}} \qquad (19)$$

Występujące w równaniu (19) wyrażenie $b \cdot x_g^m \frac{x_g^{m-1}}{x_g^{m-1}}$ jest wielkością małą i dla otrzymania przybliżonej wartości x_g można go pominąć.

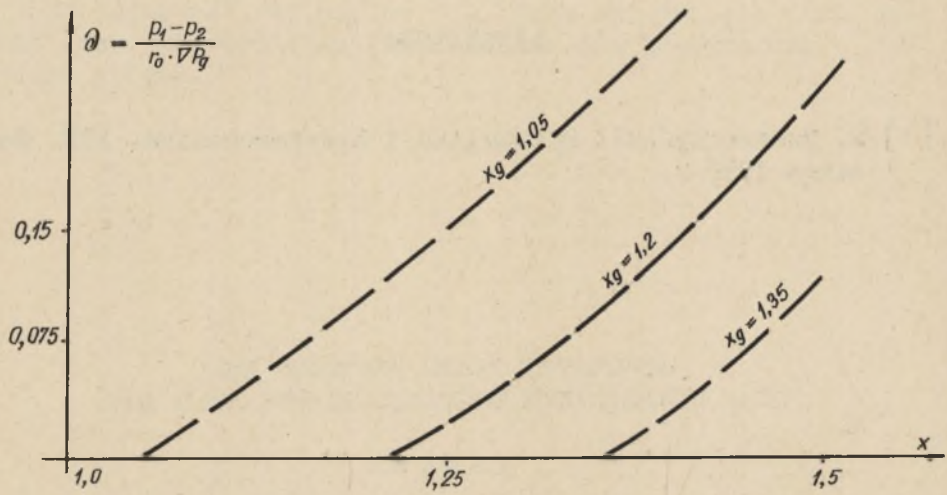
Równanie (19) przyjmie postać:

$$a \approx x_g \cdot \ln \frac{x_o}{x_g} \qquad (20)$$

W oparciu o uproszczone równanie (20) wykreślono nomogram (rys. 4), pozwalający w przybliżeniu wyznaczyć promień graniczny na podstawie obliczonych dla konkretnego przypadku wartości a i x_o z równań (18).

Po odczytaniu z nomogramu (rys. 4) przybliżonej wielkości x_g można podstawiając ją do równania (19) drogą kolejnych przybliżeń wyznaczyć rzeczywistą wielkość stosunku promienia granicznego do promienia wewnętrznego szybu.

Jeżeli obliczony promień graniczny będzie mniejszy od promienia wewnętrznego obudowy r_0, to wówczas mamy do czynienia z ruchem laminarnym. Jeżeli zaś promień graniczny będzie zawarty między promieniem wewnętrznym r_0, zewnętrznym r_1, wówczas mamy do czynienia z ruchem laminarnym i burzliwym. Jeżeli natomiast promień graniczny będzie większy od promienia zewnętrznego, wówczas mamy do czynienia z ruchem burzliwym.



Rys. 4. Nomogram do wyznaczania promienia granicznego szybu

3. Wnioski końcowe

1. W zależności od ciśnienia wody za obudową, wymiarów poprzecznych szybu, własności materiału obudowy, woda może przepływać: ruchem laminarnym, laminarnym i burzliwym, lub ruchem burzliwym.

2. W związku z tym, że przekrój przepływu wody przez obudowę, w kierunku osi szybu zmniejsza się, a prędkość przepływającej wody wzrasta, może zaistnieć przypadek, że woda będzie przepływała przez obudowę ruchem laminarnym w stre-

fie zewnętrznej obudowy i ruchem burzliwym w strefie wewnętrznej obudowy.

3. Wzory podane w niniejszej pracy - dotyczące ruchu laminarnego i burzliwego można wykorzystać do ustalania stanu naprężeń w murowej obudowie szybu, wykonanej w górotworze zawodnionym.

LITERATURA

[1] E. Czetwertyński: Hydraulika i hydromechanika. PWN. Warszawa 1958 r.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПОСОБА ПРОТЕКАНИЯ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ВОДОПРОНИЦАЕМОЕ КИРПИЧНОЕ КРЕПЛЕНИЕ СТВОЛА ШАХТЫ

Резюме

В работе представлено способ определения предельного понижения давления ∇P_g предельного луча шахтной крепи, при котором ламинарное движение воды становится бурным.

Предельний луч r_g можно вычислить на основании формул, представленных в работе и в номограмме.

DIE BESTIMMUNG DER STRÖMUNGSART DES WASSERS IN EINEM WASSERDURCHLÄSSIGEN MAUERSCHACHTAUSBAU

S u m m a r y

In dieser Arbeit wurde eine Bestimmungsart vom Grenzdruckabfall ∇P_g und Radiusgrenzwert des Mauerringes im Schachtausbau- dargestellt, bei welchem laminare Strömung in turbulente übergeht.

Der Grenzwert des Radius r_g kann aus den, in der Arbeit (neu) abgeleiteten Formeln oder aus Nomogrammen bestimmt werden.