

MIROSLAW CHUDEK, KAZIMIERZ PODGÓRSKI  
Katedra Budownictwa Podziemnego Kopalń

## OKREŚLANIE WSPÓŁPRACY WIELOPIERŚCIENIOWEJ OBUDOWY SZYBÓW GÓRNICZYCH

### 1. Wprowadzenie

W praktyce górniczej niekiedy spotykamy się ze zjawiskiem infiltracji wody do szybu przez jego kombinowaną murową obudowę. Działające na obudowę ciśnienie wody przy lokalizacji szybu w górotworze zawodnionym powoduje jej przepływ przez tę obudowę, który może być laminarny, laminarno-burzliwy, burzliwy [2], [4, 5].

Dotychczasowe wzory na określenie grubości rur szybowych i stanu naprężeń jak np. Lame, Hubera, Serlo, Bacha, Heise, De Noela, Protodiakonowa, Pokrowskiego, Andrejczewa nie uwzględniają wpływu przepływu wody na powyższe wielkości.

W celu ujęcia wpływu ciśnienia skał i wody na przebieg współpracy obudowy wielopierścieniowej oraz określenia jej grubości, podjęto próbę wyprowadzenia odpowiednich wzorów ujmujących powyższe zagadnienie. Skonstruowano aparaturę i przeprowadzono badania w Katedrze Budownictwa Podziemnego Kopalń Politechniki Śląskiej w celu wyznaczenia parametrów widniejących w podanych wzorach.

Rozważania teoretyczne poczyniono przy założeniu, że

- 1) rura murowa jest wodoprzepuszczalna, jednorodna,
- 2) w granicach naprężeń dopuszczalnych można stosować prawo Hooeka,
- 3) ciśnienie na rurę rozłożone jest równomiernie na całym obwodzie,

- 4) przepływająca woda przez ściankę rury nie zmienia jej własności wytrzymałościowych,
- 5) proces odkształcenia odbywa się w stałej temperaturze.

## 2. Oznaczenia zastosowane w pracy

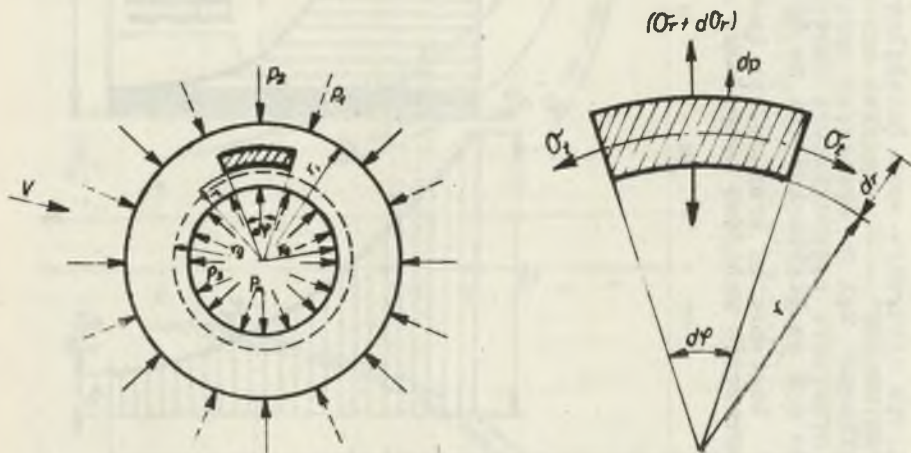
W pracy zastosowano następujące oznaczenia:

- $r_0$  - promień wewnętrzny szybu,
- $r_1$  - promień zewnętrzny obudowy szybu,
- $r$  - promień (odległość segmentu od środka szybu),
- $p_2$  - ciśnienie poziome górotworu działające na obudowę szybu,
- $p_3$  - ciśnienie oddziaływania na wewnętrzną ściankę obudowy szybu,
- $p_1$  - ciśnienie wody działające na obudowę szybu,
- $p_0$  - ciśnienie oddziaływania wypływającej wody z zewnątrz ścianki pierścienia obudowy szybu,
- $p$  - ciśnienie wody działające na segment obudowy,
- $dp$  - spadek ciśnienia wody przy przepływie przez grubość segmentu obudowy dr,
- $k_0$  - naprężenia dopuszczalne na ściskanie obudowy murowej,
- $\sigma_t$  - naprężenie obwodowe,
- $\sigma_r$  - naprężenie radialne,
- $\sigma_{rg}$  - naprężenia radialne (naprężenia oddziaływania pierwszej strefy obudowy na drugą),
- $r_g$  - promień obudowy (na granicy strefy przepływu wody ruchem laminarnym i burzliwym),
- $v_p$  - średnia prędkość wypływu wody z wewnętrznej ścianki obudowy szybu,
- $k_1$  - współczynnik przy przepływie wody ruchem laminarnym,
- $K$  - współczynnik przy przepływie wody ruchem burzliwym,
- $m$  - wykładnik potęgowy ruchu burzliwego,
- $\nabla p_g$  - graniczny spadek ciśnienia na drodze jednostkowej.

### 3. Teoretyczne określenie współpracy obudowy wielopierścieniowej

Współpracę obudowy wielopierścieniowej rozpatrzono tylko dla kilku charakterystycznych przypadków, spotykanych w budownictwie szybowym. Możliwości współpracy różnych kombinacji obudowy wielopierścieniowej nie rozpatrzono, ponieważ określić ją można, opierając się na podanym sposobie przy analizowanych przypadkach.

W pierwszym etapie rozpatrzono obudowę jednopierścieniową (rys. 1, 2), w której występują dwie strefy przepływu wody (pierwsza strefa ruch laminarny, druga strefa, ruch burzliwy).



Rys. 1. Schemat działania ciśnienia na pierścień obudowy oraz schemat działania naprężeń w segmencie obudowy

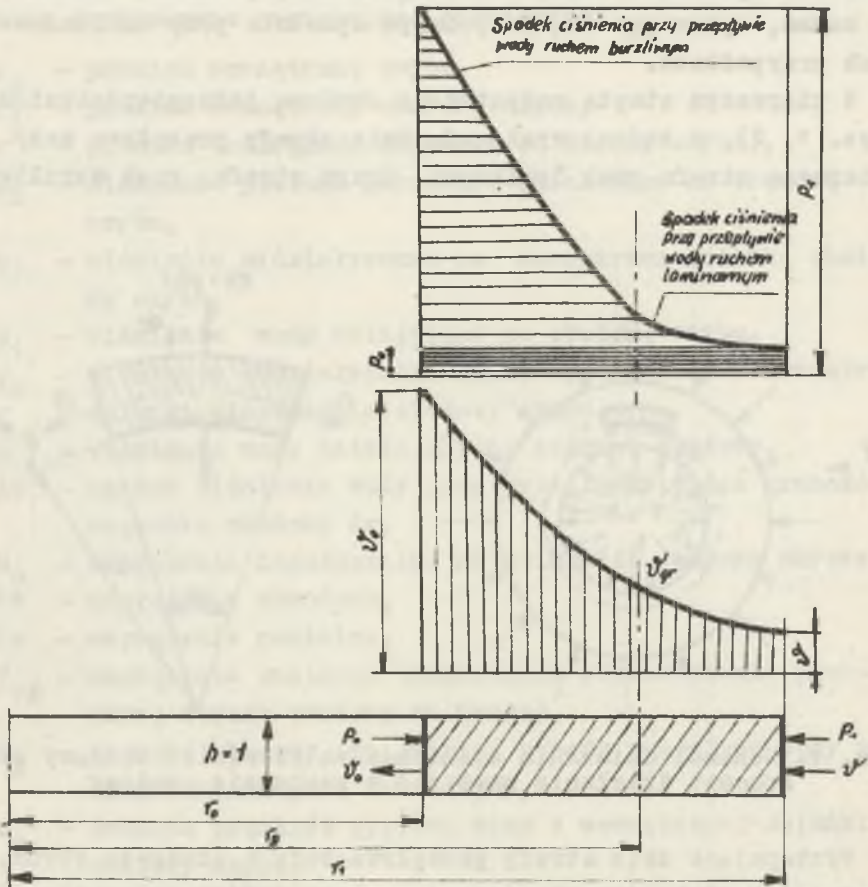
Występujące dwie strefy przepływu wody w obudowie szybu, tworzą jak gdyby dwa pierścienie z tego samego materiału obudowy, w których stan naprężeń i odkształceń wyraża się odmiennymi wzorami.

Obudowy, takiej w której występują dwie strefy przepływu wody, nie zalicza się do obudowy wielopierścieniowej.



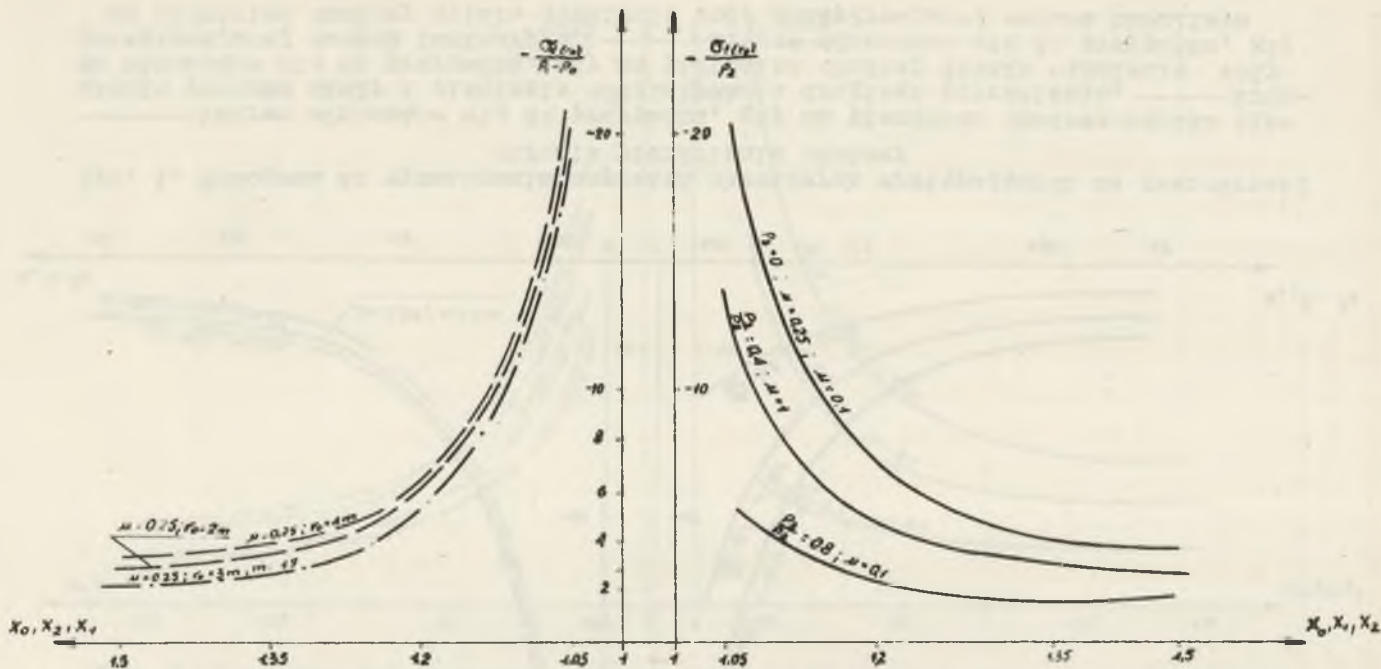
Występujące naprężenia w obudowie jednopierścieniowej na brzegach stref można określić, posługując się do tego celu nomogramami rys. 3, 4, 5, 6.

Przy posługiwaniu się nomogramami należy wpierrw ustalić wielkości ciśnień działających na obudowę.



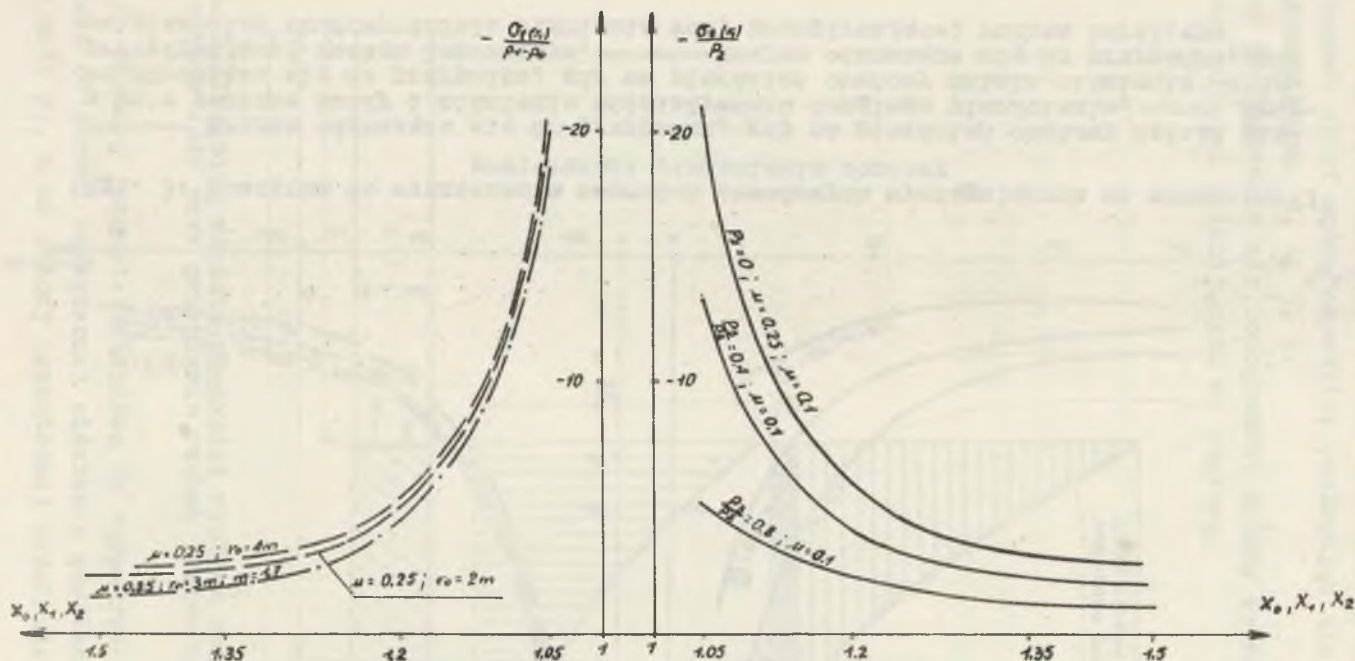
Rys. 2. Przebieg wzrostu prędkości wypływu wody i spadku ciśnienia wody przy przepływie ruchem laminarnym i burzliwym

Na obudowę jednopierścieniową (w rozpatrywanym przypadku) działa od strony zewnętrznej ciśnienie górotworu  $p_2$  i ciśnienie wody  $p_1$ , a od strony wewnętrznej ciśnienie  $p_3 = 0$ ,  $p_0 = 0$ ,



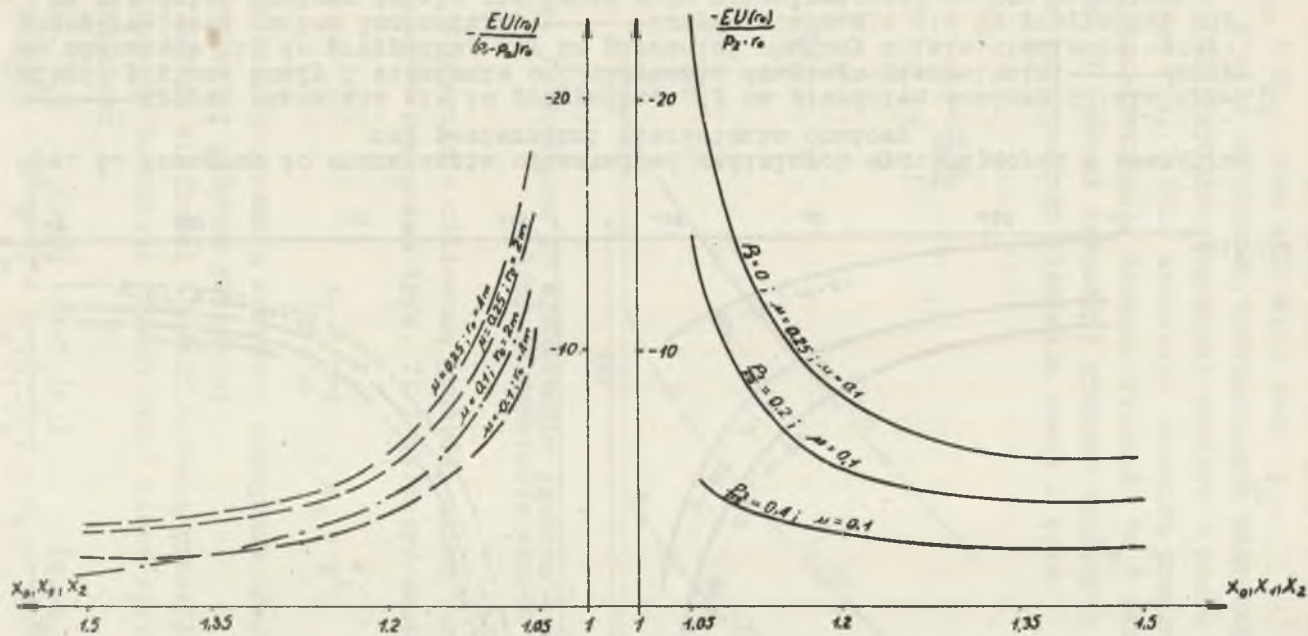
Rys. 3. Nomogram do wyznaczania naprężeń obwodowych występujących na wewnętrznej powierzchni pierścienia obudowy

———— krzywe odnoszące się do przypadku, gdy na pierścień obudowy działa ciśnienie poziome skały i ciśnienie oddziaływania drugiego pierścienia, — — — krzywe odnoszące się do przypadku, gdy na pierścień obudowy działa ciśnienie wody przepływającej ruchem laminarnym, — · — · — krzywe odnoszące się do przypadku, gdy na pierścień obudowy działa ciśnienie wody przepływającej ruchem burzliwym



Rys. 4. Nomogram do wyznaczania naprężeń obwodowych występujących na zewnętrznej stronie pierścienia obudowy

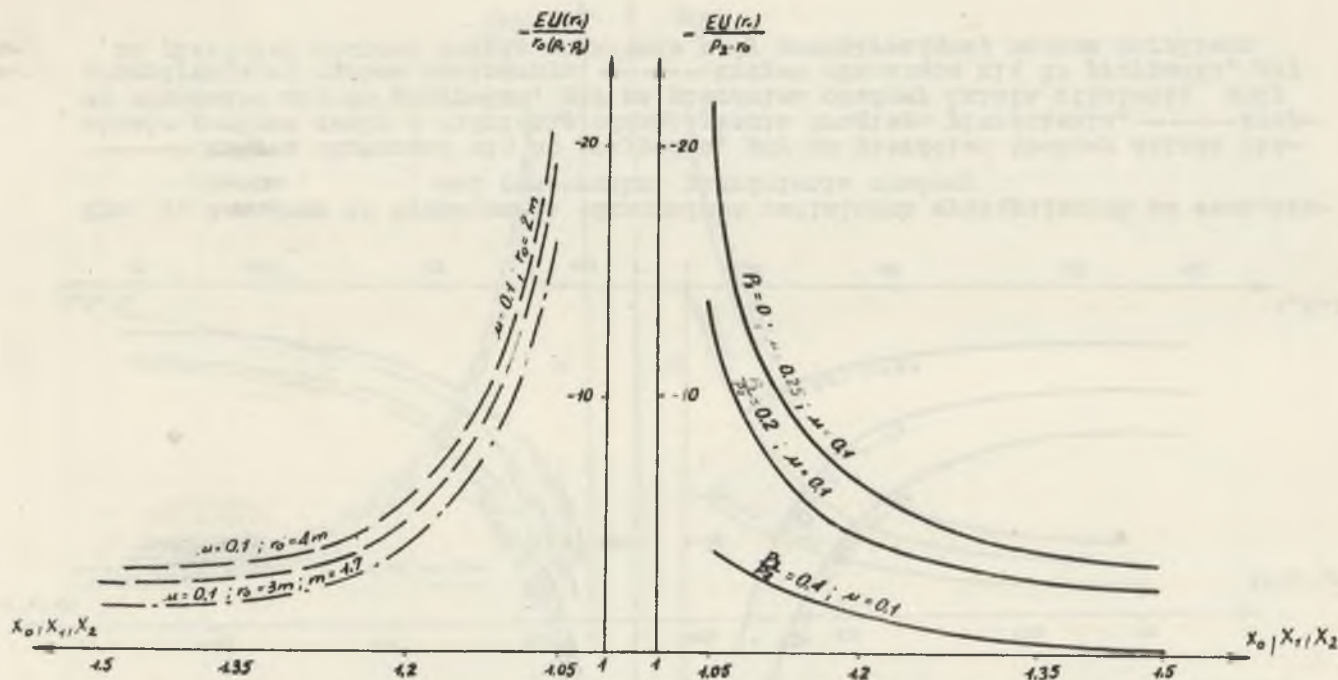
———— krzywe odnoszące się do przypadku, gdy na pierścień obudowy działa ciśnienie poziome skały i ciśnienie oddziaływania drugiego pierścienia, — — — krzywe odnoszące się do przypadku, gdy na pierścień obudowy działa ciśnienie wody przepływającej ruchem laminarnym, — · — · — krzywe odnoszące się do przypadku, gdy na pierścień obudowy działa ciśnienie wody przepływającej ruchem burzliwym



Rys. 5. Nomogram do wyznaczania odkształceń radialnych występujących na wewnętrznej powierzchni pierścienia obudowy

————— krzywe odnoszące się do przypadku, gdy na pierścien obudowy działa ciśnienie poziome skały i ciśnienie oddziaływania drugiego pierścienia, ———— krzywe odnoszące się do przypadku, gdy na pierścien obudowy działa ciśnienie wody przepływającej ruchem laminarnym, ———— krzywe odnoszące się do przypadku, gdy na pierścien obudowy działa ciśnienie wody przepływającej ruchem burzliwym





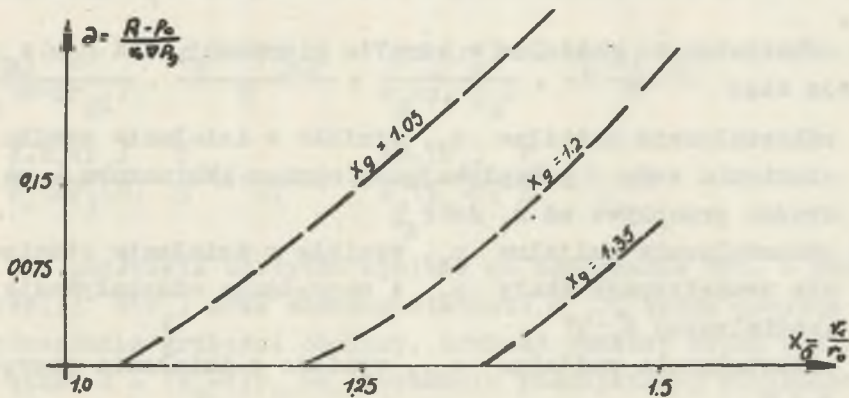
Rys. 6. Nomogram do wyznaczania odkształceń radialnych występujących w zewnętrznej powierzchni pierścienia obudowy

—————krzywe odnoszące się do przypadku, gdy na pierścieniu obudowy działa ciśnienie poziome skały i ciśnienie oddziaływania drugiego pierścienia, ————krzywe odnoszące się do przypadku, gdy na pierścieniu obudowy działa ciśnienie wody przepływającej ruchem laminarnym, ————krzywe odnoszące się do przypadku, gdy na pierścieniu obudowy działa ciśnienie wody przepływającej ruchem burzliwym



natomiast na granicy stref występuje naprężenie oddziaływania  $\sigma_{rs}$  i  $\sigma_{r1}$  oraz ciśnienie wody  $p_g$ .

W celu określenia występujących naprężeń, należy wpierw ustalić przybliżoną grubość obudowy z wzoru Lamé'go lub z nomogramu rys. 7 (dla szukanego stosunku promienia zewnętrznego do wewnętrznego). Szukana wielkość " $x_0$ " odczytana z nomogramu rys. 7 pozwoli wyznaczyć grubość obudowy z wzoru  $d=(x_0-1)r_0$  dla sumarycznego ciśnienia skały i wody.



Rys. 7. Nomogram do wyznaczania promienia granicznego, wykreślony na podstawie wzorów

W oparciu o obliczoną grubość, należy określić promień graniczny z nomogramu (rys. 7) i obliczyć stosunek:

$$x_I = \frac{r_1}{r_g}; \quad x_g = \frac{r}{r_0}, \quad (1)$$

dla którego można z krzywych nomogramu odczytać wielkości, ujęte w niżej podanym równaniu:

Podane wielkości (jeżeli zostaną prawidłowo ustalone) występujące na kontakcie dwóch stref winny spełniać warunek ujęty równaniem:

$$\frac{E \cdot U_{s1}(r_g)}{r_g(0-\sigma_{r1})} \cdot \frac{r_g(0-\sigma)}{E} + \frac{E \cdot U_1(r_g)}{r_g(p_1-p_g)} \cdot r_g \frac{(p_1-p_g)}{E} + \frac{E \cdot U_s(r_g)}{r_g[p_2-\sigma_{rs}(r_g)]} \cdot$$

$$\begin{aligned}
 r_g \frac{[p_2 - \sigma_{rs}(r_g)]}{E} &= \frac{E \cdot U_s(r_g)}{r_o (\sigma_{rs} - 0)} r_o \cdot \frac{(\sigma_{rs} - 0)}{E} + \frac{EU_b(r_g)}{r_o (p_g - 0)} r_o (p_g - p_o) \frac{1}{E} + \\
 + \frac{EU_r(r_g)}{r_o [\sigma_{rs1}(r_g) - 0]} r_o \frac{[\sigma_{rs1}(r_g) - 0]}{E} & \quad (2)
 \end{aligned}$$

Przedstawione równanie podaje, że odkształcenia radialne, na granicy strefy ruchu laminarnego i burzliwego winny być sobie równe.

Na odkształcenia radialne w strefie pierwszej, dla  $r = r_g$  składają się:

- odkształcenia radialne  $u_1$ , wynikłe z działania spadku ciśnienia wody - przepływającej ruchem laminarnym - na drodze przepływu od  $r_1$  do  $r_g$ ,
- odkształcenia radialne  $u_s$ , wynikłe z działania ciśnienia zewnętrznego skały  $p_2$  i naprężenia oddziaływania (radialnego)  $\sigma_{rs}$ ,
- odkształcenia radialne  $u_{s1}$ , wynikłe z działania naprężeń  $\sigma_{r1}$ .

Na odkształcenia radialne w strefie drugiej, dla  $r = r_g$ , składają się:

- odkształcenia radialne  $u_b$ , wynikłe z działania spadku ciśnienia wody przepływającej ruchem burzliwym,
- odkształcenia radialne  $u_s$ , wynikłe z działania naprężenia radialnego, pochodzącego od ciśnienia skały - na pierwszą strefę obudowy,
- odkształcenia radialne  $u_1$ , wynikłe z oddziaływania naprężeń  $\sigma_{r1}$ , pochodzących od spadku ciśnienia wody w pierwszej strefie obudowy.

W równaniu (2) występuje szukana wielkość naprężeń radialnych  $\sigma_{rs}$ , pochodzących od ciśnienia skały (i naprężeń radialnych  $\sigma_{r1}$  pochodzących od działania spadku ciśnienia wody - przepływającej ruchem laminarnym.

Szukane wielkości  $\sigma_{rs}$  i  $\sigma_{rl}$  można tak dobrać drogą kolejnych przybliżeń by spełniony był warunek wyrażony równaniem (3) i ażeby ponadto sumaryczne naprężenia obwodowe na wewnętrznej powierzchni pierścienia obudowy nie przekroczyły naprężeń dopuszczalnych na ściskanie.

Wielkość naprężenia radialnego (naprężenia oddziaływania) występującego na granicy dwóch stref, można również wyznaczyć z porównania odkształceń radialnych pochodzących od ruchu laminarnego i burzliwego - co wyraża się równaniem:

$$\frac{EU_{s1}(r_g)}{r_g(0-\delta r_{s1})} \cdot \frac{r_g(0-\delta r_{s1})}{E} + \frac{EU_1(r_g)}{r_g(p_1-p_g)} \cdot \frac{r_g(p_1-p_g)}{E} =$$

$$= \frac{E \cdot U_1(r_g)}{r_o(\delta r_{s1}-0)} \cdot \frac{r_o(\delta r_{s1}-0)}{E} + \frac{EU_1(r_g)}{r_o(p_g-0)} \cdot \frac{r_o(p_g-0)}{E} \quad (3)$$

Na podstawie odczytów wyników na nomogramie rys. 6 można określić  $U(r_g)$  oraz szukaną wielkość  $\sigma_{rs1}$ , która posłuży do wyznaczania grubości obudowy. Grubość obudowy można obliczyć z wzoru  $d = (x_o - 1)r_o$  po określeniu rzeczywistej wielkości " $x_o$ ".

Sposób określania grubości obudowy wielopierścieniowej i występujących w niej naprężeń jest podobny do opisanego przypadku obudowy jednopierścieniowej z dwiema strefami przepływu wody.

W praktyce można spotkać obudowę dwupierścieniową, na którą działa ciśnienie skały i ciśnienie wody przepływającej ruchem laminarnym.

Wielkości naprężeń oddziaływania jednego pierścienia na drugi, można wyznaczyć z porównania odkształceń radialnych, występujących na styku dwóch pierścieni.

Wielkości odkształceń radialnych i naprężeń można określić posługując się nomogramami rys. 3, 4, 5, 6.

Przy określaniu wielkości odkształceń radialnych (projektowanych obudów szybów) należy w pierwszym przybliżeniu wyznaczyć jej grubość i obliczyć stosunek:

$$\frac{r_2}{r_1} = x_2; \quad \text{oraz} \quad \frac{r_1}{r_o} = x_1;$$



W oparciu o wielkości  $x_1, x_2, u_1, E_1, E_2, K_{1,1}, K_{1,2}, P_1, p_0 = 0$  można obliczyć ciśnienie wody i naprężenie oddziaływania jednego pierścienia na drugi.

Ciśnienie przepływającej wody na styku dwóch pierścieni można obliczyć z wzoru:

$$dp = K_1 \cdot v_0 \cdot r_0 \cdot \frac{dr}{r},$$

całkując go w warunkach brzegowych:

$$\int_{P_{1,2}}^{P_1} dp + \int_0^{P_{1,2}} dp = \int_{r_1}^{r_2} K_{1,2} \cdot v_0 \cdot r_0 \frac{dr}{r} + \int_{r_0}^{r_1} K_{1,1} \cdot r_0 \cdot v_0 \frac{dr}{r} \quad (4)$$

Po scałkowaniu i przekształceniu podanych równań otrzymano wzór na obliczenie ciśnienia wody, występującego na styku dwóch pierścieni obudowy szybu.

Wzór posiada postać:

$$P_{1,2} = P_1 - \frac{P_1}{1 + \frac{K_{1,1}}{K_{1,2}} \frac{\ln \frac{r_0}{r_2}}{\ln \frac{r_0}{r_1}}} \quad (5)$$

Przepływającą wodą przez zewnętrzny pierścień obudowy szybu wywoła odkształcenia radialne, które oblicza się mnożąc odczyt z nomogramu rys. 5.

Odkształcenia radialne pierścienia zewnętrznego wystąpią również pod wpływem działania ciśnienia górotworu. Odkształcający się pierścień zewnętrzny oddziałuje na pierścień wewnętrzny, ponieważ przyjęto, że pierścienie obudowy dolegają do siebie od początku ich wykonania. W wyniku współpracy dwóch pierścieni obudowy powstają naprężenia, które powodują oddziaływanie jednego pierścienia na drugi.



Wielkość naprężeń oddziaływania można obliczyć z porównania odkształceń powstałych na styku dwóch pierścieni, po rozwiązaniu równania:

$$\begin{aligned} & \frac{E_2 U_{sz}(r_1)}{r_1(p_2 - \sigma r_s)} \cdot \frac{r_1(p_2 - \sigma r_s)}{E_2} + \frac{E_2 U_{12}(r_1)}{r_1(p_1 - p_{1,2})} \cdot \frac{r_1(p_1 - p_{1,2})}{E_2} + \\ & + \frac{E_2 U_{s1,2}(r_1)}{r_o(0 - \sigma r_1)} - \frac{(0 - \sigma r_1)r_1}{E_2} = \frac{E_1 U_{s1}(r_1)}{r_o(\sigma r_s - 0)} \frac{r_o(\sigma r_s - 0)}{E_1} + \\ & + \frac{E_1 U_{b1}(r_1)}{r_o(p_{1,2} - 0)} \frac{r_o(p_{1,2} - 0)}{E_1} + \frac{E_1 U_{s11}(r_1)}{r_o(\sigma r_1 - 0)} \frac{r_o(\sigma r_1 - 0)}{E_1} \end{aligned} \quad (6)$$

We wzorze (6) występuje szukana wielkość naprężeń, wynikających z działania ciśnienia górotworu na zewnętrzny pierścień obudowy oraz ze spadku ciśnienia wody, przepływającej przez zewnętrzny pierścień obudowy. Po oznaczeniu całkowitego naprężenia oddziaływania przez  $\sigma r_{1,2} = \sigma r_s + \sigma r_1$ , równanie (6) przyjmie postać:

$$\begin{aligned} & \frac{E_2 U_{sz}(r_1)}{r_1(p_2 - \sigma r_{1,2})} \cdot \frac{r_1(p_2 - \sigma r_{1,2})}{E_2} + \frac{E_2 U_{12}(r_1)}{r_1(p_1 - p_{1,2})} \cdot \frac{r_1(p_1 - p_{1,2})}{E_2} = \\ & = \frac{E_1 U_{s1}(r_1)}{r_o(\sigma r_{1,2} - 0)} \quad (7) \\ & \frac{r_o(\sigma r_{1,2} - 0)}{E_1} + \frac{E_1 U_{11}(r_1)}{r_o(p_{1,2} - 0)} \cdot \frac{r_o(p_{1,2} - 0)}{E_1} \end{aligned}$$

Opierając się na odczytanych wartościach z nomogramu i wielkościach  $r_o$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $K_{1,1}$ ,  $K_{1,2}$ , można dobrać tak wielkość  $\sigma r_{1,2}$ , że spełniony będzie warunek podany równaniem (7).

Sumaryczna wielkość naprężeń oddziaływania jednego pierścienia na drugi może być dodatnia lub ujemna.

Oznaczenia kierunku działania naprężenia oddziaływania (ciśnienia oddziaływania jednego pierścienia na drugi) przyjęto zgodnie z oznaczeniem kierunku skały i wody na obudowę. Dodatnia wartość naprężenia oddziaływania oznacza, że pierścień zewnętrzny obudowy dociskany jest do pierścienia wewnętrznego obudowy. Ujemna wartość naprężenia oddziaływania wskazuje na to, że na kontakcie dwóch pierścieni występują naprężenia rozciągające. Jeżeli naprężenia rozciągające pokonają siły przyczepności jednego pierścienia do drugiego, wówczas między pierścieniami powstanie szczelina. Powstanie szczeliny między pierścieniami może mieć miejsce, gdy ciśnienie górotworu jest małe, ciśnienie wody duże, a pierścień zewnętrzny jest dużo więcej wodoprzepuszczalny od wewnętrznego.

Po wytworzeniu się szczeliny między pierścieniami, pierścień zewnętrzny przeciwstawia się ciśnieniu górotworu i spadkowi przepływu wody, natomiast pierścień wewnętrzny przeciwstawia się tylko spadkowi ciśnienia wody.

W oparciu o określone wielkości naprężeń na poszczególne pierścienie obudowy można z nomogramu określić wielkości naprężeń na ściankach pierścieni i sprawdzić, czy nie przekraczają dopuszczalnej wytrzymałości na ściskanie dla danego rodzaju materiału pierścienia obudowy.

W przypadku, gdy na dwupierścieniową obudowę murową szybu działa ciśnienie górotworu i wody przepływającej ruchem burzliwym, to współpracę dwóch pierścieni można określić w podobny sposób, jak przy rozpatrywaniu obudowy dwupierścieniowej, która jest od zewnątrz poddana ciśnieniu górotworu i ciśnieniu wody przepływającej ruchem laminarnym.

Wielkość ciśnienia wody (przy przepływie ruchem burzliwym) na kontaktach pierścieni można obliczyć całkując wzór:

$$dp = K v_0 r_0^m \frac{dr}{m}$$

w podanych granicach

$$\int_{p_{1,2}}^{p_1} dp + \int_0^{p_{1,2}} dp = \int_{r_1}^{r_2} K_2 (v_0 \cdot r_0)^m \frac{dr}{r^m} + \int_{v_0}^{r_1} K (v_0 \cdot v_0)^m \quad (8)$$

$$\int_{p_{1,2}}^{p_1} dp = \int_{r_1}^{r_2} K_2 (v_0 \cdot r_0)^m \frac{dr}{r^m} \quad (9)$$

Po scałkowaniu i przekształceniu równań otrzymano:

$$p_{1,2} = p_1 \left[ 1 - \frac{1}{1 + \frac{K}{K_2} \left( \frac{r_1^{1-m} - r_0^{1-m}}{r_2^{1-m} - r_1^{1-m}} \right)} \right] \quad (10)$$

W oparciu o obliczoną wielkość ciśnienia wody (na kontakcie dwóch pierścieni) można określić współpracę obudowy, wykorzystując do tego celu nomogramy rys. 3, 4, 5, 6.

Przy przepływie wody przez dwupierścieniową obudowę może zaistnieć przypadek, że przez pierścień zewnętrzny woda będzie przepływała ruchem laminarnym, a wewnętrzny - ruchem burzliwym. W takim przypadku współpracę dwóch pierścieni obudowy można określić w podobny sposób, jak to zostało opisane przy rozpatrywaniu obudowy dwupierścieniowej, na którą działa ciśnienie skały i ciśnienie wody. W praktyce, dla zabezpieczenia się przed przepływem wody przez obudowę, można stosować izolację w postaci pierścienia bitumicznego, stalowego. Zastosowanie pierścienia bitumicznego powoduje, że całkowite ciśnienie wody jest przekazane na pierścień wewnętrzny. W wyniku działania ciśnienia wody i górotworu ulegają odkształceniu poszczególne pierścienie obudowy. W przypadku obudowy trójpierścieniowej, w której środkowy pierścień wykonany jest z materiału bitumicznego, współpracę poszczególnych pierścieni można określić na podstawie porównania odkształceń radialnych, wy-



stępujących na kontaktach pierścieni. Pierścień zewnętrzny (o średnicy zewnętrznej  $r_3$ , a wewnętrznej  $r_2$ ), ulega odkształceniu pod wpływem działania ciśnienia skały i naprężenia oddziaływania  $\sigma_{rs_2}$ . Pierścień bitumiczny przenosi ciśnienie wody  $p_1$  i naprężenie oddziaływania  $\sigma_{rs_2}$  pierścienia zewnętrznego na pierścień wewnętrzny.

Naprężenie oddziaływania  $\sigma_{rs_{1,2,3}}$  pierścienia wewnętrznego na pierścień zewnętrzny (poprzez pierścień bitumiczny) można określić z porównania odkształceń, występujących na styku pierścieni.

Obliczenia poszczególnych odkształceń mogą być wykonane w oparciu o odczytane wielkości z nomogramów. Posługując się odczytanymi wielkościami z nomogramów i wielkościami  $r_r$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $u_1$ ,  $u_2$ , należy tak określić naprężenie oddziaływania  $\sigma_{r_{1,2,3}}$ , aby był spełniony warunek podany równaniem:

$$\frac{E_3 \cdot U_{s3}(r_2)}{r_2(p_2 - \sigma_{r_{1,2,3}})} \cdot \frac{r_2(p_2 - \sigma_{r_{1,2,3}})}{E_3} = \frac{E_1 U_{s1}(r_1)}{r_0(\sigma_{r_{1,2,3}} + p_1 - 0)} \cdot \frac{r_0(r_{1,2,3} + p_1 - 0)}{E_1} \quad (11)$$

W oparciu o określoną wielkość naprężenia oddziaływania  $r_{1,2,3}$ , można z nomogramów określić wielkość naprężeń, występujących na ściankach pierścieni obudowy i sprawdzić, czy sumaryczne naprężenia obwodowe nie przekraczają naprężeń dopuszczalnych na ściskanie dla materiałów rozpatrywanych pierścieni.

W przypadku, gdy zamiast pierścienia bitumicznego znajduje się pierścień stalowy, wówczas przeciwstawia się on częściowo ciśnieniu wody i naprężeniom oddziaływania pierścienia zewnętrznego. Występujące naprężenia powodują odkształcenia pierścieni obudowy.

Opierając się na wynikach odczytów nomogramów, można określić naprężenia oddziaływania poszczególnych pierścieni obudowy.



Wielkościami naprężeń oddziaływania będą takie wartości odczytane z nomogramów, które spełniają niżej podane równania:

$$\frac{E_3 \cdot U_{S3}(r_2)}{r_2(p_2 - \sigma_{r_{2,3}})} \cdot \frac{r_2(p_2 - \sigma_{r_{2,3}})}{E_3} = \frac{E_2 U_{S2}(r_2)}{r_1(\sigma_{r_{2,3}+p_1} - r_{1,2})} \cdot \frac{r_1(\sigma_{r_{2,3}+p_1} - \sigma_{r_{1,2}})}{E_3} \quad (12)$$

$$\frac{E_2 \cdot U_S(r_1)}{r_1(\sigma_{r_{2,3}+p_1} - \sigma_{r_{1,2}})} \cdot \frac{r_1(\sigma_{r_{2,3}+p_1} - \sigma_{r_{1,2}})}{E_2} = \frac{E_1 U_S(r_1)}{r_0(\sigma_{r_{1,2}-0})} \cdot \frac{r_0(\sigma_{r_{1,2}-0})}{E_1} \quad (13)$$

Wyznaczona wielkość naprężenia oddziaływania  $\sigma_{r_{2,3}}$  pierścienia zewnętrznego na pierścień stalowy oraz wielkość naprężenia oddziaływania  $r_{1,2}$  pierścienia stalowego na pierścień wewnętrzny, pozwalają określić współpracę obudowy trójpierścieniowej z płaszczyzną stalową. Przy innych rodzajach obudów wielopierścieniowych, wielkości naprężeń oddziaływania między poszczególnymi pierścieniami obudowy i ich współpracę można określić w oparciu o nomogramy rys. 3, 4, 5, 6 w sposób podobny do poprzedniego przypadku.

Do wyznaczenia wielkości naprężeń w obudowie, jak i obliczenia jej grubości potrzebne są parametry charakteryzujące własności materiału obudowy oraz wielkości ciśnień na obudowę.

### Wnioski końcowe

Obudowa murowa szybów wykonywanych w górotworze zawodnionym jest przeważnie wodoprzepuszczalna i występuje wpływ wody do szybu.

Woda może przepływać przez ścianki obudowy szybu ruchem laminarnym, laminarno-burzliwym, w zależności od ciśnienia wody za obudową, wodoprzepuszczalności materiału obudowy i wymiarów poprzecznych szybu. Ciśnienie skał górotworu i ciśnienie przepływającej wody powoduje powstanie naprężeń i odkształceń

obudowy. Związek między jednostkowymi odkształceniami a naprężeniami ujmują niżej podane wzory:

$$\epsilon_t = \frac{\sigma_t}{E} - \frac{\mu}{E} \left( \sigma_r + \frac{dp}{dr} \right)$$

$$\epsilon_r = \frac{\sigma_r + \frac{dp}{dr}}{E} - \frac{\mu \cdot \sigma_t}{E}$$

$$\epsilon_v = \frac{du}{dr}$$

$$\epsilon_t^{\wedge} = \frac{u}{r}$$

Wzory te dla celów praktycznych rozwiązano i wykreślono nomogramy (rys. 3, 4, 5, 6), które w łatwy sposób umożliwiają określenie stanu naprężeń i odkształceń oraz współpracy obudowy jedno i wielopierścieniowej.

Z obliczeń teoretycznych wynika, że przy określonym ciśnieniu wody przepływającej ruchem laminarnym, obudowa wypada grubsza o około 6%, natomiast przy oddziaływaniu ruchu burzliwego grubsza o około 16% w stosunku do grubości obudowy obliczonej dla ciśnienia górotworu równego ciśnieniu wody na zewnętrznej powierzchni obudowy. Wpływ ciśnienia wody ujawnia się znacznie, gdy stosuje się obudowę wielopierścieniową z płaszczem wodonieprzepuszczalnym, na który działa całkowite ciśnienie wody. Jeżeli obudowa jest wodoprzepuszczalna, to wielkość rzeczywistego ciśnienia wody jest mniejsza od stanu jaki stwierdzono podczas wykonywania wierceń. Na obudowę murową szybu działa bowiem ciśnienie wody, jakie ustali się w wyniku splywu wody z warstw górotworu do szybu. Dlatego przy obliczaniu grubości obudowy i współpracy obudowy wielopierścieniowej z górotworem, należy wziąć pod uwagę ciśnienie skał górotworu i ciśnienie wody jakie ujawniać się będzie w czasie głębienia szybu oraz w czasie jego eksploatacji. 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, jeżeli obudowa jest wodoszczelna i stan ciśnienia wody nie został naruszony w czasie głębinienia szybu lub przy wykonywaniu innych wyrobisk górniczych,
- b) mniejsze o spadek ciśnienia, który zostaje zużyty na pokonanie oporów przepływu wody z warstw górotworu,
- c) zbliżone do zera, gdy ustali się taki stan, w którym opór przy ruchu wody (tarcia, siły przyciągających wodę na kontaktach ziarn i cząstek skalnych) będą przeciwdziałały ciśnieniu wody wzdłuż drogi przepływu.

#### LITERATURA

- [1] CEBERTOWICZ R.: Budowle hydrotechniczne w świetle doświadczeń na modelach, PAN, Instytut Budownictwa Wodnego w Gdańsku, Warszawa 1958 r.
- [2] CZETWERTYŃSKI E.: Hydraulika i hydromechanika PWN, Warszawa 58 r.
- [3] CHUDEK M.: Zagadnienie przepływu wody przez rury murowe wykonane dla potrzeb górnictwa, Archiwum Hydrotechniki T. X. 2-4, 1963 r.
- [4] CHUDEK M.: Zagadnienie grubości i stanu naprężeń kołowej obudowy betonowej szybów w zależności od ciśnienia wody - przepływającej przez nią ruchem laminarnym. Praca doktorska, Gliwice, 1962 r.
- [5] PODGÓRSKI K.: Zagadnienie grubości i stanu naprężeń kołowej obudowy murowej szybów w zależności od ciśnienia górotworu i wody przepływającej przez nią ruchem burzliwym. Praca doktorska, Gliwice, 1963 r.



- [6] LISZKA K.: Zagadnienie stosowalności liniowego prawa przepływu gazów przez ośrodki porowate, Archiwum Górnictwa 1958 r.
- [7] PRANDTL L.: Dynamika przepływów, Warszawa 1956 r.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МНОГОКОЛЬЦЕВОЙ  
КРЕПИ ШАХТНЫХ СТВолоВ

Резюме

В работе поданы способы определения взаимодействия многокольцевой крепи в зависимости от давления горных пород и воды при использовании выведенных теоретических формул и разработанных с этой целью номограмм.

DETERMINATION OF MULTIZING COLLABORATION OF MINING  
SHAFTS LINING

Summary

In the paper the ways of determining collaboration of multizing lining, depending on the rock and water pressure with the use of derived theoretical formulae and nomograms worked out for this purpose - has been given.