ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: GÓRNICTWO z. 112

Nr kol. 697

Kazimierz PODGÓRSKI, Henryk KLETA

DOBÓR OBUDOWY TUBINGOWO-BETONOWEJ SZYBU W PRZYPADKU JEJ NIERÓWNOMIERNEGO OBCIĄŻENIA

> <u>Streszczenie</u>. W pracy przedstawiono zagadnienie współpracy obudowy tubingowo-betonowej z górotworem w przypadku jej nierównomiernego obciążenia. Zależneści służące do obliczania obudowy podano dla dwóch wariantów jej współpracy z górotworem. W pierwszym wariancie pomiędzy pierścieniami obudowy występuje tzw. pełny kontakt, natomiast w drugim wariancie występuje odspojenie tubingu od obudowy wstępnej.

## 1. Wstęp

Trudne warunki hydrogeologiczne, występujące m.in. w Rybnickim Okręgu Węglowym oraz Lubelskim Zagłębiu Węglowym, powodują konieczność stosowania zespolonej obudowy tubingowo-betonowej. Obudowa taka składa się przeważnie z prefabrykatów (obudowa wstępna), koszulki betonowej i tubingów (rys. 1). W procesie projektowania obudowy tubingowo-betonowej należy



Rys. 1. Schemat obciążenia obudowy tubingowo-betonowej

#### K. Podgórski, H. Kleta



Rys. 2. Schemat obliczeniowy obudowy tubingowo-betonowej uwzględnić szereg zjawisk, które w scosób istotny wpływają na jej współpracę z górotworem. Do zjawisk tych należy zaliczyć mrożenie, pełzanie skał podczas drążenia szybu, skurcz betonu stanowiącego koszulkę betonową oraz wpływ eksploatacji górniczej.

Zagadnienie obliczania obudowy tubingowo-betonowej przedstawiono w dwóch wariantach:

- wariant pierwszy dotyczy pełnego kontaktu pomiędzy poszczególnymi pierścieniami obudowy, jak również górotworem, tzn. oprócz naprężeń normalnych występują naprężenia styczne,
- w wariancie drugim między tubingiem, a betonem istnieje możliwość powstania niepełnego kontaktu.

# Podstawy teoretyczne obliczania obudowy tubingowo-betonowej

Zagadnienie współpracy obudowy tubingowo-be-

tonowej z górotworem rozpatrzono w oparciu o ogólne rożwiązanie matematycznej teorii sprężystości dla kołowego pierścienia, podane przez N.I. Muscheliszwilego [4]. Wykorzystano również rozwiązanie N.S. Bułyczewa [2] dotyczące współpracy obudowy kołowej z górotworem w przypadku jej nierównomiernego obciażenia.

W rozwiązaniu N.I. Muscheliszwilego dla kołowego pierścienia biharmoniczna funkcja naprężeń U(x,y) została przedstawiona za pomocą dwóch funkcji zmiennej zespolonej z = x + iy. Wówczas składowe stanu naprężenia oblicza się z układu równań

$$G_r + G_0 = 2[\phi(z) + \phi(z)]$$

$$G_0 - G_r + 2i\tau_{r0} = 2e^{2i\theta} z \phi'(z) + \Psi(z)$$

(1)

gdzie:

| 6, . G <sub>0</sub> | - naprężenia radialne, obwodowe,                              |
|---------------------|---|
| TrA                 | - naprężenia styczne,   |
| $\phi(z), \Psi(z)$  | – funkcje Kołosowa zmiennej zespolonej z = re <sup>i9</sup> . |
| φ(z)                | - pochodna funkcji Kołosowa względem zmiennej zespolonej z,   |
| $\Phi(z)$           | - sprzężona funkcja Kołosowa,                                 |
| r,0                 | - współrzędne biegunowe.                                      |





Rys. 3. Przebieg naprężeń radialnych i stycznych na kontakcie obudowy tubingowej z betonem

d

a) rozkład naprężeń radialnych działających na obudowę tubingową. b+ rozkład naprężeń stycznych na zewnętrznej ściance obudowy tubingowej, c) rozkład naprężeń radialnych przy niebełnym kontakcie pomiędzy obudowa tubingową a betonem, d) rozkład naprężeń radialnych przy niepełnym kontakcie I występowaniu ciśnienia wody

1 - pierścień obudowy tubingowej, 2 - naprężenia radialne, 3 - naprężenia styczne

Przemieszczenia u, v ckreśla równanie

$$2G(u + iv) = e^{-i\Theta} \left[ \mathcal{U}\varphi(z) + \overline{z \varphi'(z)} - \psi(z) \right]$$
(2)

gdzie:

 $\Psi(z), \Psi(z)$  - potencjały funkcji Kołosowa,

🗶 – stała, zależna od stanu naprężenia i odkształcenia.

Postecie funkcji Kołosowa lub ich potencjałów występujące w równaniach (1) i (2) dla przyjętych warunków brzegowych określa się za pomoca szeregów Fouriera zmiennej zespolonej. Zagadnienie wsoółpracy obudowy tubingowo-betonowej z górotworem rozpatrzono dla schematu obliczeniowego przedstawionego na rys. 1. Pełne rozwiązanie uzyskano stosując zasadę superpozycji, przy czym porównując przemieszczenia dla poszczegolnych pierścieni obudowy tubingowo-betonowej określono tzw. współczynniki przekazywania obciążeń.

2.1. Współpraca obudowy tubingowo-betonowej z górotworem przy nierównomiernym jej obciążeniu

Przy obliczaniu obudowy tubingowo-betonowej uwzględniono nierównomierne obciążenie związane z budową geologiczną górotworu oraz wpływem eksploatacji górniczej. Dla celów praktycznych zastosowano uproszczony schemat obliczeniowy, w którym założono, że przebieg ciśnienia górotworu na obudowę szybu będzie zbliżony do elipsy. Wykorzystując zależności podane w pracach [2, 4] wyprowadzono równania określające oddziaływanie górotworu na poszczególne pierścienie obudowy tubingowo-betonowej.

### - Oddziaływanie górotworu na obudowę wstępną z prefabrykatów

 $6_r = n_0 + p_3 + p_2 \cos 2\theta$ 

 $\overline{t} = q_2 \sin 2\theta$ 

gdzie:

p. - średnia wielkość ciśnienia górotworu na obudowę wstępną.

$$p_{o} = \frac{p_{max} + p_{min}}{2}$$

o<sub>max</sub> - maksymalne/ ciśnienie górotworu na obudowę wstępną. p<sub>min</sub> ~ minimalne ciśnienie górjotworu na obudowę wstępną. p<sub>2</sub> - wielkość nierównomiernego ciśnienia.

60

(3)

Dooór obucowy tubingowo-betonowej szybu...

$$p_2 = \frac{p_{max} - p_{min}}{2}$$

- p<sub>3</sub> wielkość ciśnienia górotworu uwzględniająca zawodnienie,
- q<sub>2</sub> wielkość maksymalnego naprężenia stycznego na kontakcie obudowa wstępna-górotwór,
- ⊚ współrzędna piegunowa.

Wielkości ciśnienia gorotworu na obudowę wstępną określają zależności:

$$p_{0} = (G_{2} + G_{3})^{2} \frac{G_{2}}{G_{5}} \frac{c_{3}^{2} - 1}{2 \frac{G_{2}}{G_{5}}(c_{3}^{2} - 1) + c_{3}^{2}(x_{2} - 1) + 2}$$

$$p_2 = (6_2, -6_3) p_3 \Re_s \frac{G_2}{G_s} \frac{c_3^4 (3 - c_3^2) - Q}{p_4}$$

$$a_2 = (6_2 - 6_3) D_3 *_6 \frac{G_2}{G_5} \frac{c_3^4(3 + c_3^2) + 0}{D_4}$$

$$D_{3} = \frac{(c_{3}^{2} - 1)^{3}}{\mathscr{R}_{2} + 1}; \quad Q = D_{3}(\frac{C_{2}}{C_{3}} - 1); \qquad \beta = \frac{c_{3}^{4}(3 + c_{3}^{2}) + Q}{c_{3}^{4}(3 - c_{3}^{2}) - Q}$$

$$D_{4} = \left[c_{3}^{4}(3 - c_{3}^{2}) - Q\right] \left[c_{3}^{2}(2c_{3}^{2} - \beta + 1) - (Q_{1} + D_{3})(\beta - 1)\right]$$

$$Q_{1} = 1 + \mathscr{R}_{s} \frac{C_{2}}{C_{s}} D_{3}; \quad \mathscr{R}_{2} = 3 - 4\mathscr{I}_{2}; \quad \mathscr{R}_{s} = 3 - 4\mathscr{I}_{s}$$

$$(4)$$

$$c_3 = \frac{R_3}{R_2} = 1 + \frac{d}{R_0 + 2(0.03 + 0.01 \cdot x)}; \quad 2 = 1 + \frac{0.03 + 0.01 \cdot x}{R_0 + 0.03 + 0.01 \cdot x}$$

$$C_{1} = \frac{R_{0} + 0,03 + 0,01 \cdot x}{R_{0} + 0,03 + 0,01 \cdot x - \frac{4(0,03 + 0,01 \cdot x)}{R_{0} + 0}}$$

gdzie:

- R<sub>0</sub> promień szybu w świetle obudowy,
   R<sub>2</sub> promień wewnętrzny obudowy wstępnej,
  - R<sub>3</sub> promień szybu w wyłomie,
- a grubość obudowy wstępnej,
- h wysokość tubingu,
- szerokość żeber tubingu,

- współczynnik grubości obudowy tubingowej,
- $G_2$  naprężenia poziome w płaskim stanie odkształcenia w kierunku osi y,  $G_3$  naprężenia poziome w płaskim stanie odkształcenia w kierunku osi x,

$$G_3 = \propto G_{3p} + G_{3d}$$

- б<sub>ар.</sub>;б<sub>3р.</sub> naprężenia poziome pierwotne masywu skalnego w płaskim stanie odkształcenia w kierunku osi y i x,
- G<sub>2d.</sub>; G<sub>3d.</sub> naprężenia poziome dodatkowe (od wpływu eksploatacji górniczej, odmrażania skał itp.) w płaskim stanie odkształcenia w kierunku osi y i x,
  - OĘ współczynnik wpływu odkształceń ociosów szybu na wielkość obciążenia obudowy wstępnej, uwzględniający wpływ opóźnienia wykonania obudowy wstępnej i ostatecznejoraz wpływ skurczu koszulki betonowej.
- Gg; G2 zastępcze moduły sprężystości dla skał i obudowy wstępnej,

 $v_{\rm g}; v_{\rm p}$  - liczba Poissona dla skał i obudowy wstępnej.

- Oddziaływanie górotworu na ściankę tubingu

 $6_r = p_0' + p_4 + p_w + p_2' \cos 2\theta$ 

"ũ= q₂sin20

#### gdzie:

| P'o |    | średnia wielkość ciśnienia górptworu na ściankę tubingu,     |
|-----|----|--|
| P4. | Pw | ciśnienia uwzględniające zawodnienie,                        |
| P2  |    | wielkość nierównomiernego ciśnienia górotworu na ściankę tu- |
| -   |    | bingu,   |
| 92  |    | maksymalne naprężenia styczne na kontakcie obudowa wstępna-  |

- -ścianka tubingu.
- Oddziaływanie górotworu na pierścień zastępczy żeber tubingu

 $\vec{b}_{r}^{"} = (p_{0}^{"} + p_{5} + p_{2}\cos 2\theta)(1 + \frac{b}{a})$  $\vec{c} = q_{2}(1 + \frac{b}{a})\sin 2\theta$ 

(5)

(6)

## Dobór obudowy tubingowo-betonowej szybu...

gdzie:

.

- $p_0^{\prime\prime}$  średnia wielkość ciśnienia górotworu na pierścień zastępczy żeber ' tubingu,
- p<sub>5</sub> ciśnienie uwzględniające zawodnienie,
- p2 wielkość nierównomiernego ciśnienia górotworu,
- q<sub>2</sub>" maksymalne naprężenia styczne na kontakcie ścianka tubingu-pierścień zastępczy żeber tubingu.

Ciśnienia na ściankę tubingu i pierścień zastępczy żeber oblicza się za pomocą tzw. współczynników przekazywania obciążenia [2] ze wzorów

 $p'_0 = p_0 K_2$ 

 $p_0 = p_0 K_1 K_2$ 

$$p_2 = p_2 K_{2pp} + q_2 K_{2pq}$$

$$p_2 = p_2(K_{1pp}K_{2pp} + K_{1pq}K_{2qp}) + q_2(K_{1qp}K_{2pq} + K_{1pq}K_{2qp})$$

 $q_2 = q_2 K_{2qq} + p_2 K_{2qp}$ 

$$q_2 = p_2(K_{1qq}K_{2qp} + K_{1qp}K_{2pp}) + q_2(K_{1qq}K_{2qq} + K_{1qp}K_{2pq})$$

gdzie:

Ciśnienia uwzględniające zawodnienie górotworu oblicza się ze wzorow

$$P_4 = P_W \frac{A - B}{C + B - D - A}$$
  
 $P_3 = \frac{C}{(\mathscr{U}_2 + 1)c_3^2}$ 

(8)

(7)

$$p_{5} = -(p_{4} + p_{w}) \frac{(c_{1}^{2}-1)c_{2}^{2}(\aleph_{1}+1)}{(c_{1}^{2}-1)(\aleph_{1}-1-2c_{2}^{2}) + (1 + \frac{b}{a})(c_{2}^{2}-1)c_{1}^{2}(\aleph_{1}+1)}$$

(9)

gdzie:

$$= \frac{G_2(c_1^2-1)(c_1^2-1)c_2^2(\varkappa_1+1)^2}{G_1(c_1^2-1)(c_2^2-1)(\varkappa_1-1+2c_2^2) + (1+\frac{b}{b}G_1(c_2^2-1)^2c_1^2(\varkappa_1+1))}$$

🗶 – współczynnik Muscheliszwilego dla tubingu,

$$B = \frac{G_{s}(\mathscr{U}_{2}+1)^{2} c_{3}^{2}}{2G_{2}(c_{3}^{2}-1) + G_{s}c_{3}^{2}(\mathscr{U}_{2}-1) + c_{s}^{2}c_{3}^{2}}$$
$$C = \frac{G_{s}(\mathscr{U}_{2}+1)^{2} c_{3}^{2}}{2G_{2}(c_{3}^{2}-1) + G_{s}c_{3}^{2}(\mathscr{U}_{2}-1) + 2]}$$

G1 - zastępczy moduł sprężystości dla materiału obudowy tubingowej,

 $D = \mathcal{H}_2 - 1 + 2c_3^2$ 

Współczynniki przekazywania obciążenia oblicza się z zależności:

$$K_{1} = \frac{c_{2}^{2}(x_{1}^{*}+1)}{(x_{1}^{-1}+2c_{2}^{2}) + (1+\frac{b}{a})[c_{1}^{2}(x_{1}^{-1}) + 2]}$$

$$a = 0.03 + 0.01 + x; \quad b = \frac{h_{0} + 4a}{3}; \quad x = 0.1.2....10$$

$$x = \left(\frac{c_{2}^{*}+1}{c_{1}^{2}+1}\right)^{3}(1+\frac{b}{a}); \quad D_{1} = \frac{(c_{1}^{2}-1)^{3}}{2(1+\frac{b}{a})}; \quad D_{2} = \frac{(c_{2}^{2}-1)^{3}}{2(1+\frac{b}{a})(1+\frac{b}{a})};$$

$$A_{1} = 3c_{2}^{2} + 1 + D_{2} + x\left[(c_{1}^{2} + 3)c_{1}^{4} - D_{1}\right]$$

$$A_{2} = c_{2}^{2}(1+c_{2}^{2} + c_{2}^{2}) - D_{2} + x\left[2c_{1}^{4} + c_{1}^{2} + 1 + D_{1}\right]$$

$$B_{1} = 3c_{2}^{2} - 1 - D_{2} + x\left[(3-c_{1}^{2})c_{1}^{4} + D_{1}\right]$$

$$B_{2} = c_{2}^{4}(c_{2}^{2} + 1) - D_{2} + x\left[c_{1}^{2} + 1 + D_{1}\right]$$

$$F_{1} = c_{2}^{2}(3+c_{2}^{2}); \quad F_{2} = c_{2}^{2}(2c_{2}^{4} + c_{2}^{2} + 1)$$

Dobór obudowy tubincowo-betonowej szybu...

$$\begin{split} & H_{1} = c_{2}^{2}(3 - c_{2}^{2}); \quad H_{2} = c_{2}^{2}(c_{2}^{2} + 1) \\ & \kappa_{1pp} = \frac{B_{1}F_{2} - 3_{2}F_{1}}{A_{2}B_{1} - A_{1}B_{2}}; \quad \kappa_{1pp} = \frac{B_{2}H_{1} - B_{1}H_{2}}{A_{2}B_{1} - A_{1}B_{2}} \\ & \kappa_{1qp} = \frac{A_{1}F_{2} - A_{2}F_{1}}{A_{2}B_{1} - A_{1}B_{2}}; \quad \kappa_{1qq} = \frac{A_{2}H_{1} - A_{1}H_{2}}{A_{2}B_{1} - A_{1}B_{2}} \\ & \kappa_{2} = \frac{c_{3}^{2}(\kappa_{2} + 1)}{(\kappa_{2} + 1 + 2c_{3}^{2}) + \frac{\omega_{2}(1 + b/e)}{C_{1}} \frac{c_{3}^{2} - 1}{c_{2}^{2} + 1} \Big[ c_{2}^{2}(\kappa_{1} - 1) + 2 - \kappa_{1}(\kappa_{1} + 1) \Big] \\ & \Lambda_{11} = 3c_{3}^{2} + 1 + D_{3} + \kappa_{1} \Big[ (3 + c_{2}^{2})c_{2}^{2} - D_{2} \Big] - \kappa_{1} \Big[ c_{2}^{2}(3c_{2}^{2} + 1)\kappa_{1pp} - c_{2}^{2}(3c_{2}^{2} - 1)\kappa_{1pq} \Big] \\ & \Lambda_{12} = 2c_{3}^{2} + c_{3}^{6} + c_{3}^{4} - 0_{3} + \kappa_{1}(2c_{2}^{4} + c_{2}^{2} + 1 + D_{2}) - \kappa_{1} \Big\{ \Big[ c + c_{2}^{2}(c_{2}^{2} + 1) \Big] \kappa_{1pp} - c_{2}^{2}(c_{2}^{2} + 1)\kappa_{1qq} \Big\} \\ & B_{11} = 3c_{3}^{2} - 1 - D_{3} + \kappa_{1} \Big[ c_{2}^{4}(3 - c_{2}^{2}) + D_{2} \Big] + \kappa_{1} \Big[ c_{2}^{4}(3c_{2}^{2} + 1)\kappa_{1pq} - c_{2}^{2}(3c_{2}^{2} - 1)\kappa_{1qq} \Big] \\ & B_{12} = c_{3}^{4}(c_{3}^{2} + 1) - D_{3} + \kappa_{1}(c_{2}^{2} + 1 + D_{2}) + \kappa_{1} \Big\{ \Big[ (kc_{2}^{2}(c_{2}^{2} + 1) \Big] \kappa_{1pq} - c_{2}^{2}(c_{2}^{2} + 1)\kappa_{1qq} \Big\} \\ & F_{11} = c_{3}^{2}(c_{3}^{2} + 3); \quad F_{12} = c_{3}^{2}(2c_{3}^{4} + 1 + c_{3}^{4}); \quad H_{11} = c_{3}^{2}(3 - c_{3}^{2}); \quad H_{12} = c_{3}^{2}(c_{3}^{2} + 1) \\ & D_{2} = \frac{(c_{2}^{2} - 1)^{3}}{\kappa_{2} + 1}; \quad \kappa_{1} = \frac{G_{2}(1 + b/e)}{c_{1}} \Big( \frac{c_{3}^{2} - 2}{c_{2}^{2} - 1} \Big)^{3} \frac{\delta_{1} + 1}{\delta_{2}} \\ & \kappa_{2pp} = \frac{B_{11}F_{12} - B_{12}F_{11}}{A_{11}B_{12}}; \quad \kappa_{2pq} = \frac{B_{12}H_{11} - B_{11}H_{12}}{A_{12}B_{11} - A_{11}B_{12}} \\ & \kappa_{2qq} = \frac{A_{12}H_{11} - A_{11}H_{12}}{A_{12}B_{11} - A_{11}B_{12}} \Big; \quad \kappa_{2qp} = \frac{A_{11}F_{12} - A_{12}F_{11}}{A_{12}B_{11} - A_{11}B_{12}} \\ \end{array}$$

Zależności pozwalające obliczyć wielkość naprężeń obwodowych w obudowie wstępnej posiadają postać:

- dla 
$$r = R_2$$

$$G_{01} = G_{011} + G_{012} + G_{013}$$

gdzie:

 $G_{\Theta12}$  - naprężenie obwodowe odpowiadające nierównomiernemu ciśnieniu p<sub>2</sub> i p<sub>2</sub> oraz maksymalnym naprężeniom stycznym q<sub>2</sub> i q<sub>2</sub>'.  $G_{\Theta13}$  - naprężenie obwodowe odpowiadające ciśnieniu p<sub>3</sub> i p<sub>4</sub>.

- dla r= R2

G

$$\begin{split} \mathbf{f}_{911} &= \frac{1}{c_3^2 - 1} \left[ 2c_3^2 \mathbf{p}_0 - (c_3^2 + 1)\mathbf{p}_0^{\prime} \right] \\ \mathbf{h}_{12} &= -\frac{1}{(c_3^2 - 1)^2} \left\{ 4c_3^2 \left[ \mathbf{p}_2 (c_3^2 + 1) - \mathbf{q}_2 \right] - \mathbf{p}_2 \left[ (c_3^2 + 1)^2 + 4c_3^2 \right] + \\ &+ 2\mathbf{q}_2^{\prime} \left[ (c_3^2 + 1)^2 - 2 \right] \right\} \cos 2\theta \\ \mathbf{f}_{913} &= \frac{1}{c_3^2 - 1} \left[ -2c_3^2 \mathbf{p}_3 + (c_3^2 + 1)\mathbf{p}_4 \right] \end{split}$$
(10)

- die r = R3

$$\begin{aligned} & 6_{\Theta 2} = 6_{\Theta 14} + 6_{\Theta 15} + 6_{\Theta 16} \\ & 6_{\Theta 14} = \frac{1}{c_3^2 - 1} \left[ (c_3^2 + 1) p_0 - 2p_0 \right] \\ & 6_{\Theta 15} = \frac{1}{(c_3^2 - 1)^2} \left\{ p_2 \left[ 4c_3^2 + (c_3^2 + 1)^2 \right] + 2q_2 \left[ (c_3^2 - 1)^2 - 2 \right] - \\ & - 4p_2' (c_3^2 + 1) + 4q_2' c_3^2 \right\} \cos 2\theta \\ & 6_{\Theta 16} = \frac{1}{c_3^2 - 1} \left[ - p_3 (c_3^2 + 1) + 2p_4 \right] \end{aligned}$$
(11)

Naprężenia obwodowe w ściance tubingu - dla r = R

G<sub>03</sub> = G<sub>021</sub> + G<sub>022</sub> + G<sub>023</sub>

gdzie:

$$\tilde{G}_{021} = \frac{1}{c_2^2 - 1} \left[ 2c_2^2 \rho'_0 - (c_2^2 + 1) \rho''_0 \right]$$

(12)

Dobór obudowy tubingowo-betonowej szybu...

$$G_{022} = -\frac{1}{(c_2^2 - 1)^2} \left\{ 4c_2 \left[ p_2'(c_2^2 + 1) - q_2' \right] - p_2'' \left[ (c_2^2 + 1)^2 + 4c_1'' \right] + \frac{1}{c_2''} \left[ (c_2^2 + 1)^2 - 2 \right] \right\} \cos 2\theta$$

$$G_{023} = \frac{1}{c_2'' - 1} \left[ 2c_2^2(p_4 + c_w) + (c_2^2 + 1)p_5 \right]$$
(12)

- dla  $r = R_2$ 

$$G_{04} = G_{024} + G_{025} + G_{026}$$

gdzie:

$$G_{\Theta 24} = \frac{1}{c_2^2 - 1} \left[ (c_2^2 + 1) p_0 - 2p_0^* \right]$$

$$G_{\Theta 25} = \frac{1}{(c_2^2 - 1)^2} \left\{ p_2' \left[ 4c_2^2 + (c_2^2 + 1)^2 \right] + 2q_2' \left[ (c_2^2 - 1)^2 - 2 \right] - \frac{1}{c_2^2 - 1} \left[ (c_2^2 + 1) + 4q_2'' c_2^2 \right] \cos 2\theta \right]$$

$$G_{\Theta 26} = \frac{1}{c_2^2 - 1} \left[ (c_2^2 + 1) (p_4 + p_w) + 2p_5 \right]$$
(13)

Naprężenia obwodowe w pierścieniu zastęnczym żeber tubingu - dla r = R

6<sub>05</sub> = 6<sub>031</sub> + 6<sub>032</sub> + 6<sub>033</sub>

gdzie:

$$G_{031} = \frac{2c_1^2}{c_1^2 - 1} p_0^* (1 + \frac{b}{a})$$

$$G_{032} = \frac{1}{(c_1^2 - 1)^2} \left\{ p_2^* \left[ 4c_1^2 + (c_1^2 + 1)^2 \right] + 2q_2^* \left[ (c_1^2 - 1)^2 - 2 \right] \right\} (1 + \frac{b}{a}) \cos 2\theta \quad (14)$$

$$G_{033} = -\frac{3c_1^2}{c_1^2 - 1} p_5(1 + \frac{b}{a})$$

(16)

(18)

- dla r = R.

606 = 6034 + 6035 + 6036

gdzie:

$$G_{034} = \frac{1}{c_1^2 - 1} (c_1^2 + 1) p_0^* (1 + \frac{b}{a})$$

$$G_{035} = -\frac{4c_1^2}{(c_1^2 - 1)^2} \left[ p_2^* (c_1^2 + 1) - q_2^* \right] (1 + \frac{b}{a}) \cos 2\theta \qquad (15)$$

$$G_{036} = -\frac{c_1^2 + 1}{c_1^2 - 1} p_5 (1 + \frac{b}{a})$$

Na podstawie analizy uszkodzeń obudowy tubingowej [5] stwierdzono, że najczęstszą ich przyczyną są siły poziome. Wobec tego jako kryterium stateczności przyjęto, że naprężenia obwodowe nie powinny przekroczyć dopuszczalnej wytrzymałości na ściskanie materiału

- dla ścianki tubingu

$$|G_{021} + G_{022} + G_{023}| \leq k_c$$

- dla pierścienia zastępczego żeber tubingu

$$\begin{vmatrix} \mathbf{G}_{031} + \mathbf{G}_{032} + \mathbf{G}_{033} \end{vmatrix} \leq \mathbf{k}_{c}$$

$$\begin{vmatrix} \mathbf{G}_{034} + \mathbf{G}_{035} + \mathbf{G}_{036} \end{vmatrix} \leq \mathbf{k}_{c}$$
(17)

2.2. Współpraca obudowy tubingowo-betonowej z gó\_rotworem przy braku przyczepności tubingu do betonu

W przypadku górotworu zawodnionego może wystąpić przypadek, gdy naprężenie radialne  $G'_r$  działające na ściankę tubingu będzie równe lub większe od przyczepności betonu. Może wówczas wystąpić odspojenie tubingu od obudowy wstępnej. W takim przypadku oddziaływanie górotworu na obudowę wstępną oblicza się z zależności

$$G_r = p_0 + p_2 \cos 2\theta$$

Dobór obudowy tubingowo-betonowej szybu...

$$\mathcal{I} = q_0 \sin 2\Theta \tag{18}$$

gdzie:

p<sub>o</sub>, p<sub>2</sub>, q<sub>2</sub> - obliczane wg zależności (4).

- Oddziaływanie górotworu na ściankę tubincu

$$\sigma_{r}' = \sigma_{0}' + \rho_{w} + \rho_{2}'\cos 2\theta$$
(19)
$$\sigma_{z}' = 0$$

qdzie:

$$P_0' = \frac{P_2 K_{20p} + q_2 K_{2pq}}{K_2}$$

 $p_2 = p_2 K_{2pp} + q_2 K_{2pq}$ 

K2pp, K2pq - współczynniki przekazywania obciążenia obliczane wg pkt. 2.1.

- Oddziaływanie górotworu na pierścień zastępczy żeber tubingu

$$\mathcal{E} = p_0'' + p_5' + p_2 \cos 2\theta \left(1 + \frac{b}{a}\right)$$
$$\mathcal{E} = q_2'' \left(1 + \frac{b}{a}\right) \sin 2\theta$$

(20)

gdzie:

$$p_{5}' = -p_{W} \frac{(c_{1}^{2} - 1)c_{2}^{2}(x_{1} + 1)}{(c_{1}^{2} - 1)(x_{1} - 1 - 2c_{2}^{2}) + (1 + \frac{b}{b})(c_{2}^{2} - 1)c_{1}^{2}(x_{1} + 1)}$$

W celu określenia wielkości naprężeń obwodowych w obudowie należy wykorzystać zależności (10-15).

2.3. Współpraca obudowy szybu z górotworem w trójosiowym stanie napreżenia i ockształcenia

Podany sposób obliczania obudowy tubingowo-betonowej dotyczył płaskiego stanu odkształcenia, przy przyjęciu, że odkształcenia w kierunku osi szybu równe są zero. W rzeczywistości występują odkształcenia wzdłuż osi szybu, co stwarza potrzebę ich uwzględnienia w obliczeniach.



Rys. 4. Sposób sumowania płaskich stanów odkształcenia dla uzyskania trój~ osiowego stanu odkształcenia

a) rozkład naprężeń w punkcie przy braku odkształcenia wzdłuż jednego kierunku, b) rozkład naprężeń w punkcie przy braku odkształceń wzdłuż dwoch kierunków, c) rozkład naprężeń przy odkształceniach w strzech kierunkach jako suma odkształceń układu a i b

Zagednienie trójosłowego stanu naprężenia i odkształcenia rozpatrzono jako sumę dwóch płaskich stanów odkształcenia (rys. 4) [3]. Pierwszy układ naprężeń w płaskim stanie odkształcenia dotyczy zależności podanych uprzednio (równania (3-20)), natomiast w drugim układzie naprężeń dla płaskiego stanu odkształcenia założono, że ć. 0; ć. – 0, a naprężenia pionowe G<sub>1</sub> = G<sub>2</sub>' odpowiadają wielkości naprężenia w masywie skalnym na rozpatrywanej głębokości. Z przyjętych założeń wynikają następujące zależności:

- dla oierwszego układu naprężeń (rys. 4a)

$$\begin{split} \varepsilon_{1,} &= 0; \quad \varepsilon_{1,} = \vartheta \left( \varepsilon_{2,} + \varepsilon_{3,} \right) \\ \varepsilon_{2,} &= \frac{1}{E} \left[ \varepsilon_{2,} \left( 1 - \vartheta^{2} \right) - \vartheta \left( 1 + \vartheta \right) \varepsilon_{3,} \right] \\ \varepsilon_{3,} &= \frac{1}{E} \left[ \varepsilon_{3,} \left( 1 - \vartheta^{2} \right) - \vartheta \left( 1 + \vartheta \right) \varepsilon_{2,} \right] \end{split}$$

$$\end{split}$$

$$\end{split}$$

Dobór obudowy tubincowo-betonowej szybu....

- dla drugiego układu naprężen (rys. 4b)

(24)

Stosując zasad superpozycji całkowite odkształcenia określają zależności /

$$\begin{aligned} & \left[ \epsilon_{1} = \epsilon_{1} + \epsilon_{1} = \frac{1}{E} \left[ \epsilon_{1}^{*} - \sqrt[9]{(6_{2, +} + 6_{3, +})} \right] = \frac{1}{E} \left[ \epsilon_{1}^{*} - \sqrt[9]{(6_{2}^{*} + 6_{2}^{*})} \right] \\ & \left[ \epsilon_{2} = \epsilon_{2, +} \epsilon_{2, -} = \frac{1}{E} \left[ \epsilon_{2, -} (1 - \sqrt[9]{2}) - \sqrt{(1 + \sqrt[9]{6_{2}})} \right] = \frac{1}{E} \left[ \epsilon_{2}^{*} - \sqrt{(6_{1}^{*} + 6_{3}^{*})} \right] \\ & \left[ \epsilon_{3} = \epsilon_{3, +} \epsilon_{3, -} = \frac{1}{E} \left[ \epsilon_{2, -} (1 - \sqrt[9]{2}) - \sqrt{(1 + \sqrt[9]{6_{2}})} \right] = \frac{1}{E} \left[ \epsilon_{3}^{*} - \sqrt{(6_{1}^{*} + 6_{3}^{*})} \right] \end{aligned}$$
(23)

Z podanych zależności obliczono naprężenia dla pierwszego układu (rysunek 4a)

$$G_{2} = \frac{G_{3,9}^{*,2}(1-v^2) + G_{1,1}^{*}(1-v^2-v^3-v^2-v) - G_{1,2}^{*}v(1-v^2)}{1+2v^4}$$

$$G_{3} = \frac{G_{3}^{*}(1 - v^{2} - v) - v^{2}G_{2}^{*} - vG_{1}^{*}}{1 - vv^{2} - v}$$

$$G_1 = v(G_2 + G_3)$$

odzie:

Występujące w równaniu (24) wielkości naprężen G\*, G\*, G\* dotyczą masywu skalnego poza strefą oddziaływania wyrobiska szybowego

Podany sposób obliczania obudowy tubingowo-betonowej uwzględnia bar dziej prawdopodobny stan naprężenia panujscy w masywie skalnym, stwarzając mozijwośc uwzględni, ja wrijwu odmra inta masywu, eksploatecji oś cej i LITERATURA

- Borecki M.: Mechanika budowli podziemnych. Skrypt, Politechnika Śląska, Gliwice 1980.
- [2] Bułyczew N.S., Abramson U.H.: Kriep wiertikalnych stwołow szacht. Niedra, Moskwa 1978.
- [3] Kleta H.: Wpływ wybierania kostki przyszybowej na stateczność obudowy szybu. Praca doktorska, rękopis. Gliwice 1981.
- Muscheliszwili W.N.: Niekatoryje zadaczi maticmaticzeskoj tieorii uprugnosti. Moskwa 1966.
- [5] Praca zbiorowa: Doskonalenie konstrukcji obudów szybowych i wlotów podszybi w oparciu o analityczne ustalenie podstawowych oarametrów obudów uzyskanych na podstawie badań przeprowadzonych w warunkach deformacyjn ch ciśnień gorotworu. Prace Inst. Projekt. Bud. Kop. i Ochrony Powierzchni Pol. Śl. Probl. resortowy nr 115. Gliwice 1980.

Recenzent: Prof. dr hab, inż. Stanisław Takuski

Wpłynęło do Redakcji 23.04.1981 r.

Подбор тюбингово-бетонной крепи ствола в случае еє неравномерной нагрузки

#### Резюме

В работе представлен вопрос сотрудничества тюбингово-бетонной крепи с горным массивом в случае ее неравномерной нагрузки. Зависимости, служащие для расчета крепи представлены для двух вариантов ее сотрудничества с горным массивом. В первой варианте между кольцами крепи появляется так называемый польный контакт, зато во втором варианте откол тюбинга от подготовительной крепи.

The selection of the tubing-concrete lining of a shaft in the case of its uneven loading

Summary

The paper presents the problem of co-operation of the tubing-concrete lining with rock mass in the case of its uneven loading. The dependencies serving to calculate the lining have been given for two wariants of its co-operation with rock mass. In the first wariant there is the so-called full contact between the rings of lining, whereas in the other - separation from preliminary lining.