

Marcin BORECKI
 Mirosław CHUDEK
 Kazimierz PODGÓRSKI
 Józef STRAŚ
 Zenon SZCZEPANIAK

WSPÓŁPRACA NIEUPODATNIONEJ OBUDOWY SZYBU
 Z GÓROTWOREM PODDANYM WPŁYWOM EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ

Streszczenie. W pracy podano podstawy teoretyczne oddziaływania górotworu na nieupodatnioną obudowę szybu oraz sposób wyznaczania naprężeń w ebudowie poddanej wpływow eksploatacji górniczej.

1. Wstęp

Większość szybów w Polsce posiada obudowę nieupodatnioną, a wyznaczone filary ochronne powodują uwięzienie dużych zasobów węgla. Zagadnienie eksploatacji w filarach ochronnych nabiera szczególnego znaczenia, gdyż zasoby te są udostępnione, a wybieranie pokładów do granic filarów wywołuje duże deformacje górotworu i powierzchni oraz powoduje powstanie dodatkowych naprężeń, które są przyczyną uszkodzeń obudowy szybu szczególnie w górnym jej odcinku. Istnieje zatem konieczność eksploatacji filarów ochronnych i ustalenia odporności obudowy szybu na deformacje, celem doboru optymalnego sposobu wybierania złoża i zabezpieczenia szybu.

2. Naprężenia w górotworze poddanym wpływow eksploatacji górniczej

Wielkość odkształceń w rozpatrywanym punkcie górotworu poddanym wpływow eksploatacji górniczej można ustalić za pomocą wzorów opartych o teorię ośrodków ciągłych lub przy wykorzystaniu znanych teorii statystyczno-całkowitych jak np. teoria Budryka-Knothe'go lub T. Kochmańskiego.

Najczęściej przy prognozowaniu wpływów eksploatacji w filarach ustala się wielkość odkształceń górotworu tak w pionie, jak i w poziomie. Istnieje zatem potrzeba uzależnienia odkształceń od naprężeń z uwzględnieniem prawa Hooke'a [1]

$$\sigma_x = \frac{2 G_g}{1 - 2\nu_g} \left[(1 - \nu_g) \epsilon_x + \nu_g (\epsilon_y + \epsilon_z) \right] + \frac{\nu_g \cdot \gamma \cdot g \cdot H}{1 - \nu_g} \quad (1)$$

$$\sigma_y = \frac{2 G}{1 - 2\nu_g} \left[(1 - \nu_g) \varepsilon_y + \nu_g (\varepsilon_z + \varepsilon_x) \right] + \frac{\nu_g \cdot \gamma \cdot g \cdot H}{1 - \nu_g} \quad (2)$$

$$\sigma_z = \frac{2 G}{1 - 2\nu_g} \left[(1 - \nu_g) \varepsilon_z + \nu_g (\varepsilon_x + \varepsilon_y) \right] + \gamma \cdot g \cdot H \quad (3)$$

gdzie:

$$G_g = \frac{E_g}{2(1 + \nu_g)} - \text{moduł sprężystości postaciowej,}$$

E_g - moduł Younga,

ν_g - współczynnik Poissona,

ε_z - pionowe odkształcenia jednostkowe w górotworze,

$\varepsilon_x, \varepsilon_y$ - poziome odkształcenia jednostkowe w górotworze ustalone np. według teorii Budryka-Knothe'go,

g - przyspieszenie ziemskie,

γ - średnia gęstość przestrzenna skał,

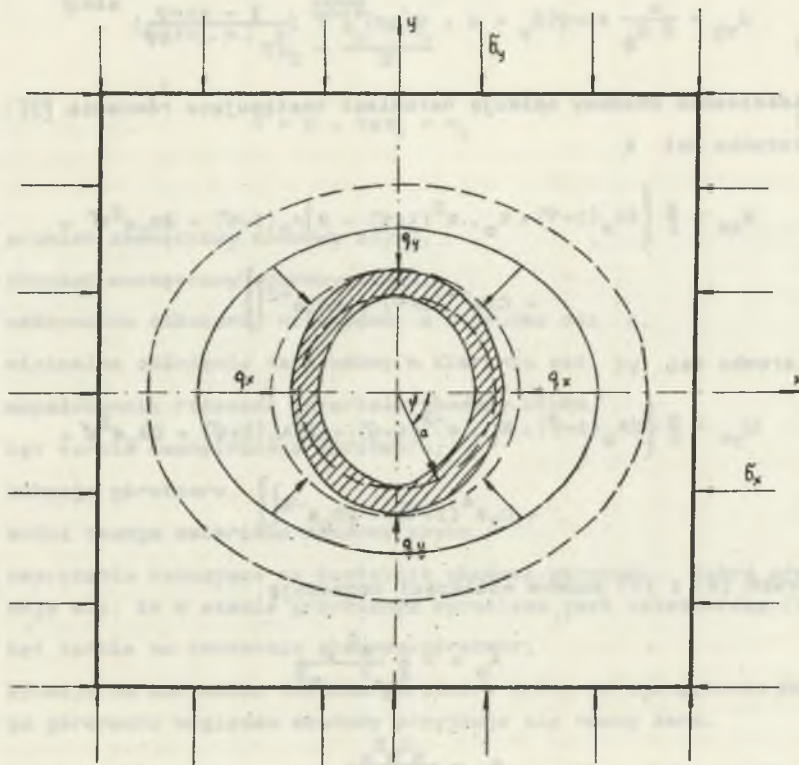
H - głębokość położenia rozpatrywanego punktu w górotworze.

Podane wzory dotyczą górotworu, który można w przybliżeniu opisać równaniami ciała izotropowego. W przypadkach, gdzie występuje górotwór bardziej zróżnicowany, mogą wystąpić odchylenia w stosunku do wielkości uzyskanych za pomocą podanych wzorów. Jednak z uwagi na to, że składowe główne stanu odkształcenia $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ zostały wyznaczone przy wykorzystaniu teorii statystyczno-całkowych, dla średnich przebiegów ruchu górotworu można przyjąć, że przedstawione wzory (1, 2 i 3) w dostatecznym stopniu odzwierciedlają stan rzeczywisty. Dla górotworu wykazującego znaczny współczynnik anizotropowości należałoby uwzględnić w podanych równaniach zmienność stałych, materiałowych. W miejscach, gdzie występują w skałach nieciągłości - np. w strefie spękań górotworu - podanych równań nie można stosować.

3. Wpływ odkształceń poziomych górotworu na przebieg tworzenia się strefy plastycznej wokół szybu i na oddziaływanie górotworu na obudowę szybu

Analizowana obudowa szybu poddana jest wpływowi eksploatacji górniczej, pod wpływem której może wytworzyć się strefa plastyczna. Przebieg tego zjawiska jest złożony i do rozważań przyjęto schemat uproszczony, w którym założono, że w kierunkach osi x, y występują tak odkształcenia, jak i naprężenia główne. W praktyce dość często eksploatacja pokładów prowadzona

jest szerokim frontem w jednym kierunku. Wówczas, jak to wynika z dotychczasowych obserwacji, obudowy przybiera kształt elipsy.



Rys. 1. Schemat obciążenia obudowy szybu

W kierunkach osi głównych wielkość przemieszczeń na styku obudowa-górotwór można ustalić, przyrównując przemieszczenia górotworu do przemieszczeń obudowy. W tym celu wykorzystano równanie Ruppenejta [2], które przystosowano do obciążenia obudowy o przebiegu zbliżonym do kształtu elipsy.

Wówczas otrzymane wzory na składowe przemieszczenia górotworu w płaszczyźnie poziomej przyjmują postać:

- w kierunku osi x

$$U_{xg} = \frac{a}{2} \frac{\sigma}{g} \sin\varphi (\sigma_x + c \cdot \operatorname{ctg}\varphi) \frac{1}{\sin\varphi} \left(\frac{1 - \sin\varphi}{q_x + c \cdot \operatorname{ctg}\varphi} \right) \frac{1 - \sin\varphi}{\sin\varphi} \quad (4)$$

- w kierunku osi y

$$U_{yg} = \frac{a}{2G_g} \sin\varphi (\sigma_y + c \cdot \operatorname{ctg}\varphi) \frac{1}{\sin\varphi} \left(\frac{1 - \sin\varphi}{q_y \cdot c \cdot \operatorname{ctg}\varphi} \right) \frac{1 - \sin\varphi}{\sin\varphi} \quad (5)$$

Przemieszczenia obudowy opisują natomiast następujące równania [2]:

- w kierunku osi x

$$U_{xo} = \frac{a}{E} \left\{ 2A_o(1-\nu) - B_o \cdot a^2(1+\nu) - 2[A_2(1+\nu) + 2B_2a^2\nu - C_2a^{-4}(1+\nu) - 2D_2a^{-2}] \right\} \quad (6)$$

- w kierunku osi y

$$U_{yo} = \frac{a}{E} \left\{ 2A_o(1-\nu) - B_o \cdot a^{-2}(1+\nu) + 2[A_2(1+\nu) + 2B_2a^2\nu - C_2a^4(1+\nu) - 2D_2a^{-2}] \right\} \quad (7)$$

We wzorach (6) i (7) podane wielkości oznaczają:

$$A_o = -\frac{1}{2} \frac{a^2 p}{a^2 - b^2} \quad (8)$$

$$B_o = \frac{a^2 b^2 p}{a^2 - b^2} \quad (9)$$

$$A_2 = \frac{a^2 p_2 (a^4 + a^2 b^2 + 2b^4) + 2a^2 b^4 t}{2(a^2 - b^2)^3} \quad (10)$$

$$B_2 = \frac{-a^2 p_2 (a^2 + 3b^2) - a^2 t (a^2 - 3b^2)}{6(a^2 - b^2)^3} \quad (11)$$

$$C_2 = \frac{a^4 b^4 [p(3a^2 + b^2) + 2b^2 t]}{6(a^2 - b^2)^3} \quad (12)$$

$$D_2 = \frac{-a^2 b^2 [p_2 (2a^4 + a^2 b^2 + b^4) - b^2 t (a^2 + b^2)]}{2(a^2 - b^2)^3} \quad (13)$$

$$p = \frac{q_x + q_y}{2} \quad (14)$$

$$p_2 = \frac{q_x - q_y}{2} \quad (15)$$

$$t = p \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 + c_1 \quad (16)$$

gdzie:

a - promień zewnętrzny obudowy szybu,

b - promień wewnętrzny obudowy szybu,

q_x - maksymalne ciśnienia na obudowę w kierunku osi x,

q_y - minimalne ciśnienie na obudowę w kierunku osi y,

ν - współczynnik Poiseona materiału obudowy szybu,

φ - kąt tarcia wewnętrzznego górotworu,

c - kohezja górotworu,

E - moduł Younga materiału obudowy szybu,

t - naprężenie ścinające na kontakcie obudowa-górotwór, które przyjmuje się, że w stanie granicznym określone jest zależnością (16),

φ_1 - kąt tarcia na kontakcie obudowa-górotwór,

c_1 - kohezja na kontakcie obudowa-górotwór, którą po wystąpieniu poślizgu górotworu względem obudowy przyjmuje się równą zero.

Porównując wielkości przemieszczeń górotworu określone równaniami (4) i (5) i obudowy (6), (7), można obliczyć wielkości maksymalnych i minimalnych ciśnień na obudowę. Ze względu na złożoną formę podanych równań proponuje się do rozwiązania ich wykorzystać elektroniczną technikę obliczeniową.

4. Składowe stanu naprężenia w obudowie szybu w płaszczyźnie poziomej

Naprężenia w obudowie szybu ustala się na podstawie uprzednio obliczonych ciśnień na obudowę q_x i q_y w zależności od kształtowania się poziomych odkształceń górotworu. Wielkość naprężeń w obudowie szybu określają równania [2]:

$$\sigma_2 = \sigma_r = 2A_0 + B_0 r^{-1} - 2\cos 2\alpha (A_2 + 3C_2 r^{-4} + 2D_2 r^{-2}) \quad (17)$$

$$\sigma_3 = \sigma_\varphi = 2A_0 - B_0 r^{-2} + 2\cos 2\alpha (A_2 + 6B_2 r^2 + 3C_2 r^{-4}) \quad (18)$$

$$\tau_{r\varphi} = 2\sin 2\alpha (A_2 + 3B_2 r^2 - 3C_2 r^{-4} - D_2 r^{-2}) \quad (19)$$

gdzie:

α - kąt zawarty między osią x , a dowolnym promieniem rozpatrywanego punktu obudowy szybu.

Wykorzystując podane wzory oraz własności wytrzymałościowe materiału obudowy, można obliczyć graniczną wielkość naprężeń, a następnie odkształceń obudowy w oparciu o hipotezy Coulomba-Mohra, Hubera-Mesesa-Hencky'ego lub Filomienki-Borodiczja.

5. Wpływ odkształceń górotworu w płaszczyźnie pionowej na naprężenie w obudowie

Obudowa szybu narażona jest nie tylko na wpływ poziomych odkształceń górotworu, ale również na oddziaływanie odkształceń pionowych jego przesunięć poziomych i powstającej krzywizny. Wielkość pionowych odkształceń górotworu jak i krzywizny ustala się znanymi wzorami z mechaniki górotworu jak np. Budryka-Knothe'go, T. Kochmańskiego. Obudowa szybu połączona bezpośrednio z górotworem, szczególnie z warstwami karbońskimi, ulega pod wpływem prowadzonej eksploatacji odkształceniom razem z deformowanymi warstwami skalnymi. Odkształcenia obudowy są wynikiem oddziaływania ciężaru własnego, obudowy, deformującego się górotworu i wpływu obciążenia wyposażenia szybu. Wpływ obciążenia od wyposażenia szybu na odkształcenia jego obudowy jest stosunkowo mały i w dalszych rozważaniach został pominięty.

Zależność między odkształceniami obudowy i górotworu można ująć następująco:

$$\epsilon_1 = \epsilon_z + \frac{a}{R} + \epsilon_s \quad (20)$$

gdzie:

- ϵ_z - odkształcenia jednostkowe pionowe górotworu określone wg teorii statystyczno-całkowej np. Budryka-Knothe'go,
- a - promień zewnętrzny obudowy szybu,
- R - promień krzywizny górotworu w miejscu osi szybu,
- ϵ_s - odkształcenia jednostkowe obudowy szybu od oddziaływania ciężaru własnego.

Wielkość naprężeń maksymalnych w obudowie w płaszczyźnie pionowej ustala wzór:

$$\sigma_1 = \varepsilon_z \cdot E + \frac{a \cdot E}{R} + \varepsilon_a \cdot E \quad (21)$$

6. Podsumowanie

Współpraca obudowy szybu z górotworem jest problemem złożonym i uwzględnienie wszystkich czynników utrudnia jego rozwiązanie. W związku z powyższym w pracy przyjęto uproszczony schemat obliczeń współpracy obudowy szybu z górotworem i wyznaczania w niej wielkości naprężeń.

Dla prześledzenia zachowania się obudowy szybu w poszczególnych etapach oddziaływania na nią eksploatacji górniczej należy przeprowadzić obliczenia wielkości składowych naprężeń i odkształceń przy wykorzystaniu podanych w pracy wzorów (17-21), a następnie określić wyteżenie materiału obudowy.

Przy określaniu stanu wyteżenia materiału obudowy proponuje się wykorzystać jedną ze znanych hipotez wyteżeniowych, jak np. Burzyńskiego lub Fiałonki-Borodicza. Otrzymane wyniki z obliczeń będą stanowić wskazania, w którym miejscu należy przewidzieć odpowiednie sposoby zabezpieczenia obudowy szybu lub dobrać najwłaściwszy sposób kierowania stropem przy prowadzeniu eksploatacji górniczej w zasięgu wpływów na rurę szybową.

LITERATURA

- [1] Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt Uczelniany Pol. Śl. nr 589/20, Gliwice 1976.
- [2] Krupiennikow G.A., Bułyczew N.C., Kozieł A.M., Fiałatow N.A.: Wzajemne oddziaływanie masiwów górnych poród z krepem wietkielnych wyrobót.

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ЖЁСТКОЙ КРЕПИ СТВОЛА С ГОРНЫМ МАССИВОМ ПОДВЕРГНУТЫМ ВЛИЯНИЕМ ГОРНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Резюме

В работе даны теоретические основы воздействия горного массива на жёсткую крепь ствола, а также даны способы определения напряжений в крепи подвергнутой влиянию горной эксплуатации.

RIGID SHAFT LINING PLAY UNDER OROGEN PRESSURES DUE TO MINING

Summary

Theoretical foundations of orogenic influence upon rigid shaft linings have been presented along with a means for stress determination for linings.