

Zenon DUDA
Zdzisław KOHUTEK
Jerzy KUŚNIERZ

AGH - Kraków

Marian MIKOŁAJEK
Gwidon SZEFER

Politechnika Krakowska

WYZNACZANIE GRUBOŚCI POWŁOKI POŚLIZGOWEJ OBUDOWY WIELOWARSTWOWEJ SZYBU ZE
WZGLĘDU NA OBRÓT STOPY PO WYBRANIU ZŁOŻA W OBREBIE FILARA OCHRONNEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę deformacji zasadniczej konstrukcji nośnej szybu bezfilarowego. Została ona sprowadzona do schematu pręta zanurzonego w masie asfaltowej. Pręt szybu przymocowany jest sztywno do fundamentu (stopy).

Założono dalej, iż w konsekwencji wybierania pokładu węgla fundament obraca się o kąt α , a po wykształceniu podpory przesuwno-przegubowej w strefie głowicy - odcięta rura szypowa ugina się. To właśnie zakrzywienie jest miarą grubości powłoki poślizgowej.

Zadanie rozwiązano za pomocą metody różnic skończonych.

Summary. The paper presents considerations aiming at the determination of the thickness of the slide layer of a multilayer lining according to the assumed construction diagram (Fig.). The static problem has been reduced to a question of a bar immersed in a liquid (Fig.). Then, in order to specify the result - to solve the problem, the method of finite differences was used.

Резюме. В статье представлен анализ деформации основной несущей конструкции ствола без предохранительного целика. Была принята модель стержня, погруженного в асфальтовую массу. Стержень ствола жестко прикреплен к фундаменту (башмаку). Было принято, что в результате разработки угольного пласта фундамент поворачивается на угол, а после сжормирования подвижно-шарнирной опоры в зоне воротника ствола отрезанное отверстие прогибается. Именно это искривление является мерилем толщины скользящей оболочки. Задаче решается при помощи метода конечных разностей.

1. WPROWADZENIE

Przyszłość górnictwa podziemnego uzależniona jest od uruchomienia mechanizmów pozwalających kształtować poziom wydobywania względem realnych potrzeb surowcowo-energetycznych kraju, wymagań ochrony środowiska naturalnego oraz innych czynników techniczno-organizacyjnych, w powiązaniu z kryteriami ekonomicznymi. Miarą efektywności będzie tutaj m.in. ograniczenie strat własnych, i to zarówno w fazie zagospodarowywania złoża, jak i tych, które towarzyszą procesowi jego eksploatacji.

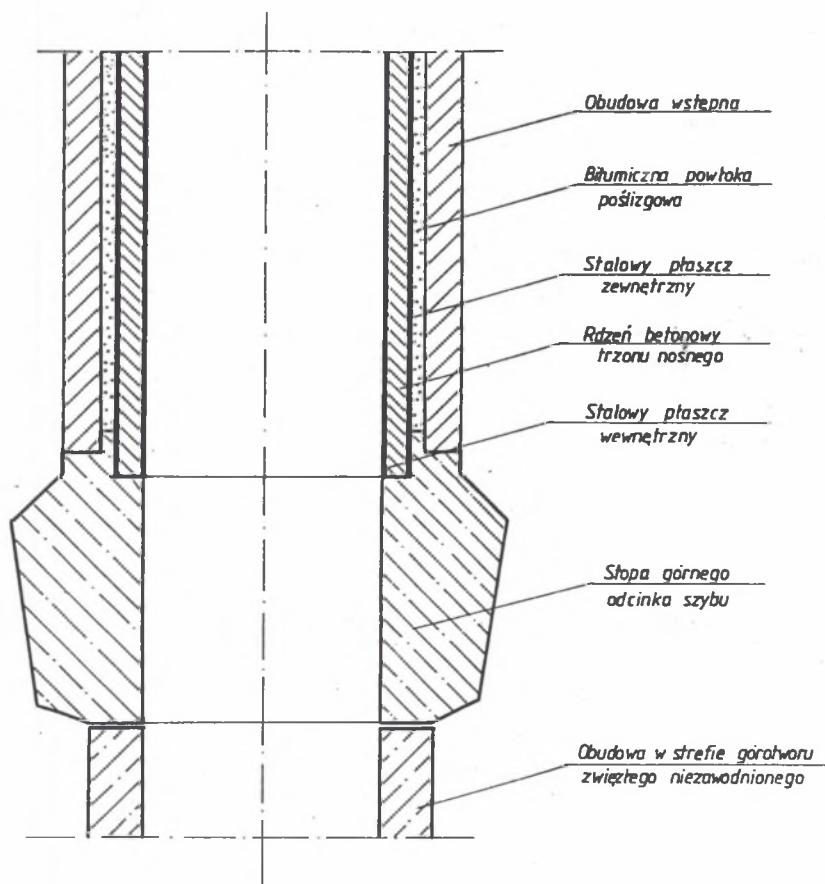
W tym świetle, mając dodatkowo na uwadze aktualny stan techniki - wyznaczenie filarów ochronnych, a w tym filarów ochronnych dla szybów w trakcie robót udostępniająco-rozcinkowych - staje się coraz bardziej dyskusyjne. Poza faktem, iż wiążą one na długie lata miliony ton zasobów, krępują ponadto organizację wydobywania w skali obszaru górniczego. Ilość kopaliny użytecznej uwięziona w filarach ochronnych rośnie wraz z przyrostem głębokości zalegania według funkcji wykładniczej. Z drugiej zaś strony - górnictwo za granicą przedstawia w praktyce rozwiązania umożliwiające udostępnienie złoża wyrobiskiem szybowym bez konieczności chronienia go filarem [1,2,3,4,6].

Celem publikacji jest przedstawienie rozważań z pracy [5], w wyniku których uzyskano formułę do wyznaczania grubości warstwy poślizgowej wielowarstwowej obudowy szybu o zadanym schemacie. Problem sprowadzono do zagadnienia cylindrycznego pręta zanurzonego w cieczy.

2. ZAŁOŻENIA WSTĘPNE

Przedmiotem dociekań jest fragment wielowarstwowej rury szybowej pomiędzy głowicą szybową a fundamentem - stopa szybu, która przejmuje w całości ciężar nadległej obudowy nie związanej z ociosem skalnym. Odcinek ten w przybliżeniu odpowiada głębokości nadkładu i nie posiada innych podparć w postaci stóp pośrednich. Szyb głęblony jest w obudowie wstępnej z betonu monolitycznego lub prefabrykowanych paneli, która oddzielona zostaje w kolejnej fazie budowy od zasadniczego trzonu nośnego - poślizgową warstwą asfaltową.

Spośród wielu problemów, które wymagają rozwiązania przy projektowaniu szybowych obudów z powłoką poślizgową, wymienić należy ustalenie jej grubości. Warstwa poślizgowa zestawiona przeważnie z asfaltu i mączki wapiennej w postaci mieszaniny lepko-ciekłej, ma ciężar właściwy w granicach zazwyczaj $1,1+1,3 \text{ g/cm}^3$. Ciężar ten musi przewyższać ciężar właściwy wody w górotworze, który zależy z kolei od stopnia jej mineralizacji.



Rys.1. Przekrój obudowy wielowarstwowej z powłoką poślizgową

Fig.1. Vertical-section of the multilayer lining with the slide layer

Warstwa poślizgowa spełnia następujące funkcje:

- zapewnienie równomierności obciążenia trzonu nośnego obudowy, składającego się na ogół ze szczelnej, zewnętrznej ścianki stalowej, rdzenia betonowego oraz ewentualnie - wewnętrznego płaszcza stalowego lub kolumny tubingów (rys.1); pomimo pewnego wzrostu obciążenia obudowy w wyniku parcia warstwy poślizgowej, uzyskuje się w ten sposób zwiększenie komfortu pracy konstrukcji;

- wytworzenie strefy amortyzującej deformacje ociosów, będące rezultatem wybierania złoza w najbliższym sąsiedztwie szybu, a także - deformacje samego trzonu nośnego obudowy, spowodowane ruchami stopy lub głowicy szybu pod wpływem eksploatacji.

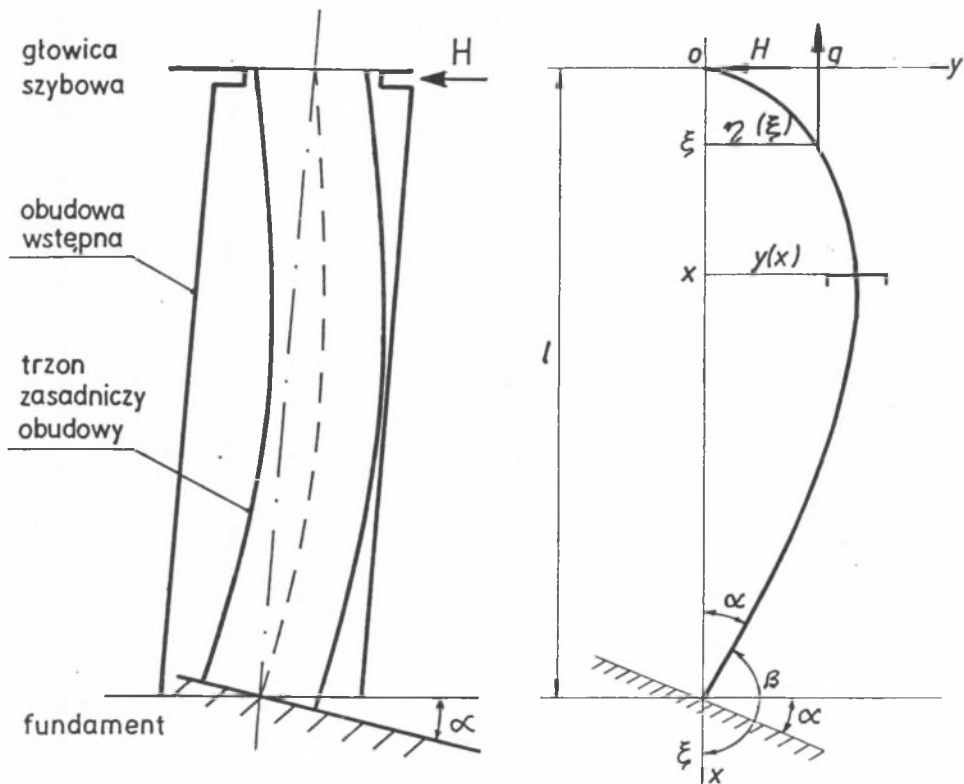
Punktem wyjścia do zawartych w artykule rozważań była teza, iż odkształcenia postaciowe ośrodka skalnego oraz obroty na skraju frontu eksploatacyjnego, zwłaszcza w systemie eksploatacji jednokierunkowej - wywołują obrót głównej stopy szybu w płaszczyźnie pionowej o kąt α . Sytuacja ta nastąpi z chwilą, gdy wierzchołek trzonu nośnego oprze się o obudowę w strefie głowicy szybowej powodując wykształcenie podpory przegubowoprzesuwnej. Pod wpływem ciężaru własnego nie związanej z górotworem rury szybowej, pomniejszonego o wypór medium asfaltowego - dojdzie do jej zakrzywienia. Zatem przy takim ujęciu problemu - zasięg omawianego zakrzywienia będzie miarą grubości powłoki poślizgowej.

3. OKREŚLENIE GRUBOŚCI POWŁOKI POŚLIZGOWEJ

3.1. Wykaz oznaczeń, definicje

- R - promień szybu wraz z grubością trzonu nośnego, m
 r - promień szybu w świetle obudowy, m
 l - głębokość podsadowienia szybu, m
 G - ciężar własny 1 mb trzonu nośnego obudowy, MN
 G_w - wypór 1 mb masy poślizgowej, MN
 $g = G_w - G$, MN
 H - reakcja podpory przesuwnej, MN
 EJ - sztywność giętna rury szybowej, $\text{MPa} \cdot \text{m}^4$
 M - moment wynikający z obrotu stopy szybu, MNm
 γ_a - ciężar objętościowy masy bitumicznej, MN/m^3
 γ_s - ciężar objętościowy stali, MN/m^3
 γ_b - ciężar objętościowy betonu, MN/m^3
 x, ξ, y, η - współrzędne punktów osi zakrzywionej rury szybowej, m
 $a_0, a_1, a_2 \dots$ - współczynnik rozwinięcia
 m, n - wskaźniki sumacji
 d - grubość warstwy poślizgowej, cm
 α - kąt obrotu stopy szybowej, rd.

3.2. Rozwiązanie w postaci szeregu



Rys.2. Schemat statyczny pręta przy obrocie podstawy (H - nieznaną reakcja podpory przesuwnej)

Fig.2. Static model of the bar by the foundation rotation (H - unknow reaction of the shifting bearing)

Obrót stopy - fundamentu o kąt α powoduje wygięcie pręta (zginanie rury szybowej). Ciężar własny G powiększa wielkość wygięcia, natomiast wypór masy poślizgowej G_w mu przeciwdziała. Pomijając ciężar płaszczy stalowych można zapisać:

$$G \sim \Pi (R^2 - r^2) \gamma_b$$

$$G_w = \Pi R^2 \cdot \gamma_a$$

$$\begin{aligned}
 g &= G_w - G = G_w \left(1 - \frac{G}{G_w}\right) = G_w \left(1 - \frac{\gamma_b}{\gamma_a} \frac{R^2 - r^2}{R^2}\right) = \\
 &= G_w \left[1 - \frac{\gamma_b}{\gamma_a} \left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right)\right]
 \end{aligned}$$

Zrównoważenie ciężaru i wyporu nastąpi, gdy:

$$1 - \frac{\gamma_b}{\gamma_a} \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right] = 0$$

Jeżeli za γ postawi się $1,3 \text{ MN/m}^3$, a za γ - $2,2 \text{ MN/m}^3$, to:

$$\frac{r}{R} = \sqrt{1 - \frac{\gamma_b}{\gamma_a}} = \sqrt{1 - \frac{1,3}{2,2}} = 0,64$$

Zatem gdy $r/R > 0,64$ (a tak będzie z reguły), to wypór przewyższy ciężar obudowy, tzn. $G_w > G$, a $g > 0$.

Schemat statyczny pręta przedstawiono na rys.2. Można zauważyć, iż pod wpływem ciężaru własnego i wyporu nastąpi zgięcie, które zaznaczono linią przerywaną. Zakłada się przy tym, że na skutek małych obrotów pręt "przechylony" traktowany będzie tak, jak gdyby zachowywał on pozycję pionową. Zatem wynikające stąd różnice kątów nachylenia sił H oraz g są zaniedbywalne.

Równanie różniczkowe problemu (równanie pręta) przedstawia się następująco:

$$EJ y'' = M(x)$$

$$M(x) = -H \cdot x + \int_0^x g (y - \eta) d\xi$$

$$EJ y'' = -H \cdot x + g \int_0^x [y(x) - \eta(\xi)] d\xi; \quad (EJ \sim \text{const})$$

$$EJ y''' = -H + g [y(x) - \eta(x) + \int_0^x y' d\xi] = -H + g \int_0^x y' d\xi$$

(bo $\eta(x) = y(x)$, stąd $y - \eta = 0$)

$$EJ y''' = -H + g y' \cdot x; \quad y' = z \quad (1)$$

$$EJ z'' = -H + g \cdot x \cdot z \quad (2)$$

Warunki brzegowe:

$$y(0) = 0, \quad y(1) = 0, \quad y''(0) = 0$$

$$y'(1) = \text{tg}\beta = \text{tg}(180 - \alpha) = -\text{tg}\alpha = -\alpha$$

Równanie (2) jest równaniem liniowym II rzędu o współczynnikach zmiennych. Mimo prostej budowy nie posiada rozwiązania zamkniętego w klasie funkcji elementarnych. Jego rozwiązanie znaleźć można w postaci szeregu:

$$z(x) = x^m \sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cdot x^{n+m} = a_0 \cdot x^m + a_1 x^{m+1} + \dots \quad (3)$$

$$z' = \sum_{n=0}^{\infty} a_n (n+m) x^{n+m-1}$$

$$z'' = \sum_{n=0}^{\infty} a_n (n+m)(n+m-1) x^{n+m-2}$$

Wprowadzając postać (3) do równania (2) uzyska się rozwinięcie:

$$EJ \sum_0^{\infty} a_n (n+m)(n+m-1) x^{n+m-2} = -H + g \cdot x \sum_0^{\infty} a_n x^{n+m}$$

$$\begin{aligned} EJ [a_0 m(m-1)x^{m-2} + a_1 (m+1) \cdot mx^{m-1} + a_2 (2+m)(m+1)x^m + \\ + a_3 (3+m)(m+2)x^{m+1} + a_4 (4+m)(m+3)x^{m+2} + \dots] = \\ = -H + g \cdot x (a_0 x^m + a_1 x^{m+1} + \dots) \end{aligned}$$

Dla $m=0$ można zapisać:

$$\begin{aligned} EJ [a_2 \cdot 2 + a_3 \cdot 3 \cdot 2x + a_4 \cdot 4 \cdot 3x^2 + \dots] = \\ = -H + g \cdot x \cdot a_0 + g \cdot x^2 \cdot a_1 + \dots \end{aligned}$$

Porównując współczynniki przy zmiennych otrzyma się:

$$2 EJ a_2 = -H, \quad \text{stad } a_2 = -\frac{H}{2 EJ}$$

$$6 EJ a_3 = g a_0, \quad \text{stad } a_3 = \frac{g}{6 EJ} \cdot a_0$$

$$12 EJ a_4 = g a_1, \quad \text{stad } a_4 = \frac{g}{12 EJ} \cdot a_1$$

oraz:

$$\begin{aligned} y' &= 2 = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 + \dots = \\ &= a_0 + a_1 x - \frac{H}{2 EJ} x^2 + \frac{g}{6 EJ} a_0 x^3 + \frac{g}{12 EJ} a_1 x^4 + \dots \\ y &= a_0 x + a_1 \frac{x^2}{2} - \frac{H}{2 EJ} \frac{x^3}{3} + \frac{g}{6 EJ} a_0 \frac{x^4}{4} + \frac{g}{12 EJ} a_1 \frac{x^5}{5} + \dots \\ &= a_0 x \left(1 + \frac{g}{24 EJ} x^3\right) + a_1 \frac{x^2}{2} \left(1 + \frac{g}{30 EJ} x^3\right) - \frac{H}{6 EJ} x^3 + \dots \end{aligned}$$

W dalszym toku rozważań ograniczono się do pierwszych trzech wyrazów rozwinięcia:

$$y = a_0 x \cdot 1 + \frac{g}{24 EJ} x^3 + a_1 \frac{x^2}{2} \cdot 1 - \frac{g}{30 EJ} x^3 - \frac{H}{6 EJ} x^3 \quad (4)$$

Uwzględniając warunki brzegowe spełnione z założenia:

$$y(0) = 0 \quad \text{oraz} \quad y''(0) = 0, \quad \text{a więc} \quad a_1 = 0$$

z zależności (4) uzyskuje się:

$$y'' = a_1 - \frac{H}{EJ} x + \frac{g}{2 EJ} a_0 x^2 + \frac{g}{3 EJ} a_1 x^3$$

$$y = a_0 x \cdot 1 + \frac{g}{24 EJ} x^3 - \frac{H}{6 EJ} x^3$$

$$\text{Gdy } y(1) = 0, \quad \text{to } a_0 \cdot 1 \left(1 + \frac{g}{24 EJ} \cdot 1^3\right) - \frac{H}{6 EJ} \cdot 1^3 = 0$$

$$\text{Gdy } y'(1) = -\alpha, \quad \text{to } a_0 \left(1 + \frac{g}{6 EJ} \cdot 1^3\right) - \frac{H}{2 EJ} \cdot 1^2 = -\alpha$$

stad:

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{\alpha}{2 - \frac{g \cdot 1^3}{24 EJ}}, \\ \frac{H}{6 EJ} &= \frac{a_0}{1^2} \left(1 + \frac{g}{14 EJ} \cdot 1^3\right), \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Wzór (4) da się sprowadzić do dogodniejszej dla obliczeń postaci:

$$y = 1 \cdot a_0 \left(\frac{x}{1}\right) \left[1 + \frac{g \cdot 1^3}{24 EJ} \left(\frac{x}{1}\right)^3\right] - \frac{H}{6 EJ} 1^3 \left(\frac{x}{1}\right)^3 + \dots \quad (6)$$

Ostatecznie więc rozwiązanie problemu ma postać (6), gdzie współczynnik rozwinięcia a_0 oraz siła reakcji H dane są wzorem (5).

Przy zrównoważeniu ciężaru i wyporu ($g=0$) będzie:

$$y = a_0 x - \frac{H}{6 EJ} x^3,$$

$$a_0 = \frac{\alpha}{2},$$

czyli:

$$\frac{H}{6 EJ} = \frac{a_0}{l^2} = \frac{\alpha}{2 l^2}$$

$$y = \frac{\alpha}{2} x - \frac{\alpha}{2 l^2} x^3 = \frac{\alpha}{2} x \left[1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right] \quad (7)$$

Łatwo wówczas wyliczyć y_{\max} :

$$y' = \frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha}{l^2} x^2 = 0, \quad \text{stad } x = \frac{l}{\sqrt{3}}$$

$$y_{\max} = y \left(\frac{l}{\sqrt{3}} \right) = \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{l}{\sqrt{3}} \left(1 - \frac{1}{3} \right) = \frac{\alpha \cdot l}{3 \sqrt{3}}$$

A zatem grubość warstwy poślizgowej wyniesie:

$$d = y_{\max} = \frac{\alpha \cdot l}{3 \sqrt{3}} \quad (8)$$

Stwierdzono w dalszej kolejności, iż określone za pomocą reguły (8) wielkości d są zawyżone. Zatem wzoru tego można używać wyłącznie w celu orientacyjnego szacunku. Zwłaszcza dla większych miąższości nadkładu ($l > 400$ m) wskazane byłoby precyzyjniejsze i oszczędniejsze wyznaczenie grubości powłoki poślizgowej.

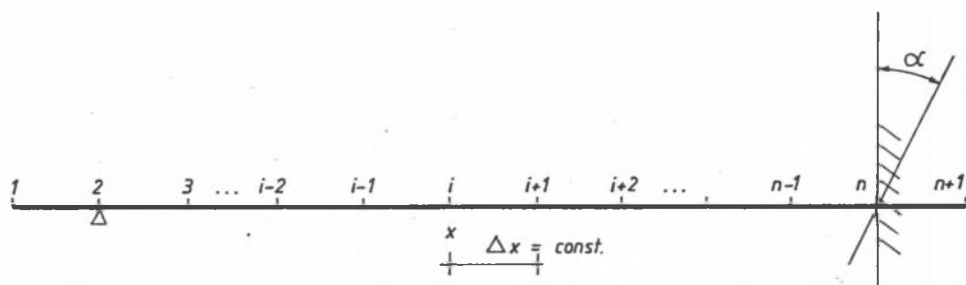
3.3. Rozwiązanie metodą różnic skończonych

Dokładniejsze rozwiązanie równania (1) uzyskać można wykorzystując metodę różnic skończonych, po uprzednim zróżniczkowaniu względem x . W ten sposób otrzyma się równanie czwartego rzędu:

$$EJ y^{IV} - g \cdot x \cdot y'' - g \cdot y' = 0 \quad (9)$$

z warunkami brzegowymi:

$$\begin{aligned} y(0) &= 0, & y''(0) &= 0, \\ y(1) &= 0, & y'(1) &= -\alpha \end{aligned}$$



Rys.3. Schemat siatki różniczkowej

Fig.3. Finite difference mesh

Wprowadzając odpowiednie schematy różnicowe równanie różnicowe dla i -tego węzła przyjmuje postać:

$$\frac{EJ}{\Delta x^4} (y_{i-2} - 4 y_{i-1} + 6 y_i - 4 y_{i+1} + y_{i+2}) -$$

$$- \frac{g \cdot x_i}{\Delta x^2} (y_{i+1} - 2 y_i + y_{i-1}) - \frac{g}{2 \Delta x} (y_{i+1} - y_{i-1}) = 0$$

Warunki brzegowe:

$$y(0) = 0, \quad \text{stad } y_2 = 0$$

$$y''(0) = 0, \quad \text{stad } \frac{y_1 - 2y_2 + y_3}{\Delta x^2}$$

$$y(1) = 0, \quad \text{stad } y_n = 0$$

$$y'(1) = -\alpha, \quad \text{stad } \frac{y_{n+1} - y_{n-1}}{2 \Delta x} = -\alpha$$

Po uporządkowaniu otrzymuje się:

$$\left(\frac{6 EJ}{\Delta x^4} + \frac{2 g x_1}{\Delta x^2} \right) y_1 + \left(-\frac{4 EJ}{\Delta x^4} + \frac{g x_1}{\Delta x^2} + \frac{g}{2\Delta x} \right) y_{1-1} + \frac{EJ}{\Delta x^4} y_{1-2} +$$

$$+ \left(-\frac{4 EJ}{\Delta x^4} - \frac{g x_1}{\Delta x^2} - \frac{g}{2\Delta x} \right) y_{1+1} + \frac{EJ}{\Delta x^4} y_{1+2} = 0 \quad (10)$$

$$\text{dla } i = 3, 4, 5, \dots, n-1$$

a także na podstawie warunków brzegowych:

$$y_2 = 0$$

$$y_1 + y_3 = 0$$

$$-y_{n-1} + y_{n+1} = -2\Delta x \cdot \alpha$$

$$y_n = 0$$

Rozwiązując powyższy układ równań algebraicznych znaleźć można $y_1, y_2, y_3, y_4, \dots, y_{n-2}, y_{n-1}$, a stąd maksymalną wartość ugięcia trzonu nośnego obudowy y_{\max} . Grubość warstwy poślizgowej d winna być większa lub równa y_{\max} .

3.4. Przykładowe obliczenia grubości warstwy poślizgowej

W celu zbadania podstawowych zależności pomiędzy grubością warstwy poślizgowej a poszczególnymi parametrami, które wywierają wpływ na tę wielkość, przeprowadzono obszerne, wielowariantowe obliczenia wg przedstawionej metody. Obliczenia te wykonano na mikrokomputerze typu IBM PC. Rozwiązania układu równań (10) dla poszczególnych kombinacji parametrów wejściowych uzyskano przy podziale rozpatrywanych przedziałów głębokości na 32 odcinki, co - jak wykazały obliczenia próbne - zapewnia dostateczną dokładność wyników. Warto przy tym zwrócić uwagę na dość znaczną czasochłonność obliczeń (czas trwania jednego cyklu wyniósł ok. 5 min na mikrokomputerze IBM PC XT TURBO).

W tabelicy 1 zestawiono wartości parametrów wejściowych przyjmowane wariantowo do obliczeń. Należy podkreślić, że wykonane obliczenia objęły jedynie niewielką część możliwych kombinacji przyjętych parametrów (72 warianty spośród 15 tys. kombinacji).

Tablica 1

Wartości parametrów wejściowych

Lp.	Rodzaj parametru	Przyjęte wartości
1.	Kąt obrotu stopy szybowej α , rd	0,001, 0,002, 0,003
2.	Ciężar właściwy asfaltu γ_a , KN/m ³	11 12 13
3.	Głębokość posadowienia stopy H_s , m	400 600 800
4.	Średnica szybu w świetle D, m	4 6 8
5.	Moduł sprężystości pierścienia wewnętrznego E_1 , GPa	210 ^{1'} 107 ^{2'}
6.	Moduł sprężystości rdzenia betonowego E_2 , GPA	32,4 ^{3'} 34,4 ^{4'} 36,0 ^{5'}
7.	Moduł sprężystości pierścienia zewnętrznego E_3 , GPa	210 ^{1'} 0,0 0,005 ^{6'} 0,10 ^{6'} 0,020 ^{6'}
8.	Grubość pierścienia wewnętrznego G_1 , m	0,04 ^{7'} 0,05 ^{7'} 0,06 ^{7'}
9.	Grubość rdzenia betonowego G_2 , m	0,4 0,6 0,8
10.	Grubość pierścienia zewnętrznego G_3 , m	0,005 0,010 0,020

Uwagi: 1) stal St3SX, St3SY, St3S;

2) Żeliwo ZL25;

3) beton kalsy B-30;

4) Beton klasy B-35;

5) beton kalsy B-40;

6) grubości pierścieni stalowych;

7) grubości pierścieni żeliwnych

(tubingowych).

Charakterystykę badanych wariantów oraz otrzymane z obliczeń maksymalne wielkości przesunięcia osi rury szybowej względem jej końców zestawiono w tabelicy 2. Wielkości te stanowią zarazem minimalną grubość warstwy poślizgowej.

Otrzymane wyniki obliczeń poddano analizie mającej na celu określenie wpływu poszczególnych parametrów wejściowych na niezbędną grubość warstwy poślizgowej.

Kąt obrotu stopy szybowej α będący odzwierciedleniem wpływu eksploatacji poniżej chronionego odcinka obudowy posiada zasadnicze znaczenie dla grubości warstwy poślizgowej. Z niewielkim przybliżeniem można przyjąć, że wielkości te są wprost proporcjonalne. Świadczy o tym przykładowo zestawienie wariantów nr 1 i 2, 3 i 4, 7 i 8, 9 i 10. Proporcjonalny wzrost odchylenia rury szybowej przy wzroście kąta α jest oczywisty, wynika wprost z przyjętego modelu zjawiska.

Tablica 2

Badane warianty

Parametr	Numer wariantu		1	2	3	4	5	6	7	8
	α									
Kąt obrotu stopy Ciężar właściwy asfaltu Głębokość posadowienia stopy Średnica szybu	α	rd	0.001	0.003	0.001	0.003	0.001	0.003	0.001	0.003
	γ_a	kn/m ³	11	11	12	12	13	13	11	11
	H_s	m	400	400	400	400	400	400	800	800
	D	m	4	4	4	4	4	4	4	4
Moduł sprężystości	E ₁	GPa	210	210	210	210	210	210	210	210
	E ₂	GPa	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4
	E ₃	GPa	210	210	210	210	210	210	210	210
Grubość	G ₁	m	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
	G ₂	m	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	G ₃	m	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Grubość warstwy posłizgowej	d	cm	6.9	20.7	6.7	20.1	6.5	19.6	8.8	26.4

cd. tablicy 2

Nr	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
α	0.001	0.003	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
γ_a	12	12	13	13	11	12	13	11	12	13	11	12	13	12
H_s	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
D	4	4	4	4	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8
E_1	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
E_2	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4
E_3	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
G_1	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
G_2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6
G_3	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
d	7.9	23.6	7.3	21.9	17.0	15.9	15.0	17.5	16.6	15.9	23.9	22.9	21.9	20.1

cd. tablicy 2

Nr	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
α	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
γ_a	11	12	13	11	12	13	11	12	13	12	11	12	13	11
H_B	600	600	600	600	600	600	800	600	600	600	600	600	600	600
D	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	6	6	6	8
E1	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
E2	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4
E3	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
G1	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.02	0.02	0.02	0.02
G2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4
G3	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.02	0.02	0.02	0.02
d	16.7	16.0	15.3	17.1	16.5	15.9	24.7	20.4	19.9	18.8	19.0	18.2	17.6	18.9

cd. tablicy 2

Nr	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
α	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
γ_a	12	13	11	12	13	12	13	13	13	13	13	13	13	13
H_s	600	600	800	600	600	600	800	800	800	800	800	800	800	800
D	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
E_1	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
E_2	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4
E_3	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
G_1	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.005
G_2	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4	0.6	0.6	0.8	0.8	0.4	0.4
G_3	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.02
d	18.4	17.9	26.5	21.2	20.6	20.0	16.3	17.3	19.8	20.5	22.6	23.1	16.4	17.6

cd. tablicy 2

Nr	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
α	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
γ_a	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
H_s	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
D	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
E ₁	210	210	-	-	-	-	210	210	210	210	210	210	107	107
E ₂	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	34.4	34.4	34.4	36	36	36	32.4	32.4
E ₃	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
G ₁	0.005	0.005	-	-	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.06
G ₂	0.8	0.8	0.4	0.8	0.4	0.8	0.4	0.6	0.8	0.4	0.6	0.8	0.4	0.4
G ₃	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
d	22.8	23.5	15.9	22.5	17.1	23.2	17.2	20.6	23.3	17.4	20.8	23.5	19.4	20.5

cd. tablicy 2

Nr	65	66	67	68	69	70	71	72
α	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
γ_a	13	13	13	13	13	13	13	13
H_s	800	800	800	800	800	800	800	800
D	8	8	8	8	8	8	8	8
E_1	107	107	107	107	107	107	107	107
E_2	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4
E_3	210	210	210	210	210	210	210	210
G_1	0.08	0.04	0.06	0.08	0.04	0.08	0.04	0.08
G_2	0.4	0.8	0.8	0.8	0.4	0.4	0.8	0.8
G_3	0.02	0.02	0.02	0.02	0.005	0.005	0.005	0.005
d	21.6	24.8	25.5	26.3	17.8	20.2	23.7	25.3

Nieco bardziej złożony jest wpływ ciężaru właściwego asfaltu warstwy poślizgowej na jej grubość. Ogólnie rzecz biorąc, wzrost tego ciężaru powoduje zmniejszenie grubości. Wynika to stąd, że w takim przypadku zwiększy się siła wyporu G_w , to zaś mniejszy wypadkową sił powodujących zakrzywienie rury szybowej. Ilustracją tej tendencji są m.in. wyniki wariantów 13-42. Wpływ ten jest silniejszy przy mniejszych objętościach obudowy wiążących się z wielkościami średnicy szybu D (por. warianty 13-15 i 16-18) oraz grubościami obudowy (por. warianty 33-35 i 23-25).

Wzrost długości rury szybowej powoduje w zasadzie zwiększenie grubości warstwy poślizgowej (np. warianty 2 i 8). Jednak wpływ ten szybko maleje przy większych długościach rury, o czym świadczy porównanie wariantów 13 i 23.

Niewielki jest wpływ średnicy szybu w świetle obudowy na grubość warstwy poślizgowej. Jak wynika z zestawienia wariantów 15 i 18, 23 i 26 czy 35 i 38, grubość ta jest minimalnie większa przy wzroście średnicy szybu, jednak przyrost maksymalnej grubości nie przekracza kilku milimetrów.

Grubości poszczególnych pierścieni obudowy mają pewien wpływ na grubość warstwy poślizgowej, przy czym jest to wynik dwóch oddziaływań: zmian objętości rury szybowej, a w ślad za tym - ciężaru i siły wyporu oraz zmian sztywności obudowy. Znaczące efekty tych oddziaływań pojawiają się jednak dopiero przy bardziej zasadniczych zmianach grubości pierścienia betonowego (por. np. warianty 43, 45 i 47 lub 53 i 54). Mniejsze są efekty zmian grubości pierścieni metalowych (np. warianty 28, 43 i 44).

Ostatni zespół parametrów stanowią moduły sprężystości materiałów, z których zaprojektowano poszczególne pierścienie obudowy. Zmiany tych modułów, wynikające ze zmiany klasy betonu, są nieistotne z punktu widzenia grubości warstwy poślizgowej, o czym świadczą np. wyniki wariantów 57 i 60 lub 59 i 62. Nieco tylko większe są skutki wprowadzenia pierścienia żeliwnego (tubingowego) w miejsce pierścienia stalowego.

W analizowanej wyżej tabl.2 podano jedynie maksymalne grubości warstwy poślizgowej dla poszczególnych wariantów. Obliczenia dostarczyły natomiast danych określających rozkład niezbędnych grubości tej warstwy w całych rozpatrywanych przedziałach (od powierzchni do stopy szybowej). W tabelicy 3 zestawiono obliczone grubości dla poszczególnych głębokości przy różnych długościach projektowanej obudowy. Znajomość rozkładu niezbędnych grubości warstwy poślizgowej pozwala na zaprojektowanie ewentualnego jej stopniowania.

Tablica 3

Głębokość 400 m		Głębokość 600 m		Głębokość 800 m	
H	d	H	d	H	d
m	cm	m	cm	m	cm
0	0,0	0,0	0,0	0	0,0
25	2,9	37,5	4,2	50	5,2
50	5,9	75,0	8,3	100	10,3
75	8,9	112,5	12,2	150	15,2
100	11,3	150,0	16,0	200	19,7
125	13,5	187,5	19,2	250	23,8
150	15,4	225,0	22,1	300	27,4
175	17,0	262,5	24,6	350	30,4
200	17,9	300,0	26,5	400	32,7
225	18,9	337,5	27,6	450	34,2
250	19,1	375,0	28,0	500	34,9
275	19,0	412,5	27,4	550	34,7
300	17,7	450,0	26,1	600	33,3
325	15,9	487,5	23,7	650	30,6
350	13,7	525,0	20,0	700	26,3
375	10,0	562,5	15,0	750	20,1
400	0,0	600,0	0,0	800	0,0

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono sposób określania grubości asfaltowej warstwy poślizgowej dla obudowy szybu poddanego działaniu wpływów eksploatacji. Za podstawę metody przyjęto model zjawiska polegającego na obrocie stopy szybowej stanowiącej posadowienie obudowy. Wyprowadzono równanie różniczkowe problemu, którego rozwiązanie skonstruować można jedynie w postaci szeregu (w pracy nie analizowano zbieżności tego szeregu) bądź na drodze numerycznej.

Stosując praktycznie metodę różnic skończonych otrzymuje się rozwiązanie z dowolną dokładnością. W niniejszych rozważaniach ograniczono się do układu (10) o rozmiarach macierzy pozwalających na użycie minikomputera.

Wykonane przykładowo obliczenia pozwalają na stwierdzenie, że zasadniczy wpływ na niezbędną grubość warstwy poślizgowej wywiera przyjęty kąt obrotu stopy szybowej. Istotna jest też przyjęta wartość ciężaru właściwego asfaltu, a także projektowana grubość betonowego rdzenia obudowy. Pozostałe parametry

mają tu niewielkie znaczenie. Maksymalna grubość warstwy poślizgowej występuje w granicach 0,6 + 0,7 głębokości, na której zlokalizowano stopę szybową.

LITERATURA

- [1] Bitter F.: Die Fertigstellung des Gefrierschachtes Voerde. Glückauf, nr 19/121, Essen 1985, s.1423-1427.
- [2] Harding P.G.: Schacht Prosper 10-sinking into the future. Tunnels & Tunneling, January/February 1980, s.35-37.
- [3] Kampschlute R.M., Lehman W., Link H.: Das Abteufen und Ausbauen des Gefrierschächte Wulfen 1 und 2. Glückauf, nr 25, Essen 1964, s;1473-1495.
- [4] Lütgendorf H.O.: Das wasserdichte gleitende Stahlbetonringausbau des Gefrierschachtes Auguste Victoria 8. Glückauf, nr 12, Essen 1967, s. 553-560.
- [5] Opracowanie metodyki obliczeń szybowej obudowy dwuwarstwowej z uwzględnieniem możliwości eksploatacji w filarze ochronnym. Prace Instytutu Projektowania i Budowy Kopalń AGH, Kraków 1987 (maszynopis).
- [6] Wengel J., Lütgendorf H.O., Helfferich R.: Das Abteufen und Ausbauen des Gefrierschachtes Auguste Victoria 7. Glückauf, nr 22, Essen 1961, s.1341-1369.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Mirosław CHUDEK

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1991

DETERMINATION OF THE THICKNESS OF THE SLIDE LAYER OF THE MULTILAYER SHAFT LINING WITH THE CONSIDERATION OF THE FOUNDATION TURN BY THE EXTRACTION OF THE DEPOSIT FROM THE PROTECTING PILLAR

A b s t r a c t

The construction of a waterproof shaft lining resistant to the influences of mining carried out in its nearest vicinity is a complex problem. So far, the designing of this kind of lining, with the consideration of the conditions in the Polish mining, has not been undertaken yet; nevertheless one could mention some achievements in the field of the construction work itself.

The paper presents considerations aiming at the determination of the thickness of the slide layer of a multilayer lining according to the assumed construction diagram (Fig.1). The initial assumption was that during the extraction of the deposit from the protecting pillar, among others, a turn of the main shaft foundation occurs in a vertical plane by an angle α . After a

shifting jointed bearing has been formed at the shaft collar, the curvature of the shaft lining, which determines the thickness of the slide layer, takes place. The static problem has been reduced to a question of a bar immersed in a liquid (Fig.2).

First a differential equation of the problem (formula /1/) was formulated and its solution was given in a form of a series. The check of the obtained formula proved that results (formula /4/) obtained with its help are approximate (formula /8/).

Then, in order to specify the result - to solve the problem the method of finite differences was used. A relation (formula /10/) has been obtained which enables a more precise determination of the bituminous slide layer.

At the end, the relations obtained have undergone a fragmentary analysis with the use of a computer. In this way some generalisations and conclusions have been worked out.