

MIROSLAW CHUDEK

PRZYCZYNEK DO USTALENIA WŁAŚCIWEJ WSPÓŁPRACY  
Z GÓROTWOREM ZAWODNIONYM  
MUROWEJ OBUDOWY SZYBÓW

Streszczenie. W pracy omówiono zagadnienie współpracy obudowy murowej z górotworem zawodnionym oraz podano nowe wzory na obliczanie grubości ścianek takiej obudowy. Spośród dotychczas stosowanych wzorów do obliczania grubości obudowy szybowej wzory autora najbardziej uwzględniają własności materiału obudowy i powinny być stosowane przy projektowaniu grubości tej obudowy w górotworze zawodnionym. Podano nomogramy do określania grubości obudowy oraz przeprowadzono wykresne i liczbowe porównanie jej wartości uzyskanych ze wzorów autora, Lame, Hubera, Serlo.

1. Uwagi ogólne

Ciągły rozwój przemysłu górniczego wymaga zgłębiania coraz to większej liczby szybów. Wykonywanie szybów odbywa się w różnych warunkach górnico-geologicznych. Podstawowymi czynnikami wpływającymi na wybór obudowy oraz jej grubość są, głębokość na której projektuje się obudowę oraz rodzaj górotworu tj. rodzaj skał i ich własności wytrzymałościowe, zawodnienie.

Wykonywana w górotworze zawodnionym obudowa murowa szybów narażona jest na działanie wody, którą bardzo często infiltruje do wnętrza szybu o czym mówi praca [1].

Stosując wzory Lamego

$$d = r_0 \left( \sqrt{\frac{kc}{kc - 2p}} - 1 \right) \quad (1)$$

czy Hubera

$$d = r_0 \left( \sqrt{\frac{kc}{kc - p \sqrt{3}}} - 1 \right) \quad (2)$$

gdzie:

- $r_0$  - promień szybu w świetle obudowy,
- $p$  - ciśnienie poziome górotworu działające na obudowę szybu,
- $kc$  - dopuszczalne naprężenie obudowy na ściskanie,
- $d$  - grubość obudowy.

Do obliczania grubości ścianki takiej obudowy popełnia się nieścisłość, ponieważ wzory te wyprowadzone zostały dla obliczania grubości rur stalowych, a więc wodonieprzepuszczalnych. Dokładne prześledzenie przyczyn prowadzących do ustalenia występującego kierunku i wielkości ciśnienia oraz dobrane dla istniejących warunków górniczo-geologicznych właściwej grubości i rodzaju obudowy czynią obrany sposób głębienia uzasadnionym i ekonomicznym. Zagadnienie to aczkolwiek jest bardzo trudne do rozwiązania to jednak z uwagi na ważność problemu musi przy dokładnej analizie współpracy obudowy z górotworem doprowadzić do oczekiwanych efektów.

Mając powyższe na uwadze niniejsza praca autora ma na celu wyprowadzenie i podanie nowych wzorów na grubość obudowy szybowej, na którą działa głównie woda (skała zwięzła zawodniona) przepływająca przez nią ruchem laminarnym. Wyprowadzone i uzasadnione przez autora wzory odnoszące się do wodoprzepuszczalnej murowej obudowy szybowej, wykonywanej w górotworze zawodnionym dają wielkości bardziej zbliżone do rzeczywistych i powinny być stosowane do projektowania grubości analizowanej obudowy. Praca rozwiązuje więc w sposób właściwy zagadnienie współpracy wodoprzepuszczalnej obudowy murowej szybu z górotworem zawodnionym.

## 2. Grubość porowatej kołowej obudowy murowej szybu na którą wywiera nacisk tylko woda przepływająca przez nią ruchem laminarnym

W celu wyprowadzenia wzoru na grubość wodoprzepuszczalnej kołowej obudowy murowej szybów, skorzystano z równania (43)



podanego w pracy [2], przedstawiającego największe naprężenia normalne-obwodowe w świetle obudowy. Równanie to ma postać

$$\sigma_t = -\frac{1}{2} p_1 (1+\mu) \frac{r_o^2 + r_1^2}{r_1^2 - r_o^2} - \frac{1}{2} p_1 (1+\mu) - \frac{1}{2} p_1 \frac{1-\mu}{\ln \frac{r_1}{r_o}} \quad (3)$$

Zakładając, że największe naprężenia obwodowe ( $\sigma_{t_{\max}}$ ) nie przekroczą dopuszczalnej wytrzymałości obudowy na ściskanie ( $k_c$ ) otrzymujemy

$$\sigma_{t_{\max}} = -k_c = -\frac{1}{2} p_1 (1+\mu) \frac{r_o^2 + (r_o+d)^2}{(r_o+d)^2 - r_o^2} - \frac{1}{2} p_1 (1+\mu) - \frac{1}{2} p_1 \frac{1-\mu}{\ln \frac{r_o+d}{r_o}} \quad (3.1)$$

skąd

$$k_c = \frac{1}{2} p_1 (1+\mu) \frac{r_o^2 + r_o^2 + 2r_o d + d^2}{r_o^2 + d^2 + 2r_o d - r_o^2} + \frac{1}{2} p_1 (1+\mu) + \frac{1}{2} p_1 \frac{1-\mu}{\ln \frac{r_o+d}{r_o}} \quad (3.2)$$

Po uproszczeniu równanie (3.2) przyjmie postać

$$k_c = \frac{1}{2} p_1 (1+\mu) \frac{2r_o^2 + 2r_o d + d^2}{2r_o d + d^2} + \frac{1}{2} p_1 (1+\mu) + \frac{1}{2} p_1 \frac{1-\mu}{\ln \frac{r_o+d}{r_o}} \quad (3.3)$$

Mnożąc (3.3) przez  $\frac{2}{(1+\mu)p_1}$

$$\frac{2k_c}{(1+\mu)p_1} = \frac{2r_o^2 + 2r_o d + d^2}{2r_o d + d^2} + 1 + \frac{1-\mu}{1+\mu} \frac{1}{\ln \frac{r_o+d}{r_o}} \quad (3.4)$$

W równaniu (3.4) funkcję  $\ln(1 + \frac{d}{r_0})$  można rozwinąć w szereg dla  $0 < \frac{d}{r_0} \leq 1$

$$\ln(1 + \frac{d}{r_0}) = \frac{d}{r_0} - \frac{d^2}{2 r_0^2} + \frac{d^3}{3 r_0^2} - \frac{d^4}{4 r_0^2} + \dots \quad (3.5)$$

Dla celów praktycznych wystarczą dwa pierwsze wyrazy szeregu

$$\ln(1 + \frac{d}{r_0}) \cong \frac{d}{r_0} - \frac{d^2}{2 r_0^2} \quad (3.6)$$

Wykorzystując wzory Cardana dla równań trzeciego stopnia po podstawieniu wartości z (3.6) do 3.4) otrzymamy wzór na grubość obudowy w postaci (3.7)

$$d = \sqrt[3]{\frac{-2 r_0^3}{\frac{k_c}{p_1} - 1 - \mu} + \sqrt{\left(\frac{2 r_0^3}{\frac{k_c}{p_1} - 1 - \mu}\right)^2 + \frac{\frac{k_c}{p_1} 4 r_0^2 + 4 r_0^2 + 2 r_0^2 \mu^3}{3 \frac{k_c}{p_1} - 3 - 3\mu}}} + \sqrt[3]{\frac{-2 r_0^3}{\frac{k_c}{p_1} - 1 - \mu} - \sqrt{\left(\frac{2 r_0^3}{\frac{k_c}{p_1} - 1 - \mu}\right)^2 + \frac{\frac{k_c}{p_1} 4 r_0^2 + 4 r_0^2 + 2 r_0^2 \mu^3}{3 \frac{k_c}{p_1} - 3 - 3\mu}}} \quad (3.7)$$

$$+ \sqrt[3]{\frac{-2 r_0^2}{\frac{k_c}{p_1} - 1 - \mu} - \sqrt{\left(\frac{2 r_0^3}{\frac{k_c}{p_1} - 1 - \mu}\right)^2 + \frac{\frac{k_c}{p_1} 4 r_0^2 + 4 r_0^2 + 2 r_0^2 \mu^3}{3 \frac{k_c}{p_1} - 3 - 3\mu}}}$$

W celu podania praktycznych wzorów na grubość obudowy przekształcono (3.8)

$$k_c = \frac{1}{2} p_1 (1+\mu) \frac{(r_0+d)^2 + r_0^2}{(r_0+d)^2 - r_0^2} + \frac{1}{2} p_1 (1+\mu) + \frac{1}{2} p_1 (1-\mu) \frac{1}{\ln \frac{r_0+d}{r_0}} \quad (3.8)$$

$$\frac{k_c}{p_1} = \frac{1+\mu}{1 - \left(\frac{r_0}{r_0+d}\right)^2} - \frac{1-\mu}{\ln\left(\frac{r_0}{r_0+d}\right)} \quad (3.9)$$

a przez wprowadzenie podstawień (3.10)

$$y_2 = \frac{k}{p_1}; \quad (1+\mu) = \mu_1; \quad (1-\mu) = \mu_0; \quad \left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2 = z \quad (3.10)$$

wzór (3.11)

$$y_2 = \frac{\mu_1}{1-z} - \frac{\mu_0}{\ln z} \quad (3.11)$$

W praktyce grubość obudowy szybów waha się w granicach

$$X_{o_1} = \left(\frac{r_0}{r_1}\right)_{\min} = 0,68$$

$$X_{o_2} = \left(\frac{r_0}{r_1}\right)_{\max} = 0,97$$

wobec czego

$$z_{\min} = 0,4624$$

$$z_{\max} = 0,9409$$

Dla dalszego toku rozważań wprowadzam dodatkowo oznaczenie

$$f(z) = \frac{\mu_1}{1-z} - \frac{\mu_0}{\ln z} - y_2 \quad (3.12)$$

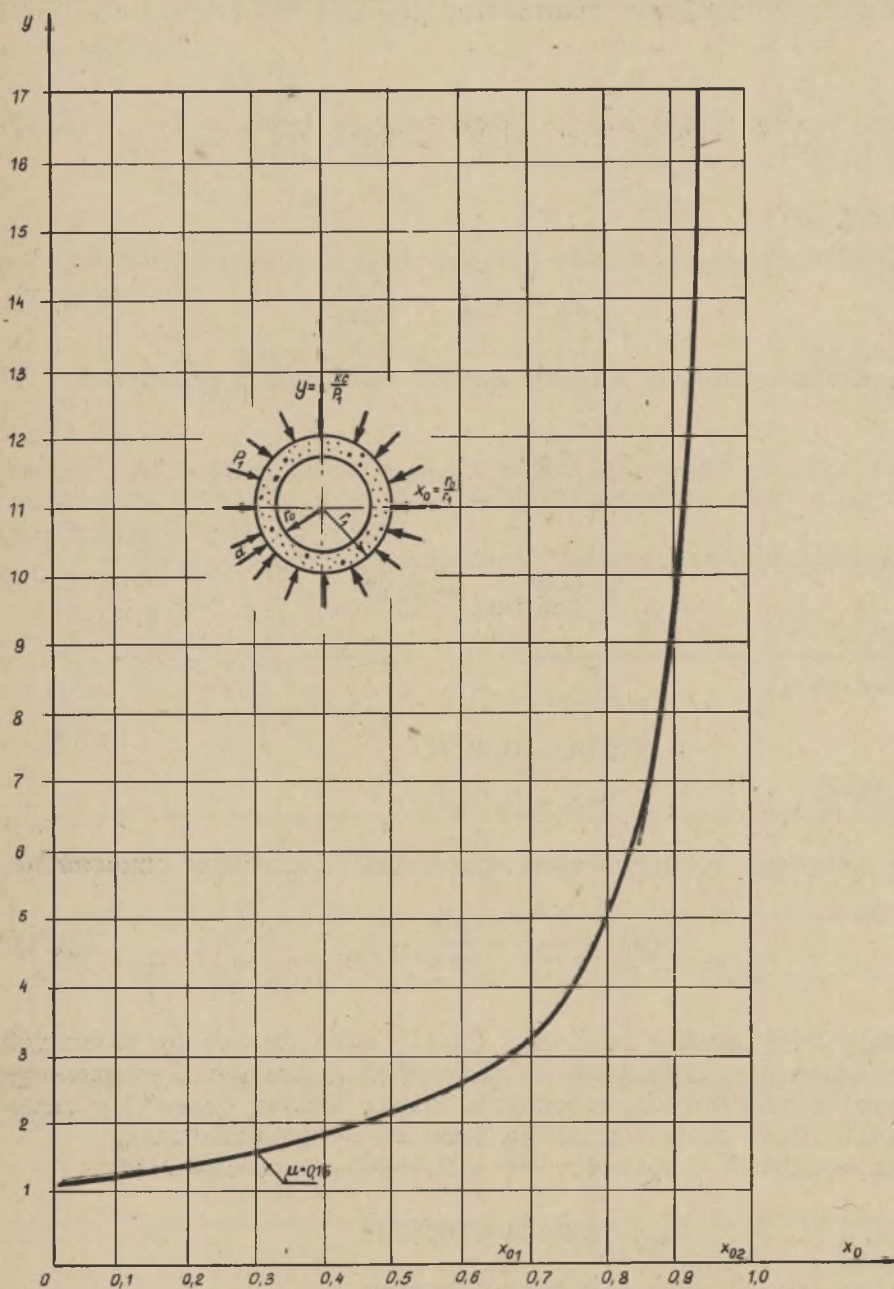
W celu rozwiązania równania (3.11) stosuję metodę siecznych przy czym dla uzyskania dostatecznej dokładności pierwszego przybliżenia metodą siecznych dzielę krzywą (rys.1) w przedziale  $z$  ( $z_{\min}$ ,  $z_{\max}$ ) na trzy równe podprzedziały ( $\Delta z = 0,9409 - 0,4624$ ,  $\frac{\Delta z}{3} = 0,1595$ ), a mianowicie:

$$\alpha_1 = 0,4624 \div 0,6219$$

$$\alpha_2 = 0,6219 \div 0,7814$$

$$\alpha_3 = 0,7814 \div 0,9409$$





Rys.1. Nomogram do określania grubości obudowy murowej sztywów z podaniem zakresu ( $x_{01}$  -  $x_{02}$ ) wykorzystania krzywej dla celów praktycznych

co odpowiada zmienności  $y_2 = \frac{k}{p_1} c$  w następujących granicach:  
w przedziale  $\alpha_1$

$$3,2 + 0,5418\mu < \frac{k}{p_1} c \leq 4,75 + 0,54\mu$$

w przedziale  $\alpha_2$

$$4,75 + 0,54\mu < \frac{k}{p_1} c \leq 8,63 + 0,52\mu$$

w przedziale  $\alpha_3$

$$8,63 + 0,52\mu < \frac{k}{p_1} c \leq 33,34 + 0,5\mu$$

Korzystając z metody siecznych obliczono pierwsze przybliżenie w rozpatrywanych trzech przedziałach, które wynosi:  
w przedziale pierwszym  $\alpha_1$  - określono wykorzystując wzór

$$z_1 = a_0 - \frac{(a_1 - a_0) f(a_0)}{f(a_1) - f(a_0)} \quad (3.13)$$

wstawiając dane do wzoru (3.13) mamy postać

$$z_1 = 0,4624 - \frac{0,1595 (3,2 + 0,5418\mu - y_2)}{4,75 + 0,5395\mu - y_2 - 3,2 - 0,5418\mu + y_2} \quad (3.14)$$

skąd po przekształceniu i uproszczeniu

$$z_1 = 0,4624 - \frac{0,5104 + 0,0864\mu - 0,1595 y_2}{1,55 - 0,0023\mu} \quad (3.15)$$

ponieważ we wzorze (3,15)  $0,0023\mu$  jest bardzo małe przeto można go przedstawić w postaci

$$z_1 \cong 0,1334 - 0,0555\mu + 0,1029 y_2 \quad (3.16)$$

a więc dla  $3,2 + 0,5418\mu \leq \frac{k}{p_1} \leq 4,75 + 0,54\mu$  co odpowiada

$$0,4624 \leq z \leq 0,6219 \quad \text{lub} \quad 0,269 r_0 \leq d \leq 0,4706 r_0$$

( $z_1$ ) można więc obliczyć ze wzoru (3.15) lub z wzoru przybliżonego (3.16).

W przedziale drugim ( $\alpha_2$ ) postępując podobnie jak przy określaniu pierwszego przybliżenia w przedziale pierwszym otrzymano wielkość pierwszego przybliżenia która wynosi:

$$z_1 = 0,6219 - \frac{0,1595 (4,7501 + 0,5395\mu - y_2)}{8,6298 + 0,5194\mu - y_2 - 4,7501 - 0,5395\mu + y_2} \quad (3.17)$$

po uproszczeniu

$$z_1 = 0,6219 - \frac{0,7576 + 0,0861\mu - 0,1595 y_2}{3,8797 - 0,0201\mu} \quad (3.18)$$

ponieważ we wzorze (3.18) wartość  $0,0201\mu$  jest bardzo mała przeto wzór można napisać w postaci przybliżonej

$$z_1 \cong 0,5261 - 0,0222\mu + 0,4020 y_2 \quad (3.19)$$

Tak więc dla  $4,75 + 0,54\mu \leq \frac{k}{p_1} < 8,63 + 0,52\mu$  co odpowiada

$0,6219 \leq z < 0,7814$  lub  $0,131 r_0 \leq d < 0,269 r_0$ ;  $z_1$  oblicza się więc ze wzoru (3.18) lub ze wzoru przybliżonego (3.19).

W przedziale trzecim ( $\alpha_3$ ) pierwsze przybliżenie ( $z_1$ ) metodą siecznych (podobnie jak w przedziałach  $\alpha_1, \alpha_2$ ) wyniesie:

$$z_1 = 0,7814 - \frac{0,1595 (8,6298 + 0,5194\mu - y_2)}{33,3409 + 0,5\mu - y_2 - 8,6298 - 0,5194\mu + y_2}$$

(3.20)



po uproszczeniu:

$$z_1 = 0,7814 - \frac{1,3765 + 0,082\mu - 0,1595 y_2}{24,711 - 0,194\mu} \quad (3.21)$$

lub w postaci przybliżonej

$$z_1 \cong 0,7257 + 0,0065 y_2 \quad (3.22)$$

Wzory (3.21, 3.22) są słuszne dla

$$8,63 + 0,52\mu \leq \frac{k_c}{p_1} \leq 33,34 + 0,5\mu \text{ lub } 0,7814 \leq z \leq 0,9409$$

co odpowiada  $0,0309 r_o \leq d \leq 0,131 r_o$ .

Po podstawieniu średniej wartości  $\mu$  dla betonu, która wynosi 0,15 wzory (3.15), (3.16), (3.18), (3.19), (3.21), (3.22) przybiorą postać:  
wzory (3.15) i (3.16)

$$z_1 = 0,4624 - \frac{0,5233 - 0,1595 y_2}{1,5497} \quad (3.23)$$

$$z_1 \cong 0,1251 + 0,1029 y_2 \quad (3.24)$$

wzory (3.18) i (3.19)

$$z_1 = 0,6219 - \frac{0,7705 - 0,1595 y_2}{3,8767} \quad (3.25)$$

$$z_1 \cong 0,5228 + 0,04020 y_2 \quad (3.26)$$

wzory (3.21) i (3.22)

$$z_1 = 0,7814 - \frac{1,3889 - 0,1595 y_2}{24,682} \quad (3.27)$$

$$z_1 \cong 0,7257 + 0,0065 y_2 \quad (3.28)$$

W celu wyznaczenia wartości grubości obudowy ( $d$ ) (wodo-  
przepuszczalnej gdy przez nią przepływa woda ruchem laminar-  
nym) przekształcono zależność

$$z = \left( \frac{r_o}{r_o + d} \right)^2 \quad x_o = \frac{r_o}{r_o + d} \quad (3.29)$$

skąd

$$d = r_o \left( \frac{1}{\sqrt{z}} - 1 \right) = r_o \left( \frac{1}{x_o} - 1 \right) \quad (3.30)$$

W celu zorientowania się z jaką dokładnością wzory (3.23),  
(3.24), (3.25), (3.26), (3.27), (3.28) pozwalają wyznaczyć  
grubość obudowy wyliczono błąd pierwszego przybliżenia.  
Wzór taki dla  $n$ -go przybliżenia metodą siecznych ma postać

$$\delta = (z_n - \xi) = \frac{|f'(z_n)|}{m} \quad (3.31)$$

gdzie:

$z_n$  -  $n$ -te przybliżenie uzyskane metodą siecznych,

$\xi$  - rzeczywista wartość pierwiastka równania

$m$  - minimum funkcji ( $f'(z)$ ) w rozpatrywanym przedziale.

W przypadku rozważanym przez autora

$$f'(z) = \frac{\mu_1}{(1-z)^2} + \frac{\mu_0}{z(\ln z)^2} > 0 \quad (3.32)$$

dla  $z$  zawartego w przedziale  $[0,4624; 0,9409]$

Druga pochodna funkcji będzie

$$f''(z) = \frac{2\mu_1}{(1-z)^2} + \frac{-\mu_0[(\ln z)^2 + 2 \ln z]}{z^2 (\ln z)^4} \quad (3.33)$$

$$f''(z) = \frac{2\mu_1}{(1-z)^3} - \frac{\mu_0(\ln z + 2)}{z^2 (\ln z)^3} > 0 \quad (3.34)$$

dla  $z > e^{-2} = 0,1353$ . Funkcja  $f'(z)$  jest funkcją rosnącą w rozpatrywanym przedziale (ponieważ  $f''(z) > 0$ ); skąd

$$m = f'(z_0) \quad (3.35)$$

gdzie:

$z_0$  - jest lewym końcem rozpatrywanego przedziału.

Wykorzystując podane powyżej zależności otrzymuje się wzory na błędy obliczonych wartości  $(z)$  w poszczególnych przedziałach. Dla przedziału pierwszego ( $\alpha_1$ ) wzór na oszacowanie wielkości błędu ma postać

$$\delta_z = 0,16 |f(z_n)| \quad (3.36)$$

dla przedziału drugiego ( $\alpha_2$ )

$$\delta_z = 0,071 |f(z_n)| \quad (3.37)$$

dla przedziału trzeciego ( $\alpha_3$ )

$$\delta_z = 0,0238 |f(z_n)| \quad (3.38)$$



W celu wyznaczenia popełnionego błędu przy wyznaczaniu grubości obudowy ( $d$ ) ze wzorów (3.23), (3.24), (3.25), (3.26), (3.27), (3.28), (3.29), (3.30) zróżniczkowano funkcję

$$d = r_o \left( \frac{1}{\sqrt{z}} - 1 \right)$$

i otrzymano

$$\partial d = - \frac{r_o}{2 \sqrt{z^3}} \partial z \quad (3.39)$$

a stąd wzór na oszacowanie wielkości błędu przy obliczaniu grubości obudowy poprzednio wymienionymi wzorami, a więc

$$\delta_d = |\partial d| = \frac{r_o}{2 \sqrt{z^3}} \delta_z \quad (3.40)$$

Zatem wielkość błędów przy obliczaniu grubości obudowy w poszczególnych przedziałach wynosi:

dla przedziału pierwszego  $\alpha_1$

$$\delta_d = \frac{0,08 r_o}{\sqrt{z_1^3}} |f(z_1)| \leq 0,2544 r_o |f(z_1)| \quad (3.41)$$

dla przedziału drugiego  $\alpha_2$

$$\delta_d = \frac{0,035 r_o}{\sqrt{z_1^3}} |f(z_1)| \leq 0,0724 r_o |f(z_1)| \quad (3.42)$$

dla przedziału trzeciego  $\alpha_3$

$$\delta_d = \frac{0,012 r_o}{\sqrt{z_1^3}} |f(z_1)| \leq 0,017 r_o |f(z_1)| \quad (3.43)$$

Otrzymane wzory na grubość obudowy i popełnione błędy przy jej obliczaniu - w oparciu o wyprowadzone wzory dla  $\mu = 0,15$  podaje tablica 1.

Zwiększenie dokładności obliczania grubości obudowy można uzyskać przez podział rozpatrywanego przedziału krzywej na większą ilość części. W przypadku podziału rozpatrywanego zakresu  $z$  na sześć części otrzymuje się wielkości, które wynoszą: zakres rozpatrywany zawarty w przedziale  $z_{\min} = 0,4624$  i  $z_{\max} = 0,9409$  ( $\Delta z = 0,4785$ ,  $\frac{\Delta z}{6} = 0,07975$ ) podzielono na podprzedziały:

$$\alpha_4 = 0,4624 \text{ do } 0,5421$$

$$\alpha_5 = 0,5421 \text{ do } 0,6219$$

$$\alpha_6 = 0,6219 \text{ do } 0,7016$$

$$\alpha_7 = 0,7016 \text{ do } 0,7814$$

$$\alpha_8 = 0,7814 \text{ do } 0,8611$$

$$\alpha_9 = 0,8611 \text{ do } 0,9409$$

w przedziale  $\alpha_4$

$$3,2 + 0,5418\mu \leq \frac{k}{p_1} \leq 3,815 + 0,5512\mu \quad (3.44)$$

$$0,3581 r_0 \leq d \leq 0,4706 r_0 \quad (3.45)$$

$$z_1 = 0,4624 - \frac{0,25504 + 0,0432\mu - 0,0797 y_2}{0,6185 + 0,0103\mu} \quad (3.46)$$

$$z_1 \cong 0,0501 - 0,0698\mu + 0,1289 y_2 \quad (3.47)$$

$z_1$  - wyznaczono z błędem

$$\delta_z = 0,16 |f(z_1)| \quad (3.48)$$

gdzie:

$$f(z_1) = \frac{\mu_1}{1-z} - \frac{\mu_0}{\ln z} - y_2 \quad (3.49)$$

co odpowiada błędowi wyznaczenia  $d$

$$\delta d = \frac{0,08 r_0}{\sqrt{z_1^3}} |f(z_1)| \leq 0,254 r_0 |f(z_1)| \quad (3.50)$$

w przedziale  $\alpha_5$

$$3,8185 + 0,5512\mu \leq \frac{kc}{p_1} \leq 4,75 + 0,5395\mu \quad (3.51)$$

$$0,2681 r_0 \leq d \leq 0,3581 r_0 \quad (3.52)$$

$$z_1 = 0,5421 - \frac{0,3047 + 0,0441\mu - 0,0798 y_2}{0,8315 - 0,0126\mu} \quad (3.53)$$

$$z_1 \cong 0,1757 - 0,053\mu + 0,096 y_2 \quad (3.54)$$

$$\delta z = 0,1034 |f(z_1)| \quad (3.55)$$

natomiast błąd wyznaczania grubości obudowy wynosi

$$\delta d = \frac{0,0517 r_0}{\sqrt{z_1^3}} |f(z_1)| \leq 0,1296 r_0 |f(z_1)| \quad (3.56)$$

w przedziale  $\alpha_6$

$$4,75 + 0,5395\mu \leq \frac{kc}{p_1} \leq 6,1745 + 0,5311\mu \quad (3.57)$$

$$0,1947 r_0 \leq d \leq 0,2681 r_0 \quad (3.58)$$



Tablica 1

Wzory autora na grubość obudowy mrowej szymb w przypadku podziału zakresu  $x_{01}$  do  $x_{02}$  na trzy podzakresy

| $y_2 = \frac{kc}{p_1}$ | Grubość obudowy szymb<br>$d = r_0 \left( \frac{1}{\sqrt{z}} - 1 \right)$  | $z = \left( \frac{r_0}{r_0 + d} \right)^2$ | Błąd popełniony przy obliczaniu grubości obudowy<br>$\delta_d$                    | Wartość odciętej na krzywej $x_0 = \sqrt{z}$ |
|------------------------|---|--|---|--|
| 3,28-4,83              | $d = r_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,125+0,1 y_2}} - 1 \right)$<br>dla $z_1$ przybliżonego<br>$d = r_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,125+0,103 y_2}} - 1 \right)$   | 0,125+0,1 $y_2$<br>0,125+0,103 $y_2$       | $\delta_d = \frac{0,08 r_0}{\sqrt{z_1}}  f(z_1) $<br>$\leq 0,2544 r_0  f(z_1) $   | 0,68-0,79                                    |
| 4,83-8,71              | $d = r_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,427+0,041 y_2}} - 1 \right)$<br>dla $z_1$ przybliżonego<br>$d = r_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,523+0,04 y_2}} - 1 \right)$  | 0,427+0,041 $y_2$<br>0,523+0,04 $y_2$      | $\delta_d = \frac{0,035 r_0}{\sqrt{z_1}}  f(z_1) $<br>$\leq 0,07245 r_0  f(z_1) $ | 0,79-0,884                                   |
| 8,71-33,41             | $d = r_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,731+0,006 y_2}} - 1 \right)$<br>dla $z_1$ przybliżonego<br>$d = r_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,725+0,006 y_2}} - 1 \right)$ | 0,731+0,006 $y_2$<br>0,725+0,006 $y_2$     | $\delta_d = \frac{0,0119 r_0}{\sqrt{z_1}}  f(z_1) $<br>$\leq 0,0171 r_0  f(z_1) $ | 0,884-0,97                                   |

$$z_1 = 0,6219 - \frac{0,3786 + 0,043\mu - 0,0797 y_2}{1,4245 - 0,0084\mu} \quad (3.59)$$

$$z_1 \cong 0,3561 - 0,0302\mu + 0,0559 y_2 \quad (3.60)$$

$$\delta_z = 0,071 |f(z_1)| \quad (3.61)$$

co odpowiada

$$\delta d = \frac{0,0353 r_0}{\sqrt{z_1^3}} |f(z_1)| \leq 0,07245 r_0 |f(z_1)| \quad (3.62)$$

w przedziale  $\alpha_7$

$$6,1745 + 0,5311\mu \leq \frac{kc}{p_1} \leq 8,6298 + 0,5194\mu \quad (3.63)$$

$$0,131 r_0 \leq d \leq 0,1947 r_0 \quad (3.64)$$

$$z_1 = 0,7016 - \frac{0,4927 + 0,0424\mu - 0,0798 y_2}{2,4553 - 0,0117\mu} \quad (3.65)$$

lub że

$$z_1 \cong 0,5009 - 0,0173\mu + 0,0325 y_2 \quad (3.66)$$

$$\delta_z = 0,0444 |f(z_1)| \quad (3.67)$$

co odpowiada

$$\delta d = \frac{0,0222 r_0}{\sqrt{z_1^3}} |f(z_1)| \leq 0,03795 r_0 |f(z_1)| \quad (3.68)$$

w przedziale  $\alpha_8$

$$8,6298 + 0,5194\mu \leq \frac{kc}{p_1} \leq 13,8881 + 0,5101\mu \quad (3.69)$$

$$0,0776 r_0 \leq d \leq 0,131 r_0 \quad (3.70)$$

$$z_1 = 0,7814 - \frac{0,6748 + 0,0414\mu - 0,0797 y_2}{5,2568 - 0,0072\mu} \quad (3.71)$$

lub że:

$$z_1 \cong 0,6530 - 0,0079\mu + 0,0152 y_2 \quad (3.72)$$

przy czym popelnia się błąd

$$\delta_z = 0,0238 |f(z_1)| \quad (3.73)$$

co odpowiada

$$\delta_d = \frac{0,0119 r_0}{\sqrt{z_1^3}} |f(z_1)| \leq 0,0171 r_0 |f(z_1)| \quad (3.74)$$

w przedziale  $\alpha_9$

$$13,8881 + 0,510\mu \leq \frac{kc}{p_1} \leq 33,3409 + 0,5\mu \quad (3.75)$$

$$0,0309 r_0 \leq d \leq 0,0776 r_0 \quad (3.76)$$

$$z_1 = 0,8611 - \frac{1,1082 + 0,0709\mu - 0,0798 y_2}{19,4543 - 0,0122\mu} \quad (3.77)$$



lub że

$$z_1 \cong 0,8041 - 0,0021\mu + 0,0041 y_2 \quad (3.78)$$

przy czym popełnia się błąd

$$\delta_z = 0,00966 |f(z_1)| \quad (3.79)$$

co odpowiada

$$\delta_d = \frac{0,00483 r_o}{\sqrt{z_1^3}} |f(z_1)| \leq 0,006 |f(z_1)| \quad (3.80)$$

Wzory na grubość obudowy i popełniane błędy przy jej określaniu w oparciu o wyprowadzone wzory dla przedziału rozpatrywanego zakresu na sześć podzakresów i dla  $\mu = 0,15$  zestawiono w tabelicy 2. Chcąc uzależnić grubość obudowy od prędkości wypływu wody do szybu oraz od wskaźnika wódoprzepuszczalności obudowy ( $k$ ) skorzystano z podanego w pracy [2] wzoru (47) który ma postać

$$\sigma_t = \frac{v_o}{k} r_o \gamma_w \left[ \frac{(1+\mu)r_o^2}{r_1^2 - r_o^2} + \frac{1-\mu}{2 \ln \frac{r_1}{r_o}} \right] \ln \frac{r_1}{r_o}$$

a którego można napisać w postaci

$$\begin{aligned} \sigma_t = k_c = \frac{1+\mu}{2} \gamma_w \frac{v_o r_o}{k} \frac{(r_o+d)^2 + r_o^2}{(r_o+d)^2 - r_o^2} \ln \left( \frac{r_o+d}{r_o} \right) + \\ + \frac{1+\mu}{2} \gamma_w \frac{v_o r_o}{k} \ln \frac{r_o+d}{r_o} + \frac{1-\mu}{2} \frac{v_o r_o}{k} \gamma_w \end{aligned} \quad (3.81)$$

Tabela 2

Wzory autora na grubość obudowy murowej szybów w przypadku podziału zakresu  $x_0$  do  $x_0^2$  na sześć podzakresów

| $y_2 = \frac{h_0}{P_1}$ | Grubość obudowy szybu<br>$d = x_0 \left( \frac{1}{\sqrt{y_2}} - 1 \right)$   | $x = \left( \frac{x_0}{x_0 + d} \right)^2$         | Błąd popełniony przy obliczaniu<br>grubości obudowy<br>$\delta_d$    | $x_0 = \sqrt{x}$ |
|-------------------------|--|--|--|------------------|
| 3,28-3,9                | $d = x_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,042+0,13 y_2}} - 1 \right)$<br>dla $x_1$ przybliżonego<br>$d = x_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,04+0,13 y_2}} - 1 \right)$   | $0,0424 + 0,127 y_2$<br><br>$0,0396 + 0,1289 y_2$  | $\frac{0,08 x_0}{\sqrt{x_1^3}}  f(x_1)  \leq 0,2544 x_0  f(x_1) $    | $0,68-0,736$     |
| 3,9-4,83                | $d = x_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,16+0,09 y_2}} - 1 \right)$<br>dla $x_1$ przybliżonego<br>$d = x_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,17+0,09 y_2}} - 1 \right)$    | $0,1657 + 0,0906 y_2$<br><br>$0,1678 + 0,096 y_2$  | $\frac{0,0517 x_0}{\sqrt{x_1^3}}  f(x_1)  \leq 0,1296 x_0  f(x_1) $  | $0,736-0,79$     |
| 4,83-5,25               | $d = x_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,35+0,055 y_2}} - 1 \right)$<br>dla $x_1$ przybliżonego<br>$d = x_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,35+0,056 y_2}} - 1 \right)$  | $0,3515 + 0,0555 y_2$<br><br>$0,3516 + 0,0559 y_2$ | $\frac{0,0255 x_0}{\sqrt{x_1^3}}  f(x_1)  \leq 0,07245 x_0  f(x_1) $ | $0,79-0,83$      |
| 5,25-6,71               | $d = x_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,5+0,03 y_2}} - 1 \right)$<br>dla $x_1$ przybliżonego<br>$d = x_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,49+0,03 y_2}} - 1 \right)$     | $0,5011 + 0,032 y_2$<br><br>$0,4983 + 0,0335 y_2$  | $\frac{0,0222 x_0}{\sqrt{x_1^3}}  f(x_1)  \leq 0,03795 x_0  f(x_1) $ | $0,83-0,884$     |
| 6,71-13,96              | $d = x_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,65+0,015 y_2}} - 1 \right)$<br>dla $x_1$ przybliżonego<br>$d = x_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,65+0,0152 y_2}} - 1 \right)$ | $0,6519 + 0,015 y_2$<br><br>$0,6518 + 0,0152 y_2$  | $\frac{0,0119 x_0}{\sqrt{x_1^3}}  f(x_1)  \leq 0,0171 x_0  f(x_1) $  | $0,884-0,921$    |
| 13,96-33,41             | $d = x_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,8+0,004 y_2}} - 1 \right)$<br>dla $x_1$ przybliżonego<br>$d = x_0 \left( \frac{1}{\sqrt{0,8+0,007 y_2}} - 1 \right)$    | $0,805 + 0,0041 y_2$<br><br>$0,8037 + 0,0071 y_2$  | $\frac{0,00483 x_0}{\sqrt{x_1^3}}  f(x_1)  \leq 0,006 x_0  f(x_1) $  | $0,927-0,97$     |

gdzie:  $f(x_1) = \frac{1+x_1}{1-x_1} - \frac{1-\mu}{3 \ln x_1} - \frac{h_0}{P_1}$

Przekształcając dalej wzór (3.81) otrzymamy

$$k_c - \frac{1-\mu}{2} \frac{v_o r_o}{k} \gamma_w = \frac{1+\mu}{2} \frac{v_o r_o}{k} \gamma_w \left[ \frac{(r_o+d)^2 + r_o^2}{(r_o+d)^2 - r_o^2} + 1 \right] \ln \frac{r_o+d}{r_o} \quad (3.82)$$

skąd po przekształceniu

$$\frac{2 k_c k - (1-\mu) v_o r_o \gamma_w}{(1+\mu) r_o v_o \gamma_w} = \frac{1}{\left(\frac{r_o}{r_o+d}\right)^2 - 1} \ln \left(\frac{r_o}{r_o+d}\right)^2 \quad (3.83)$$

oznaczając przez

$$C = \frac{2 k_c k - (1-\mu) v_o r_o \gamma_w}{(1+\mu) r_o v_o \gamma_w}, \quad z = \left(\frac{r_o}{r_o+d}\right)^2 \quad (3.84)$$

otrzymamy

$$\frac{\ln z}{z-1} = C \quad (3.85)$$

$$\text{lub} \quad \ln z = C(z-1) \quad (3.86)$$

Rozwijając funkcję  $\ln z$  według wzoru Taylora w otoczeniu punktu  $z_o = 1$

$$\ln z = (z-1) - \frac{1}{2} (z-1)^2 + \frac{1}{3} (z-1)^3 - \Delta z \quad (3.87)$$

gdzie:

$$\Delta z = \frac{(z-1)^4}{4 \varrho^4}$$

$\varrho$  - jest pewnym punktem z przedziału 1 i z



Podstawiając tą zależność do wzoru (3.86) oraz po pominięciu małej wartości  $\Delta z$

$$(1-C) (z-1) - \frac{1}{2} (z-1)^2 + \frac{1}{3}(z-1)^3 = 0 \quad (3.88)$$

skąd

$$(z-1) \left[ 1 - C - \frac{1}{2} (z-1) + \frac{1}{3} (z-1)^2 \right] = 0 \quad (3.89)$$

ponieważ  $z \neq 1$  więc równanie powyższe można podzielić przez  $(z-1)$  wówczas

$$\frac{1}{3} (z-1)^2 - \frac{1}{2} (z-1) + 1 - C = 0 \quad (3.90)$$

Wprowadzając pomocniczą niewiadomą  $w = (z-1)$ , po uproszczeniu otrzymamy

$$2 w^2 - 3 w + 6 (1 - \beta_0) = 0 \quad (3.91)$$

Z równania (3.91) wyliczono pierwiastki

$$w_1 = \frac{3 - \sqrt{48\beta_0 - 39}}{4}$$

$$w_2 = \frac{3 + \sqrt{48\beta_0 - 39}}{4}$$

skąd otrzymamy zależność

$$z_1 = 1 + w_1$$

$$z_2 = 1 + w_2$$

Z powyższego wynika, że  $z_2 > 1$ , a w rozpatrywanym przedziale  $0,4624 < z < 0,9709$  dlatego wartość  $z_2$  w dalszych rozważaniach pominięto. Uwzględniając powyższe

$$z_1 = 1,75 - 0,25 \sqrt{48 c - 39} \quad (3.92)$$

skąd wynika

$$z_1 = 1,75 - 1,73205 \sqrt{\frac{2 k_c \cdot k - (1-\mu) v_o r_o \gamma_w}{(1+\mu) v_o r_o \gamma_w} - 0,8125} \quad (3.93)$$

Uwzględniając wartość (3.93) we wzorze:

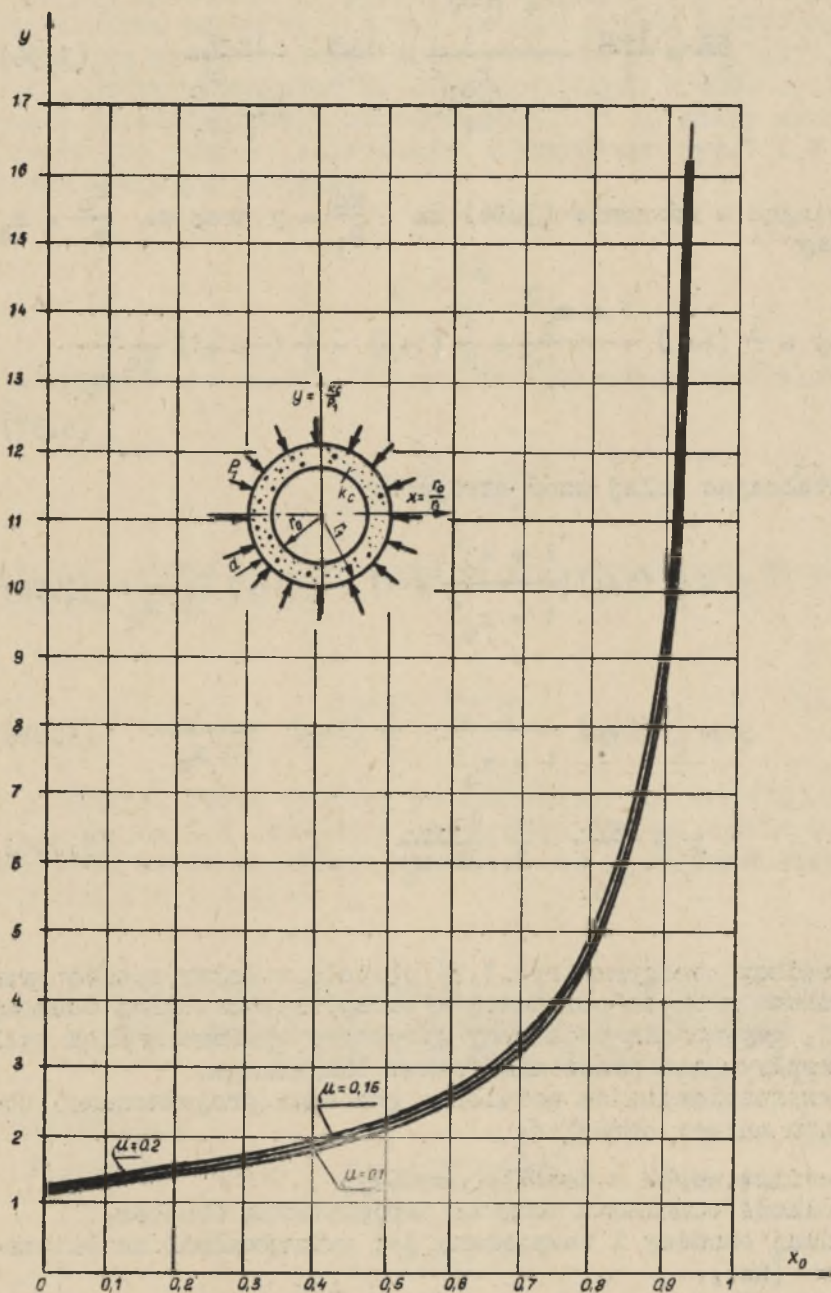
$$d = r_o \left( \frac{1}{\sqrt{z}} - 1 \right)$$

otrzymamy

$$d = r_o \left( \frac{1}{\sqrt{1,75 - 1,732 \sqrt{\frac{2 k_c \cdot k - (1-\mu) v_o r_o \gamma_w}{(1+\mu) v_o r_o \gamma_w} - 0,8125}}} - 1 \right) \quad (3.94)$$

Przy obliczaniu (projektowaniu) wodoprzepuszczalnej obudowy betonowej (murowej) szybów oprócz poprzednio wyprowadzonych wzorów (połączonych w tablicy 1,2) na grubość można skorzystać z nomogramu (rys.1,2). Nomogram (rys.2) dla współczynnika Poissona  $\mu = 0,15, \mu = 0,1, \mu = 0,2$  w układzie bezwymiarowym sporządzono w oparciu o wzór

$$\frac{k_c}{p_1} = \frac{1+\mu}{2} \frac{r_o^2 + r_1^2}{r_1^2 - r_o^2} + \frac{1+\mu}{2} + \frac{1-\mu}{2 \ln \frac{r_1}{r_o}} \quad (3.95)$$



Rys. 2. Monogram do określania grubości obudowy murowej szybu dla różnych współczynników Poissona materiału obudowy



skąd

$$\frac{kc}{p_1} = \frac{1+\mu}{2} \frac{1 + \left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2} + \frac{1+\mu}{2} - \frac{1-\mu}{2 \ln \frac{r_0}{r_1}} \quad (3.96)$$

Podstawiając w równanie (3.96) za  $\frac{kc}{p_1} = y$  oraz za  $\frac{r_0}{r_1} = x_0$  otrzymamy

$$y = \frac{1}{2} (1+\mu) \frac{1 + x_0^2}{1 - x_0^2} + \frac{1}{2} (1+\mu) - \frac{1}{2} (-\mu + 1) \frac{1}{\ln x_0} \quad (3.97)$$

Przekształcając dalej wzór otrzymamy

$$y = \frac{1}{2} (1+\mu) \left( \frac{1 + x_0^2}{1 - x_0^2} + 1 \right) - \frac{1}{2} (1-\mu) \frac{1}{\ln x_0} \quad (3.98)$$

$$y = \frac{1}{2} (1+\mu) \frac{2}{1 - x_0^2} - \frac{1}{2} (1-\mu) \frac{1}{\ln x_0} \quad (3.99)$$

$$y = \frac{1+\mu}{1-x_0^2} - \frac{1}{2} \frac{1-\mu}{\ln x_0} \quad (3.100)$$

Wykreślony nomogram (rys.1,2) pozwala w łatwy sposób wyznaczyć szukaną grubość porowatej i wodoprzepuszczalnej obudowy szybowej, gdy na nią od strony górotworu wywiera nacisk tylko woda przepływająca przez nią ruchem laminarnym.

Przed przystąpieniem do ustalenia grubości projektowanej obudowy szybu należy określić:

- średnicę szybu w świetle obudowy,
- wielkość ciśnienia wody za projektowaną obudową,
- rodzaj obudowy i bezpieczną jej wytrzymałość na ściskanie (kc),
- liczbę Poissona dla materiału obudowy,
- czy wielkość ciśnienia wody za obudową spowoduje przepływ wody przez obudowę ruchem laminarnym czy też burzliwym,
- czy na obudowę wywiera nacisk tylko woda czy też skała.

Po stwierdzeniu, że przepływ wody przez porowatą projektowaną obudowę szybu będzie odbywał się ruchem laminarnym i że na obudowę wywiera nacisk woda; można przy określaniu grubości obudowy korzystać ze wzorów podanych w tablicy 1 i 2 oraz z przedstawionego nomogramu rys.1 i 2. Ażeby wyznaczyć grubość tej obudowy korzystając z nomogramu rys.1 i 2 należy w pierw obliczyć stosunek

$$y = \frac{kc}{p_1}$$

a następnie dla znanej liczby Poissona odczytać wielkość

$$x = \frac{r_0}{r_1} = \frac{r_0}{r_0 + d} \quad (3.101)$$

Szukana grubość obudowy szybu po przekształceniu wzoru (3.101) wyniesie

$$d = r_0 \left( \frac{1}{x_0} - 1 \right) \quad (3.102)$$

Z wykresu rys.2 wynika, że wykreślone krzywe dla  $\mu = 0,1$ ,  $\mu = 0,15$ ;  $\mu = 0,2$  znajdują się bardzo blisko siebie wskutek czego dla celów praktycznych można się posługiwać krzywą wykreśloną dla  $\mu = 0,15$ .

### 3. Przykłady obliczania grubości obudowy szybu oraz sprawdzanie dokładności jej ustalania w oparciu o wzory autora

#### Przykład 1

Przyjmując dane:  $kc = 50 \text{ kg/cm}^2$   
 $p_1 = 5 \text{ kg/cm}^2$   
 $r_0 = 200 \text{ cm}$   
 $\mu = 0,1$

otrzymamy

$$z_1 = 0,7814 - \frac{1,3765 + 0,0083 - 1,595}{24,7111 - 0,0194} = 0,79$$

$$f(z_1) = \frac{1,1}{0,21} + \frac{0,9}{0,2357} - 10 = 0,944$$

$$\varnothing d = 0,1261 r_o = 25,22 \text{ cm}$$

$$\varnothing d = 0,944 \cdot 0,017 r_o = 0,0161 r_o = 3,22 \text{ cm}$$

lub gdy

$$z_1 \cong 0,7257 + 0,0065 \cdot 10 = 0,7907$$

$$d \cong 0,1284 r_o = 24,96 \text{ cm}$$

### Przykład 2

Zachowując dane jak w przykładzie 1, oraz korzystając ze wzoru podanego w tablicy 2 i dla  $y = 10; \mu = 1,1; \mu = 0,9$  otrzymamy:

$z_1$  dla przedziału piątego

$$z_1 = 0,7814 - \frac{0,6748 + 0,0041 - 0,797}{5,2568 - 0,0007} = 0,8041$$

lub w przybliżeniu

$$z_1 \cong 0,6530 - 0,0007 + 0,1520 = 0,8043$$



Grubość obudowy wyniesie

$$d = 0,1152 r_0 = 23,04 \text{ cm}$$

lub

$$d \cong 0,1152 r_0 = 23,04 \text{ cm}$$

$$f(z_1) = (0,8041) = \frac{1,1}{1-0,8041} - \frac{0,9}{\ln 0,8041} - 10 = 0,3084$$

stad błąd wynosi

$$\Delta d = 0,0171 \cdot 0,3084 r_0 = 1,06 \text{ cm}$$

Uzyskane wartości grubości w rzeczywistości (tj. po uwzględnieniu wielkości popeknanego błędu) wynoszą więc:

w przykładzie 1  $d = 22 \text{ cm}$ ; wartość przybliżona  $d = 21,74 \text{ cm}$ ,  
w przykładzie 2  $d = 21,98 \text{ cm}$ .

#### 4. Porównanie (dla danych warunków) wielkości grubości obudowy uzyskanych wzorami własnymi i wzorami dotychczasowymi

Dla porównania na wykresie wartości grubości obudowy -

zależnie od stosunku  $\frac{kc}{p_1}$ , promienia szybu w świetle obudowy, jak i promieniami szybu zewnętrznego + uzyskanych wymienionymi (dotychczasowymi) wzorami poczyniono następujące ich przekształcenia

wzoru Lame 
$$d = r_0 \left( \sqrt{\frac{kc}{kc-2p}} - 1 \right)$$

do postaci 
$$\frac{r_1 - r_0}{r_0} + 1 = \sqrt{\frac{kc}{kc-2p}}$$

skąd po przekształceniu

$$\frac{1}{\left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2} = \frac{kc}{kc-2p}$$

a po podstawieniu za

$$\frac{r_0}{r_1} = x_0 \quad \text{i} \quad \frac{kc}{p} = y$$

i przekształceniu

$$\frac{2}{1-x_0^2} = y \quad (3.103)$$

wzoru Serlo

$$d = \frac{p \cdot r_0}{kc - p}$$

do postaci

$$\frac{r_1 - r_0}{r_0} = \frac{p}{kc - 1}$$

skąd po przekształceniu i wprowadzeniu oznaczeń

$$1 + \frac{x_0}{1 - x_0} = y \quad (3.104)$$

wzoru Hubera

$$d = r_0 \left( \sqrt{\frac{kc}{kc-p\sqrt{3}}} - 1 \right)$$

do postaci

$$\frac{r_1 - r_0}{r_0} + 1 = \sqrt{\frac{kc}{kc - \sqrt{3} p}}$$

skąd po wprowadzeniu oznaczeń i przekształceniu wzór

$$y = \frac{\sqrt{3}}{1 - x_0^2} \quad (3.105)$$

wzoru Heise

$$d = \frac{p \cdot r_0}{kc}$$

do postaci

$$\frac{x_0}{1 - x_0} = y \quad (3.106)$$

wzoru Bacha

$$d = \frac{2 \cdot p \cdot r_0}{1,7 kc - 3p}$$

do postaci

$$\frac{r_1 - r_0}{r_0} = \frac{2}{1,7 \frac{kc}{p} - 3}$$

skąd po wprowadzeniu oznaczeń i przekształceniu wzór

$$y = \left( \frac{3}{2} + \frac{x_0}{1 - x_0} \right) \frac{2}{1,7} \quad (3.107)$$

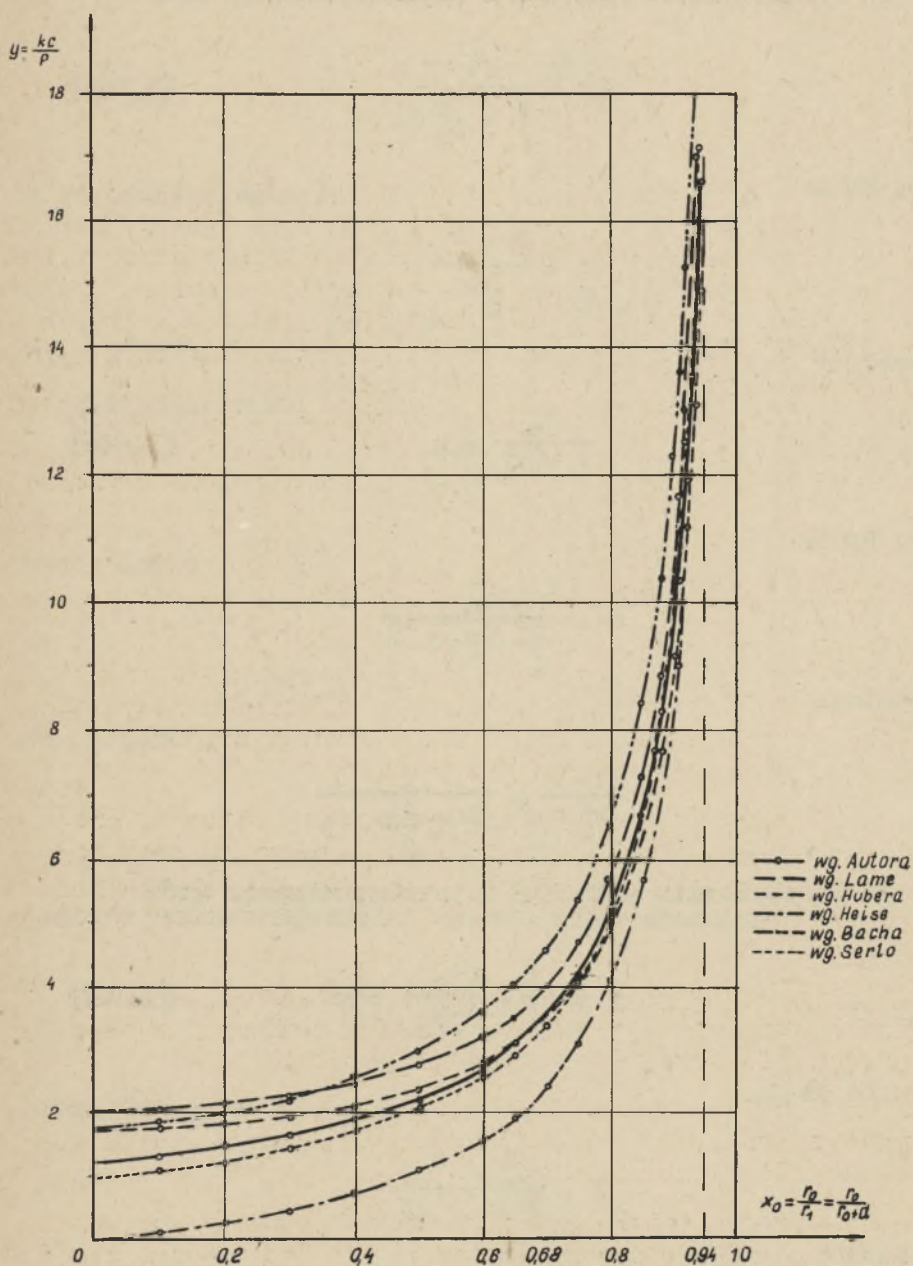
wzoru De Noela

$$d = \frac{2p \cdot r_0}{2 kc - 3p}$$

do postaci

$$\frac{1 - \frac{r_0}{r_1}}{\frac{r_0}{r_1}} = \frac{2}{2 \frac{kc}{p} - 3}$$





Rys.3. Nomogram do określania grubości obudowy szybowej sporządzony w oparciu o wzory autora, Lame, Hubera, Heise, Bacha i Serlo

skąd po wprowadzeniu oznaczeń i przekształceniu

$$y = \frac{3}{2} + \frac{x_0}{1-x} \quad (3.108)$$

Wstawiając do wzoru (3.103), (3.104), (3.105), (3.106), (3.107), (3.108) za  $x$  wartości od 0 do 0,94 oraz po naniесieniu otrzymanych liczb we współrzędne prostokątne  $x, y$  otrzymuje się wykres rys.3. Krzywa według wzoru autora wykreślona została dla  $\mu = 0,15$ . Obserwując przebieg krzywych widzimy, że najbardziej zgodny kierunek posiadają krzywe wykreślone według wzoru autora, Lame i Hubera.

Liczbowe wartości grubości obudowy uzyskane wzorami autora Lame, Hubera, Serlo dla  $kc_1 = 66 \text{ kg/cm}^2$ ,  $kc_2 = 36 \text{ kg/cm}^2$  i  $kc_3 = \text{kg/cm}^2$  oraz  $p = \text{od } 1 \text{ do } 5 \text{ atn}$  zestawiono w tablicy 3.

## 5. Zakończenie

Zestawiając ze sobą wyniki otrzymane w oparciu o wzory autora i wzory dotychczasowe można wypowiedzieć następujące wnioski, dotyczące wielkości grubości obudowy szybowej współpracującej z górotworem zawodnionym:

1. Dotychczasowe wzory na grubość obudowy szybowej nie właściwie stosuje się do projektowania obudowy murowej wodnieprzepuszczalnej, a w szczególności do projektowania obudowy wodoprzepuszczalnej wykonywanej w górotworze zawodnionym.

2. Wyprowadzone wzory przez autora uwzględniają rodzaj materiału, stopień wodoprzepuszczalności obudowy i z tego względu bardziej odpowiadają rzeczywistości.

3. Korzystając ze wzorów podanych w pracy uzyskuje się mniejsze grubości obudowy co jest bardzo ważne z punktu widzenia kosztów głębenia szybu.

4. Przy projektowaniu grubości ścianki obudowy murowej można posługiwać się nomogramem rys.1 i 2 co w dużym stopniu ułatwia przebieg obliczeń.

Tablica 3

Wartości grubości obudowy murowej szybu wyliczone wzorami autora, Lame, Hubera i Serlo dla jednakowych parametrów zachodzących przy współpracy obudowy z górotworem

| Wartość<br>stosunku<br>$\frac{kc}{p} = y$ | Zakres ciśnień dla przedziałów<br>$y$ i $kc_1$ ,<br>$kc_2$ , $kc_3$ | Grubość obudowy szybu wyliczona wzorami         |   |  |                                    |
|---|---|---|---|--|------------------------------------|
|   |   | A u t o r a                                     | L a m e   | H u b e r a  | S e r l o                          |
|   |   | $d = r_0 \left( \frac{1}{\sqrt{2}} - 1 \right)$ | $d = r_0 \left( \sqrt{\frac{\frac{kc}{p}}{\frac{kc}{p} - 2}} - 1 \right)$ | $d = r_0 \left( \sqrt{\frac{\frac{kc}{p}}{\frac{kc}{p} - \sqrt{3}}} - 1 \right)$ | $d = \frac{r_0}{\frac{kc}{p} - 1}$ |
|   |   | $r_0 = 1,5m$                                    | $r_0 = 1,5m$  | $r_0 = 1,5m$   | $r_0 = 1,5m$                       |
| 3,28-4,83                                 | 20,1 - 13,8<br>10,9 - 7,0<br>4,8 - 3,3                              | 3,5m  | 3,5m  | 3,5m   | 3,5m                               |
|   |   | 1,73-0,98                                       | 2,1-1,05  | 0,67-0,37  | 1,57-0,87                          |
| 4,83-8,71                                 | 13,8-7,6<br>7,4 - 4,1<br>3,3 - 1,8                                  | 0,91-0,4  | 0,45-0,21   | 0,37-0,18  | 0,4-0,19                           |
|   |   | 0,19-0,16                                       | 0,21-0,18   | 0,18-0,10  | 0,19-0,12                          |
| 8,71 -<br>13,2 -<br>33,41                 | 7,6-5-1,9<br>4,1-2,7-1,07<br>1,8-1,2-0,4                            | -0,06<br>-0,14                                  | 0,49-0,29   | -0,04<br>-0,09   | -0,04<br>-0,11                     |



## LITERATURA

- [1] M.Chudek: Wodoprzepuszczalność obudowy murowej szybów. Przegląd Górnictwa nr 3, 1963.
- [2] M.Chudek: Odkształcenia i stan naprężeń wodoprzepuszczalnej obudowy murowej szybów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo z.5, 1963.
- [3] M.Chudek: Obudowa kombinowana wyrobisk pionowych. Przegląd górnictwa nr 12, 1961.

К ВОПРОСУ О УСТАНОВЛЕНИИ ПРИСУЩЕЙ  
СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ КИРПИЧНОГО КРЕПЛЕНИЯ СТВОЛОВ  
И ОБВОДЕННОГО ГОРНОГО МАССИВА

## Р е з ю м е

В работе обсуждено вопрос совместной работы кирпичного крепления и обводненного массива, а также поданы новые формулы вычисления толщины стенок такого крепления. Из числа применяемых до сих пор формул вычисления толщины крепления ствола, формулы автора больше всего учитывают свойства материала крепления и должны быть применяемые при проектировании толщины этого крепления в обводненном горном массиве. Поданы номограммы определяющие толщину крепления а также проведено начертательные и числовое сравнение её величин полученных при помощи формул автора, Ламе, Хубера, Серло.

BEITRAG ZU DER FESTSTELLUNG DER MITARBEIT  
DES WASSERFÜHRENDES GEBIRGES

Z u s a m e n f a s s u n g

In der Arbeit wurde das Problem der Mitarbeit der Maueraus-  
baug mit dem wasserführendem Gebirge und es wurden neue  
Formeln für die Berechnung der Stärke der Mauer. Aus den  
bisher gebrauchten Formeln zur Berechnung der Stärke der  
Schachtausbaug sind die Formeln des Verfassers am meistens  
berücksichtigend für die Eigenschaften des Baumaterials und  
müßten bei dem Projektieren der Stärke der Ausbaug bei  
wasserführendem Gebirge angewendet werden. Es wurden nomo-  
gramm zur Bestimmung der Stärke der Ausbaug und graphische  
und zifferische Vergleiche der Werte der Stärke aus den  
Formeln des Verfassers **Lame, Hubera und Serlo.**