

Jan Zych

METODA "WACHLARZOWA" EKSPLOATACJI FILARÓW SZYBOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono nową oryginalną metodę eksploatacji filarów ochronnych szybowych, która powoduje teoretycznie zerowanie się w osi szybu odkształceń pionowych na całej jego długości.

Metoda ta polega na zastosowaniu do eksploatacji filarów szybowych frontu eksploatacyjnego w kształcie wycinka koła o odpowiedniej długości promienia r . Przez zastosowanie odpowiednich układów frontów eksploatacyjnych w kształcie wycinka koła można uzyskać dodatkowo zerowanie się w osi szybu innych wskaźników deformacji.

1. Wstęp

Szyby, jako wyrobiska o podstawowym znaczeniu dla pracy podziemnej kopalni, były zawsze i są nadal szczególnie chronione przed uszkodzeniami.

W celu zabezpieczenia szybu i urządzeń przyszybowych na powierzchni przed skutkami eksploatacji górniczej pozostawiano wokół szybu filary ochronne, w których przez długi czas nie wolno było prowadzić eksploatacji.

Gdy eksploatacja prowadzona była na niedużych głębokościach i niezbyt intensywnie, dla zabezpieczenia szybu wystarczała stosunkowo niewielki filar ochronny. Takie filary nie posiadały większego znaczenia ekonomicznego i miały być ewentualnie eksploatowane przy likwidacji kopalni.

W miarę wzrostu głębokości eksploatacji zwiększają się znacznie wymiary filarów szybowych i przy dużych głębokościach dochodzących do 1000 m, zajmują niekiedy prawie cały obszar górniczy kopalni.

Zwiększa się również intensywność eksploatacji prowadzonej na zewnątrz filarów szybowych, w wyniku której uszkodzeniom ulegają obiekty przyszybowe na powierzchni jak również i same szyby, pomimo ich ochrony filarami.

Za eksploatacją filarów szybowych przemawiają więc nie tylko względy ekonomiczne ale również fakt, że filary szybowe przy intensywnej zewnętrznej eksploatacji, zwłaszcza zawałowej, nie chronią skutecznie szybów i obiektów przyszybowych.

Prócz tego filary ochronne są przyczyną gromadzenia się w nich dużych naprężeń, które z kolei mogą powodować tąpnięcia.

Eksploatacja filarów szybowych w Polsce prowadzona jest na szerszą skalę od ponad dwudziestu lat. W okresie tym powstała polska metoda eksploatacji filarów szybowych z "kostką szybową".

Pierwsze eksperymentalne eksploatacje prowadzone były w szybach peryferyjnych (szyb Szymon, szyb Krzysztof) i inne. W miarę jak uzyskiwano nowe pozytywne doświadczenia, zaczęto eksploatować również filary dla głównych szybów wydobywczych kopalni (szyby Sobiesław i Jurand, Szyby Wyzwolenie i inne).

O ile eksploatacja filarów szybowych w łatwych warunkach geologiczno-górnictwowych i dla mniej ważnych szybów nie stanowi już dzisiaj w zasadzie większego problemu, to w trudnych warunkach geologiczno-górnictwowych, zwłaszcza przy zawodnionym górotworze stanowi problem otwarty. Problem ten jest skomplikowany i niebezpieczny. W poszczególnych krajach rozwiązywany jest w sposób odmienny, z różnym nasileniem badań i prac eksperymentalnych.

W Polsce wybudowano i w dalszym ciągu buduje się wiele szybów o sztywnej obudowie betonowej i tubingowej, w warunkach zawodnionego górotworu, praktycznie bez żadnych zabezpieczeń. Wprawdzie są prowadzone u nas badania nad opracowaniem odpowiednio wytrzymałych, wodonieprzepuszczalnych obudów szybowych, ale jak dotychczas nie przyniosły one praktycznych rezultatów. Poza tym, jak wykazują wyniki badań prowadzone za granicą, obudowa taka jest trudna w realizacji na skalę przemysłową i zbyt droga.

Ze względu na zaistniały opisany wyżej stan faktyczny, aby rozwiązać u nas problem eksploatacji istniejących filarów szybowych w warunkach zawodnionego górotworu należy zdaniem autora rozwiązać trzy zasadnicze problemy:

1. Opracować metody eksploatacji filarów szybowych, które powodowałyby minimalne deformacje rury szybowej, gdyż jak wykazała analiza dotychczasowych metod [3], powodują one większe wskaźniki deformacji aniżeli są dopuszczalne dla szybów w zawodnionym górotworze.
2. Rozeznać bardzo dokładnie warunki hydrogeologiczne w rejonie szybów celem opracowania metod częściowego lub całkowitego odwodnienia warstw z rejonów szybów względnie określenie stopnia zagrożenia wodnego.
3. Opracować metody zabezpieczenia istniejących obudów szybowych na wpływy eksploatacji górniczej,

W niniejszej pracy zostanie przedstawiona metoda eksploatacji filarów szybowych, która powoduje teoretycznie minimalne deformacje rury szybowej. Metoda ta od kształtu frontu eksploatacyjnego nazwana została metodą "wachlarzową".

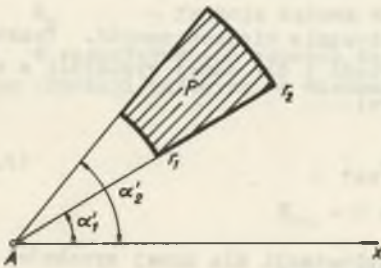
Metoda "wachlarzowa" polega na tym, że prostoliniowy front eksploatacyjny o odpowiedniej długości r przesuwa się wokół osi szybu w ten sposób, że w każdym momencie wyeksploatowana powierzchnia posiada kształt wycinka koła z wierzchołkiem w środku szybu. Przy tak prowadzonej eksploatacji uzyskuje się teoretycznie równomierne osiadanie całej rury szybowej, a więc następuje zerowanie się odkształceń pionowych w osi szybu na całej długości rury szybowej od stropu eksploatowanego pokładu do powierzchni. Pewne

kombinacje eksploatacji w postaci wycinków koła, powodują dodatkowo zerowanie się w osi szybu pozostałych wskaźników deformacji, jak: odkształceń poziomych, krzywizn pionowych, przesunięć poziomych oraz nachyleń na całej długości rury szybowej we wszystkich kierunkach w poziomie.

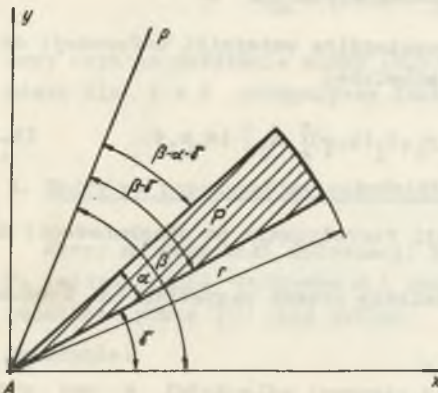
2. Założenia

Metoda "wachlarzowa" eksploatacji filarów szybowych została udowodniona teoretycznie w pracy [5] w oparciu o teorię statystyczno-całkową T. Kochmańskiego [1] poszerzoną o wzory i metody obliczeń opracowane przez J. Magdziorza [2]

Metodę tę można też udowodnić w oparciu o teorię Budryk - Knothe czy teorię Litwiniszyna.



Rys. 1. Schemat eksploatacji w postaci wycinka pierścienia kołowego wg J. Magdziorza



Rys. 2. Schemat eksploatacji w postaci wycinka koła w układzie prostokątnym wg autora

Wzory na wskaźniki deformacji w teorii T. Kochmańskiego dla eksploatacji w kształcie wycinka pierścienia kołowego jak na rys. 1 zostały wyprowadzone przez J. Magdziorza w pracy [2]. Pozwalają one obliczać wskaźniki deformacji w każdym dowolnym kierunku dla eksploatacji w kształcie wycinka koła, jak również na podstawie powyższych wzorów można skonstruować grafikony dla obliczenia wskaźników deformacji.

Przy przyjęciu założeń jak na rys. 1 nie można przeprowadzić szczegółowej analizy tych wzorów i dlatego do dalszych rozważań autor proponuje przyjąć założenia jak na rys. 2

Na podstawie założeń jak na rys. 2 zostanie udowodniona metoda "wachlarzowa" eksploatacji filarów szybowych.

Na rys. 2 dany jest układ współrzędnych prostokątnych x, y, z ze środkiem w punkcie A, leżącym na interesującym nas poziomie z wewnątrz górotworu lub na powierzchni. Osie x, y są poziome, natomiast oś z ma swój początek w stopie pokładu i jest skierowana

pionowo do powierzchni. Dana jest eksploatacja P w kształcie wycinka koła o kącie środkowym α , przy czym:

$$0 < \alpha \leq 2\pi.$$

Półprosta p oznacza dowolny kierunek. Natomiast β oznacza kąt zawarty między osią x a dowolnym kierunkiem p , przy czym:

$$0 < \beta < 2\pi.$$

Wycinek koła o kącie środkowym α ograniczony jest dwoma promieniami, które tworzą z osią x kąty ϕ i $\phi + \alpha$, przy czym:

$$0 < \phi \leq 2\pi.$$

Wszystkie kąty (α, β, ϕ) wzrastają od osi x w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara.

Promień eksploatacji r równy jest teoretycznie nieskończoność. Praktycznie promień ten posiada ograniczoną wartość i dla danej wysokości z nad stropem pokładu można go obliczyć wg wzoru:

$$r_z = \xi_z r_{oz}, \quad (2.1)$$

gdzie:

r_z - promień praktycznego zasięgu eksploatacji dla danej wysokości z nad stropem pokładu

$\xi_z = \xi_z(z)$ - promień bezwymiarowy zasięgu eksploatacji dla danej wysokości z

r_{oz} - wielkość parametru r_o dla danej wysokości z .

Na podstawie pracy [5] wzory na poszczególne wskaźniki deformacji można przedstawić w formie ogólnej, a mianowicie:

$$D_j(a, g, b, r_o, P) = \sum C_j [a, g, b, r_o, R_j(b, \rho)] K_{jn}(\alpha, \beta, \phi) \quad (2.2)$$

gdzie:

D_j - dowolny wskaźnik deformacji teoretycznie po nieskończonej dłużej czasie

a - współczynnik osiadania, zależny przede wszystkim od sposobu kierowania stropem

g - grubość pokładu

$b=b(z)$ - parametr teorii zależny od pionowej odległości z nad stropem eksploatowanego pokładu, obliczony według wzoru T. Kochmańskiego

$$b = \frac{5 - 1,12 \log z}{1 + 0,672 \log z} \quad \text{dla } 20 \leq z \leq 700 \text{ m} \quad (2.3)$$

oraz wzoru podanego przez J. Zycha w pracy [5]

$$b = \frac{3 - 1,29 \log z}{1 - 0,234 \log z} \quad \text{dla } 1 \leq z \leq 20 \text{ m} \quad (2.4)$$

$r_0 = r_0(z)$ - parametr teorii tzw. parametr poziomego oddziaływania zależny przede wszystkim od składu litologicznego górotworu

P - wysokość wyeksploatowana powierzchnia,

C - współczynnik właściwy dla danego wskaźnika deformacji obliczony na podstawie odpowiednich tablic,

R - funkcja radialna właściwa dla danego wskaźnika deformacji zależna od parametrów b i q

q - promień bezwymiarowy obliczany wg wzoru:

$$q = \frac{r}{r_0} \quad (2.5)$$

r - promień wycinka koła lub pierścienia kołowego,

K_n - funkcja kątowa właściwa dla danego wskaźnika deformacji.

W rozpatrywanych wzorach na wskaźniki deformacji [5] występują trzy typy funkcji kątowych, a mianowicie:

$$K_{0n} = \alpha \cdot n \quad (2.6)$$

$$K_{1n} = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \sum_{k=1}^n \cos(\beta - \frac{\alpha}{2} - \phi_k) \quad (2.7)$$

$$K_{2n} = \sin \alpha \sum_{k=1}^n \cos(2\beta - \alpha - 2\phi_k) \quad (2.8)$$

Wzory (2.7) i (2.8) możemy napisać w formie ogólnej:

$$K_{tn} = \frac{2}{t} \sin t \frac{\alpha}{2} \sum_{k=1}^n \cos t(\beta - \frac{\alpha}{2} - \phi_k), \quad (2.9)$$

przy czym na podstawie wzoru (2,9) dla $t=1$ otrzymujemy funkcję K_{1n} , natomiast dla $t = 2$ otrzymujemy funkcji K_{2n} .

3. Wzory na poszczególne wskaźniki deformacji przy metodzie "wachlarzowej"

Wzory na wskaźniki deformacji pod wpływem eksploatacji n wycinków koła każdy o kącie środkowym α i promieniu $r = \infty$ w dowolnym kierunku β na podstawie pracy [5] mają postać:

Osiadanie:

$$w_n = \frac{8q}{2X} \phi'_{\max} K_{0n} = C_w K_{0n} \quad (3.1)$$

Odkształcenie pionowe:

$$\epsilon_{zn} = - \frac{a_g}{2\mathcal{K}} \left[\frac{db^x}{dz} \kappa'_{\min} - \frac{1}{r_0} \frac{dr_0}{dz} \kappa'_{1\min} \right] K_{0n} = C_{\epsilon}^z K_{0n}, \quad (3.2)$$

Przesunięcie poziome:

$$u_{pn} = - \frac{a_g}{2\mathcal{K}} \left[r_0 \frac{db^x}{dz} \psi'_{\max} - \frac{dr_0}{dz} \psi'_{1\max} \right] K_{1n} = C_u K_{1n}, \quad (3.3)$$

Nachylenie:

$$T_{pn} = - \frac{a_g}{2\mathcal{K} r_0^2} \ell'_{\max} K_{1n} = C_T K_{1n}, \quad (3.4)$$

Krzywizna pionowa:

$$K_{pn}^V = - \frac{a_g}{2\mathcal{K} r_0^2} \kappa'_{\max} K_{2n} = C_K^V K_{2n}, \quad (3.5)$$

Odkształcenie poziome:

$$\epsilon_{pn} = - \frac{a_g}{2\mathcal{K}} \left[\frac{db^x}{dz} \ell'_{\max} - \frac{1}{r_0} \frac{dr_0}{dz} \omega'_{\max} \right] K_{2n} = C_{\epsilon}^D K_{2n} \quad (3.6)$$

przy czym:

$$\frac{db^x}{dz} = S \frac{db}{dz} \quad (3.7)$$

gdzie:

$\frac{db}{dz}$ - pochodna obliczona przez zróżniczkowanie wzorów (2.3) i (2.4)

$\frac{dr_0}{dz}$ - pochodna zależna od przebiegu funkcji zmienności parametru r_0 w górotworze

$\psi, \kappa', \kappa_1, \psi', \psi'_1, \ell', \kappa, \ell'_1, \omega'$ - funkcje radialne zależne od parametrów b i ρ

S - współczynnik szczelinowatości właściwy dla danego wskaźnika deformacji.

4. Ogólna analiza wzorów na wskaźniki deformacji

Dla zbadania jak zmieniają się poszczególne wskaźniki deformacji na całej długości rury szybowej w dowolnym kierunku w poziomie przeprowadzono analizę ogólną współczynników C_j oraz funkcji katowych K_{0n} i K_{tn} występujących we wzorach na wskaźniki deformacji.

Najprościej zagadnienie przedstawia się dla funkcji kątowej K_{On} , która jest różna od zera i dla danego α i n .

$$K_{On} = \text{const.} \quad (4.1)$$

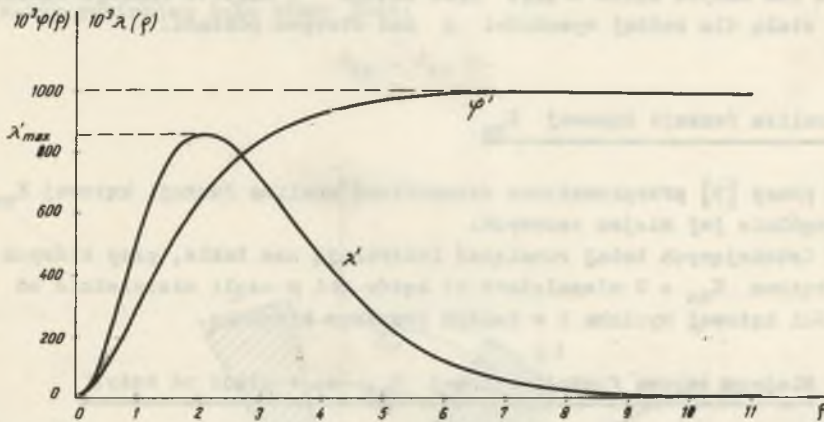
Ze wzorów (3.1) - (3.6) wynika, że dla danego α wszystkie współczynniki C_j zależą od funkcji radialnych, a więc zależą od parametrów $b(z)$ i $r_0(z)$, zatem zależą od wysokości z nad stropem pokładu.

Z własności funkcji radialnej $\phi'(p, b)$ wynika (rys. 3), że dla $r = \infty$ funkcja ϕ' osiąga wartość maksymalną równą:

$$\phi'(b, \infty) = \phi'_{\max} = 1 \quad (4.2)$$

dla każdego parametru b , a więc dla każdej wysokości z nad stropem pokładu. Zatem współczynnik C_w z wzoru (3.1) jest stały dla każdej wysokości z i wynosi:

$$C_w = \frac{\alpha g}{2\lambda} = \text{const.} \quad (4.3)$$



Rys. 3. Przebieg zmienności funkcji radialnych ϕ' i λ' dla danego parametru b w zależności od p .

Dla danych α i n na podstawie (4.1) i (4.3) osiadanie punktów położonych w osi szybu (3.1) jest teoretycznie stałe dla każdej wysokości z nad stropem pokładu.

Z własności funkcji $\mathcal{N}(b, \rho)$ i $\mathcal{N}'_1(b, \rho)$ wynika (rys. 3), że dla $r = \infty$ funkcje te osiągną wartość minimalną równą zero

$$\mathcal{N}_{\min}(b, \infty) = 0 \quad \text{i} \quad \mathcal{N}'_{1\min}(b, \infty) = 0 \quad (4.4)$$

dla każdego parametru b , zatem współczynnik C_g^z wg wzoru (3.2) równy jest:

$$C_g^z = 0. \quad (4.5)$$

Na podstawie wzorów (4.5) i (3.2) odkształcenie pionowe w osi szybu jest teoretycznie równe zero dla każdej wysokości z nad stropem eksploatawanego pokładu.

Pozostałe współczynniki C_j są zawsze różne od zera. Dla danych parametrów b i r_0 wartość tych współczynników jest stała i można ją obliczyć na podstawie odpowiednich tabel. Zatem, pozostałe wskaźniki deformacji (3.3) do (3.6) mogą być równe zero tylko wówczas, gdy odpowiadająca im funkcja kątowa $K_{tn} = 0$.

Funkcja kątowa K_{tn} wg wzoru (2.9) zależy tylko od kątów α, β, ϑ oraz ilości wycinków koła n , a nie zależy od wysokości z nad stropem pokładu zatem dla danych kątów α, β, ϑ oraz danego n wartość funkcji kątowej K_{tn} jest stała dla każdej wysokości z nad stropem pokładu.

5. Analiza funkcji kątowej K_{tn}

W pracy [5] przeprowadzono szczegółową analizę funkcji kątowej K_{tn} , a szczególnie jej miejsc zerowych.

Z istniejących tutaj rozwiązań interesują nas takie, przy których funkcja kątowa $K_{tn} = 0$ niezależnie od kątów α i β czyli niezależnie od szerokości kątowej wycinka i w każdym dowolnym kierunku.

5.1. Miejsca zerowe funkcji kątowej K_{tn} ze względu na kąty ϑ

Wzór ogólny (2.22) na funkcję kątową K_{tn} możemy przedstawić w innej postaci, a mianowicie:

$$K_{tn} = \sin t \frac{\alpha}{2} \left[\cos t \left(\beta - \frac{\alpha}{2} \right) \sum_{k=1}^n \cos t \vartheta_k + \sin t \left(\beta - \frac{\alpha}{2} \right) \sum_{k=1}^n \sin t \vartheta_k \right] \quad (5.1)$$

Zakładając, że $\sin t \frac{\alpha}{2} \neq 0$, to funkcja kątowna $K_{t1} = 0$ niezależnie od kątów α i β , gdy jest spełniony układ równań:

$$\sum_{k=1}^n \cos t \phi_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^n \sin t \phi_k = 0.$$
(5.2)

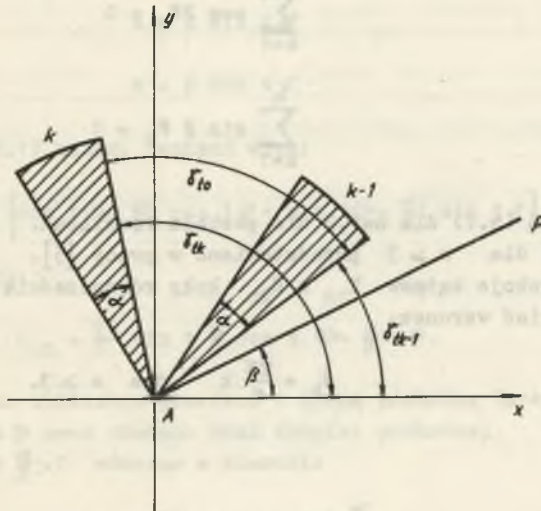
Z układu równań (5.2) wynika, że dla $n=1$ tzn. dla jednego wycinka koła funkcja kątowna $K_{t1} \neq 0$. Zatem dla $n=1$ funkcja kątowna K_{tn} może być równa zero tylko w pewnych określonych kierunkach.

5.2. Rozwiązanie ogólne układu równań, przy którym funkcja kątowna $K_{tn}=0$

Ogólne rozwiązanie układu równań (5.2) można ująć w postaci twierdzenia, a mianowicie:

Funkcja kątowna $K_{tn}=0$, jeżeli istnieje taki kąt ϕ_{t0} , zawarty między dwoma sąsiednimi wycinkami koła (rys. 4), że kąt ϕ_{tk} zawarty między osią x a k -tym wycinkiem koła równy jest:

$$\phi_{tk} = \phi_{t0} \cdot k. \quad (5.3)$$



Rys. 4. Ogólny schemat eksploatacji dla k wycinków koła

Dowód powyższego twierdzenia przeprowadzono przy użyciu liczb zespolonych w pracy [5].

Na podstawie pracy [5] funkcja kąтова $K_{tn} = 0$ gdy:

$$\vartheta_{1k} = \frac{2k}{n} \text{ dla } n \geq 2. \quad (5.4)$$

Natomiast funkcja kąтова $K_{2n} = 0$ gdy:

$$\vartheta'_{2k} = \frac{k}{n} \text{ dla } n \geq 2 \quad (5.5)$$

lub

$$\vartheta''_{2k} = \frac{2k}{n} \text{ dla } n \geq 3 \quad (5.6)$$

5.3. Warunek równoczesnego zerowania się funkcji kątowych K_{1n} i K_{2n}

Aby funkcje kątové K_{1n} i K_{2n} były równocześnie równe zero musi być spełniony układ równań:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n \cos \vartheta_k &= 0 \\ \sum_{k=1}^n \sin \vartheta_k &= 0 \\ \sum_{k=1}^n \cos 2\vartheta_k &= 0 \end{aligned} \quad (5.7)$$

$$\sum_{k=1}^n \sin 2\vartheta_k = 0$$

Układ równań (5.7) dla $n=1,2$ nie posiada rozwiązań.

Rozwiązanie dla $n > 3$ przedstawiono w pracy [5].

Aby obie funkcje kątové K_{1n} i K_{2n} były równocześnie równe zero kąty ϑ_k muszą spełniać warunek:

$$\vartheta_k = \frac{2k}{n} \text{ dla } n \geq 3. \quad (5.8)$$

5.4. Ekstremum lokalne funkcji kątovej K_{tn} ze względu na kąty α i β

Do dalszych rozważań przyjmijmy następujące oznaczenia:

$$a = \sum_{k=1}^n \sin t \vartheta_k \quad (5.9)$$

$$b = \sum_{k=1}^n \cos t \vartheta_k \quad (5.10)$$

$$\operatorname{tg} t \varphi = \frac{\sum_{k=1}^n \sin t \vartheta_k}{\sum_{k=1}^n \cos t \vartheta_k} = \frac{a}{b} \quad (5.11)$$

stąd:

$$\varphi = \frac{1}{t} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{a}{b} \quad (5.12)$$

Oznaczmy dalej przez:

$$R = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (5.13)$$

stąd:

$$a = R \sin t \varphi \quad (5.14)$$

$$b = R \cos t \varphi \quad (5.15)$$

Na podstawie wzoru (5.1) możemy napisać więc:

$$K_{tn} = \frac{2R}{t} \sin t \frac{\alpha}{2} \left[\cos t \left(\beta - \frac{\alpha}{2} \right) \cos t \varphi + \sin t \left(\beta - \frac{\alpha}{2} \right) \sin t \varphi \right] \quad (5.16)$$

i po przekształceniach:

$$K_{tn} = \frac{2R}{t} \sin t \frac{\alpha}{2} \cos t \left(\beta - \frac{\alpha}{2} - \varphi \right). \quad (5.17)$$

Dla zbadania ekstremum obliczono pierwszą i drugą pochodną funkcji K_{tn} z wzoru (5.17) względem β oraz zbadano znak drugiej pochodnej. Zakładając, że $\sin t \frac{\alpha}{2} > 0$ wówczas w kierunku

$$\beta_{\min} = \frac{\alpha}{2} + \varphi + (2k+1) \frac{\pi}{t} \quad (5.18)$$

mamy minimum właściwe, a w kierunku

$$\beta_{\max} = \beta_{\min} - \frac{\pi}{t} \quad (5.19)$$

mamy maksimum właściwe.

Jeżeli $\sin t \frac{\alpha}{2} < 0$, to wówczas w miejscu występowania minimum będzie występować maksimum i odwrotnie.

Wartość ekstremum na podstawie wzorów (5.17), (5.18) i (5.19) wynosi:

$$K_{tn \text{ ekstr}} = \pm \frac{2R}{t} \sin t \frac{\alpha}{2} \quad (5.20)$$

Ze wzoru (5.20) wynika, że wielkość ekstremum zależy jeszcze od kąta α , zatem ekstremum osiągnie maksymalną wartość, gdy:

$$\cos t \frac{\alpha}{2} = 0, \quad (5.21)$$

a stąd

$$\alpha = (2m+1) \frac{\pi}{t}. \quad (5.22)$$

Na podstawie wzoru (5.20) oraz (5.22) mamy:

$$K_{tn \text{ ekstr}} = \pm \frac{2R}{t}. \quad (5.23)$$

5.5. Równanie obwiedni funkcji kątowej K_{tn} przy $\phi_k = \text{const.}$

5.5.1. Równanie obwiedni funkcji kątowej K_{tn} ze względu na parametr β

Na podstawie wzoru (5.17) pochodna

$$\frac{\partial K_{tn}}{\partial \beta} = -2R \sin t \frac{\alpha}{2} \sin t(\beta - \frac{\alpha}{2} - \varphi) = 0, \quad (5.24)$$

gdy:

$$\sin t(\beta - \frac{\alpha}{2} - \varphi) = 0, \quad (5.25)$$

a stąd:

$$t(\beta - \frac{\alpha}{2} - \varphi) = m\pi \quad (5.26)$$

Wstawiając wyrażenie (5.26) do wzoru (5.17) otrzymamy wzór na obwiednię funkcji kątovej K_{tn} ze względu na parametr β

$$K_{tn}^{\beta} = \pm \frac{2R}{t} \sin t \frac{\alpha}{2}. \quad (5.27)$$

5.5.2. Równanie obwiedni funkcji kątovej K_{tn} ze względu na parametr α

Funkcję K_{tn} przedstawioną przy pomocy wzoru (5.17) można przedstawić w innej formie, a mianowicie:

$$K_{tn} = \frac{R}{t} \left\{ \sin t(\beta - \varphi) + \sin t[\alpha - (\beta - \varphi)] \right\}. \quad (5.28)$$

Na podstawie wzoru (5.28) pochodna

$$\frac{\partial K_{tn}}{\partial \alpha} = R \cos t [\alpha - (\beta - \varphi)] = 0, \quad (5.29)$$

gdym:

$$\cos t [\alpha - (\beta - \varphi)] = 0, \quad (5.30)$$

a stąd:

$$t [\alpha - (\beta - \varphi)] = (2m+1) \frac{\pi}{2}. \quad (5.31)$$

Wstawiając wyrażenie (5.31) do wzoru (5.28) otrzymamy wzór na obwiednię funkcji K_{tn} ze względu na parametr α

$$K_{tn}^{\alpha} = \frac{R}{t} \left[\sin t(\beta - \varphi) \pm 1 \right] \quad (5.32)$$

6. Analiza wskaźników deformacji dla wybranych wariantów eksploatacji

Z przeprowadzonej analizy wynika, że osiadanie punktów położonych w osi szybu, dla eksploatacji w postaci wycinków koła o promieniu r równym nieskończoność (praktycznie posiadającym ograniczoną wartość) jest teoretycznie stałe na całej długości rury szybowej, od stropu eksploatowanego pokładu do powierzchni, niezależnie od kątów φ_k .

Również odkształcenia pionowe w osi szybu są teoretycznie równe zeru na całej długości rury szybowej, niezależnie od ilości wycinków koła n i kątów φ_k .

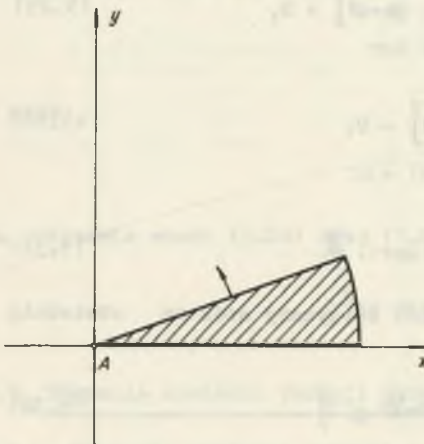
Pozostałe wskaźniki deformacji na danej wysokości z zależą od funkcji kątowych K_{1n} i K_{2n} .

Z przeprowadzonej analizy funkcji kątowej K_{tn} wynika bardzo duża ilość różnych wariantów eksploatacji, przy których funkcje K_{1n} i K_{2n} są równe zero, a więc nie występują odpowiadające tym funkcjom wskaźniki deformacji.

Poniżej zostanie przeanalizowanych pięć wariantów eksploatacji, które uznano za najbardziej optymalne i mogące znaleźć zastosowanie w praktyce.

6.1. Wariant I - eksploatacja w postaci jednego wycinka koła (rys. 5).

Wariant I eksploatacji rozpatrywany jest z tego względu, że jest prosty do zastosowania.



Rys. 5. Schemat eksploatacji wachlarzowej jednym frontem wokół szybu

Przy I wariacie eksploatacji tylko odkształcenia pionowe w osi szybu są teoretycznie równe zero na całej długości rury szybowej.

Pozostałe z rozpatrywanych wskaźników deformacji będą występować w szybie, gdyż na podstawie (5.2) funkcja kątowa K_{tn} ze względu na kąt θ jest różna od zera.

Zakładając we wzorze (2.22), że kąt $\theta_1 = 0$ otrzymamy wzory na funkcje kątowe.

$$K_{11} = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos(\beta - \frac{\alpha}{2}) \quad (6.1)$$

$$K_{21} = \sin \alpha \cos(2\beta - \alpha) \quad (6.2)$$

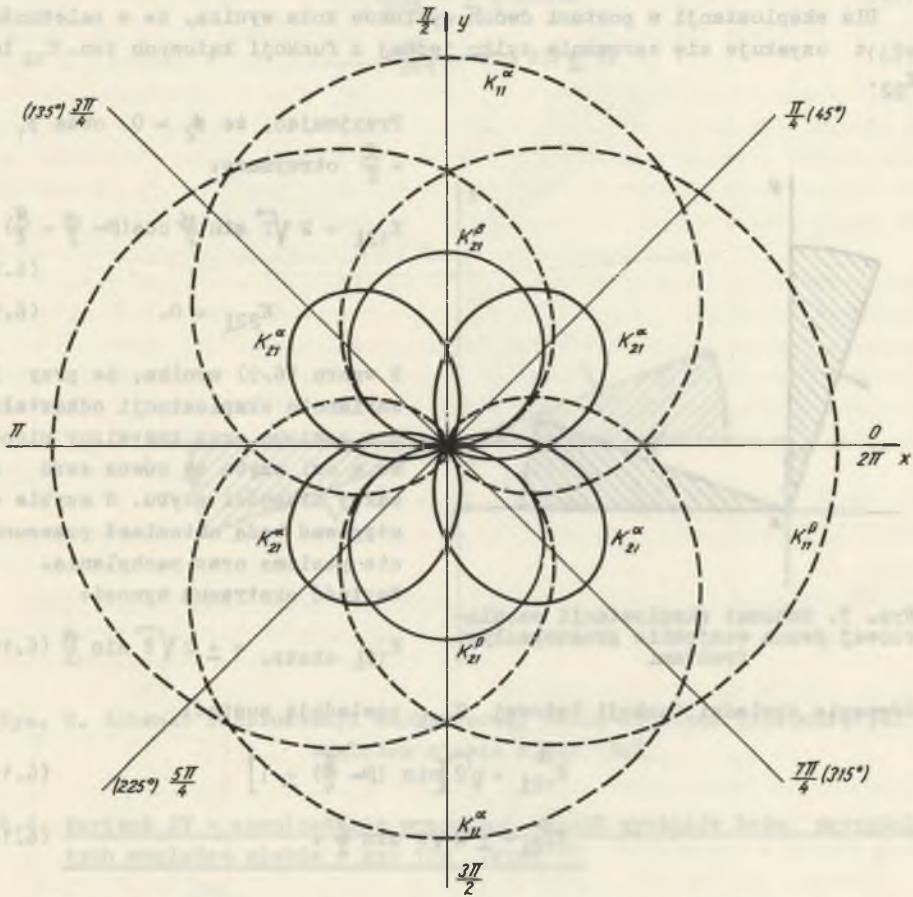
Ekstremalne wartości dla poszczególnych funkcji wynoszą:

$$K_{11} \text{ ekstr} = \pm 2 \sin \frac{\alpha}{2}; \quad K_{21} \text{ ekstr} = \pm \sin \alpha \quad (6.3)$$

Równania obwiedni ze względu na parametr β na podstawie wzoru (5.27) posiadają postać (rys. 6)

$$K_{11}^{\beta} = \pm 2 \sin \frac{\alpha}{2} \quad (6.4)$$

$$K_{21}^{\beta} = \pm \sin \alpha. \quad (6.5)$$



Rys. 6. Wykresy obwiedni dla eksploatacji wachlarzowej w postaci jednego wycinka koła

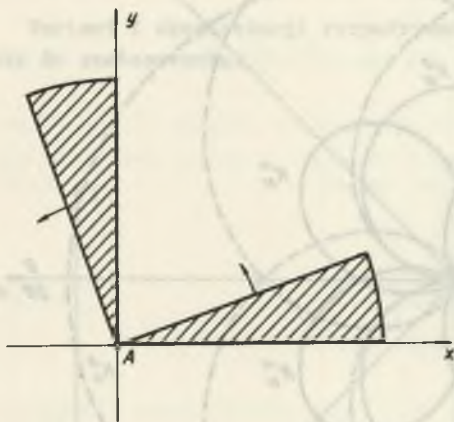
Równania obwiedni ze względu na parametr α na podstawie wzoru (5.34) posiadają postać (rys. 6)

$$K_{11}^{\alpha} = \sin \beta \pm 1 \quad (6.6)$$

$$K_{21}^{\alpha} = \frac{1}{2} [\sin 2\beta \pm 1]. \quad (6.7)$$

6.2. Wariant II - eksploatacja w postaci dwóch wycinków koła przesuniętych względem siebie o kąt 90° (rys. 7).

Dla eksploatacji w postaci dwóch wycinków koła wynika, że w zależności od t uzyskuje się zerowanie tylko jednej z funkcji kątowych tzn. K_{12} lub K_{22} .



Rys. 7. Schemat eksploatacji wachlarzowej dwoma wzajemnie prostopadkimi frontami

Przyjmując, że $\delta_2 = 0$ oraz $\delta_1 = \frac{\pi}{2}$ otrzymamy:

$$K_{12\perp} = 2\sqrt{2} \sin \frac{\alpha}{2} \cos(\beta - \frac{\alpha}{2} - \frac{\pi}{4}) \quad (6.8)$$

$$K_{22\perp} = 0. \quad (6.9)$$

Z wzoru (6.9) wynika, że przy II wariacie eksploatacji odkształcenia poziome oraz krzywizny pionowe w osi szybu są równe zero na całej długości szybu. W szybie występować będą natomiast przesunięcia poziome oraz nachylenia.

Wartość ekstremum wynosi:

$$K_{12\perp} \text{ ekstr.} = \pm 2\sqrt{2} \sin \frac{\alpha}{2} \quad (6.10)$$

Równania obwiedni funkcji kątowej $K_{12\perp}$ posiadają postać:

$$K_{12\perp}^{\alpha} = \sqrt{2} \left[\sin(\beta - \frac{\pi}{4}) \pm 1 \right] \quad (6.11)$$

$$K_{12\perp}^{\beta} = \pm 2\sqrt{2} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (6.12)$$

6.3. Wariant III - eksploatacja w postaci dwóch wycinków koła przesuniętych względem siebie o kąt 180° (rys. 8)

Przyjmując że, we wzorze (6.22) $\delta_2 = 0$ oraz $\delta_1 = \pi$ otrzymamy:

$$K_{12\parallel} = 0 \quad (6.13)$$

$$K_{22\parallel} = 2 \sin \alpha \cos(2\beta - \alpha). \quad (6.14)$$

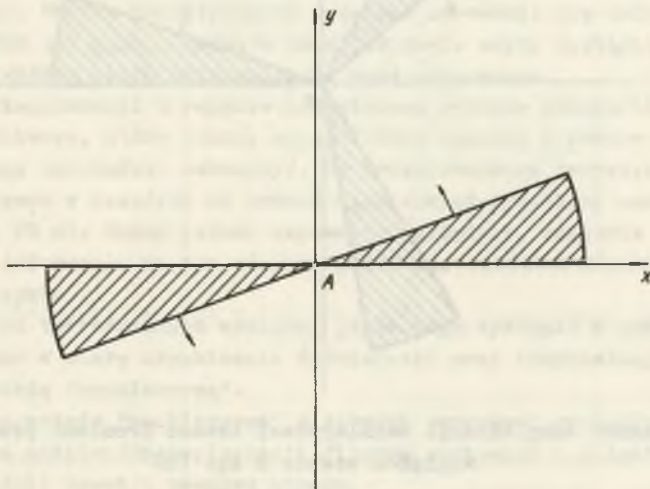
Wartość ekstremum wynosi:

$$K_{22\parallel} \text{ ekstr.} = \pm 2 \sin \alpha. \quad (6.15)$$

Równania obwiedni funkcji kątowej $K_{22\parallel}$ posiadają postać:

$$K_{22\parallel}^{\beta} = \pm 2 \sin \alpha \quad (6.16)$$

$$K_{22\parallel}^{\alpha} = \sin 2\beta \pm 1. \quad (6.17)$$



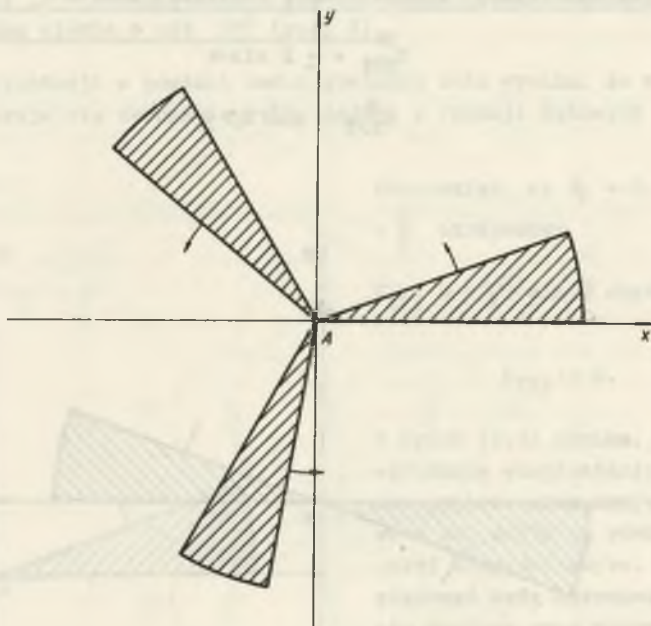
Rys. 8. Schemat eksploatacji wachlarzowej dwoma frontami przesuniętymi względem siebie o kąt 180°

6.4. Wariant IV - eksploatacja w postaci trzech wycinków koła przesuniętych względem siebie o kąt 120° (rys. 9)

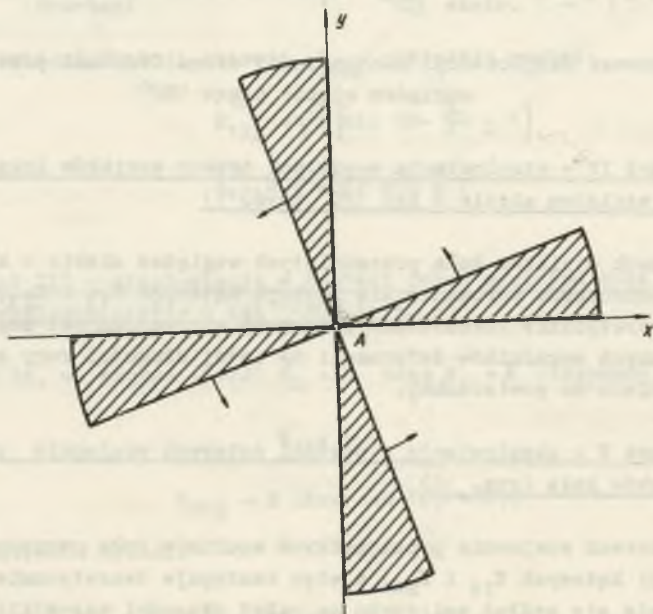
Dla trzech wycinków koła przesuniętych względem siebie o kąt 120° następuje równoczesne zerowanie się funkcji kątowych K_{13} i K_{23} , a więc następuje teoretycznie równoczesne zerowanie się wzdłuż osi szybu wszystkich rozpatrywanych wskaźników deformacji na całej długości rury szybowej od stropu pokładu do powierzchni.

6.5. Wariant V - eksploatacja w postaci czterech wzajemnie prostopadłych wycinków koła (rys. 10)

Dla czterech wzajemnie prostopadłych wycinków koła następuje zerowanie się funkcji kątowych K_{14} i K_{24} , a więc następuje teoretycznie równoczesne zerowanie się wzdłuż osi szybu na całej długości wszystkich wskaźników deformacji.



Rys. 9. Schemat eksploatacji wachlarzowej trzema frontami przesuniętymi względem siebie o kąt 120°



Rys. 10. Schemat eksploatacji wachlarzowej czterema wzajemnie prostopadymi frontami

7. Możliwość praktycznego zastosowania metody "wachlarzowej" eksploatacji filarów szybowych

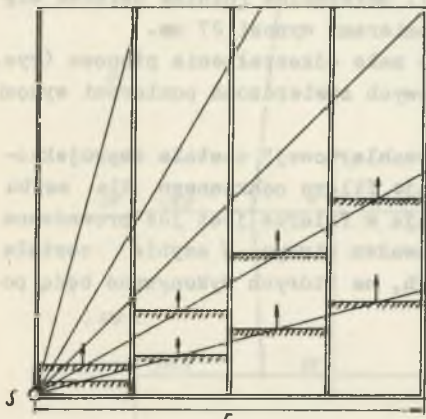
Metoda "wachlarzowa" eksploatacji filarów szybowych opracowana została teoretycznie i polega na zastosowaniu ściśle określonego kształtu frontu eksploatacyjnego o odpowiedniej długości.

Przy stosowaniu metody "wachlarzowej" w praktyce w szybie mogą wystąpić pewne deformacje. Deformacje te będą wynikiem rozrzutu statystycznego zachodzących zjawisk oraz odstępstw od teoretycznego kształtu frontu eksploatacyjnego. Według teoretycznych rozważań zerowanie się deformacji następuje wzdłuż osi szybu, zatem w samej obudowie szybu wystąpią pewne deformacje. W każdym razie deformacje te będą nieznaczne.

Podczas eksploatacji w rejonie nad stropem pokładu panuje złożony stan naprężeń górotworu, który teoria statystyczna opisuje z pewnym przybliżeniem i dlatego należałoby zaznaczyć, że przeprowadzone teoretyczne rozważania są słuszne w zasadzie od pewnej niewielkiej wysokości nad stropem pokładu (ok. 20 m). Można jednak zapobiec, względnie, znacznie ograniczyć powstawanie deformacji na tym odcinku przez zastosowanie odpowiednich zabezpieczeń szybu.

Odchyłki od teoretycznych wyników, jakie mogą wystąpić w praktyce, będą eliminowane w miarę uzyskiwania doświadczeń przy eksploatacji filarów szybowych metodą "wachlarzową".

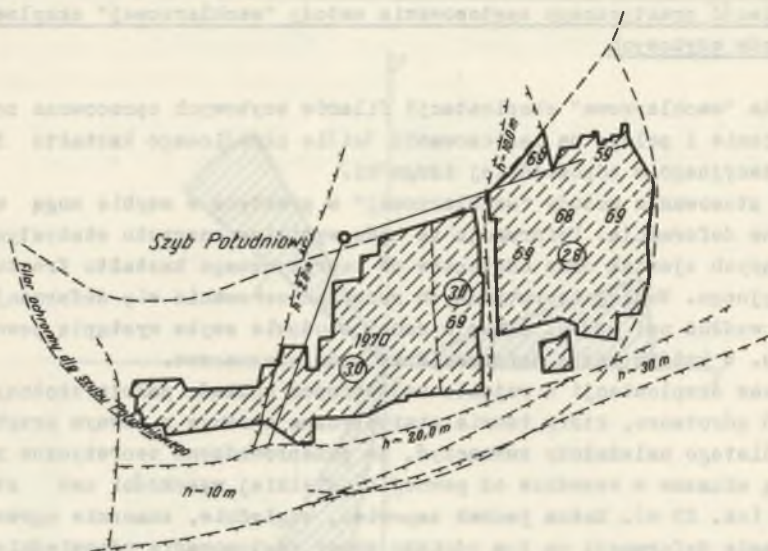
Opracowana metoda "wachlarzowa" w łatwych warunkach geologiczno-górnicych stwarza możliwość eksploatacji filarów szybowych z podszadką pneumatyczną względnie nawet z zawałem stropu.



Rys. 11. Praktyczny sposób realizacji frontu wachlarzowego

Prostoliniowy front eksploatacyjny w praktyce można zastąpić frontem ustępliwym (rys. 11).

Metoda "wachlarzowa" eksploatacji filarów szybowych po raz pierwszy została zastosowana w sposób przypadkowy, gdyż warunki górnicze i geologiczne przyczyniły się do prowadzenia przez kopalnię, takiego właśnie frontu w filarze ochronnym dla szybu Południowego na kopalni "Wawel". Chociaż kształt frontu ze względu na jego długość (rys. 12) dość znacznie odbiega od teoretycznych założeń, mimo to dotychczasowe wyniki uzyskane przy tej eksploatacji potwierdzają słuszność teoretycznych rozważań.

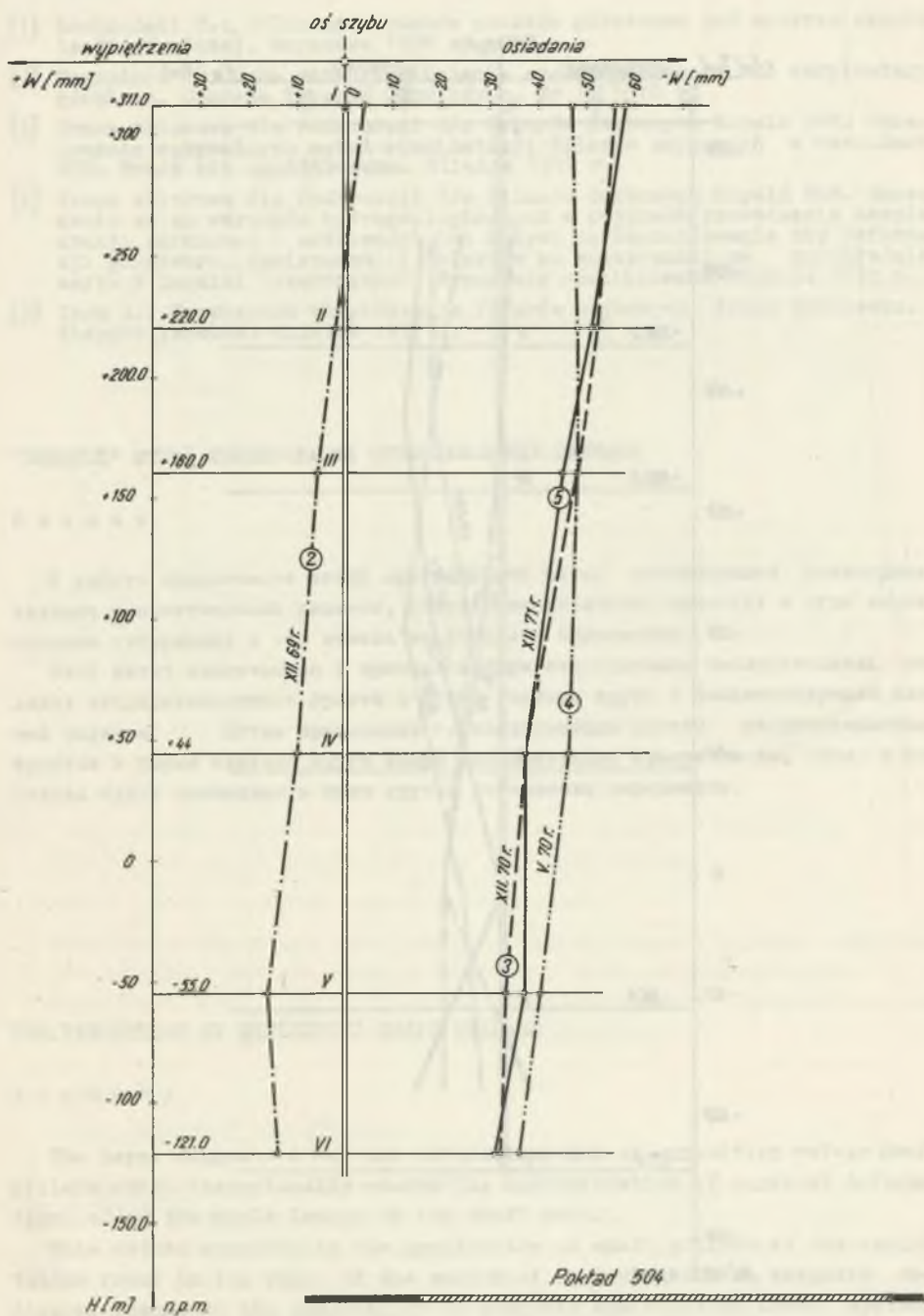


Rys. 12. Stan eksploatacji w pokładzie 504 w filarze ochronnym dla szybu Południowego

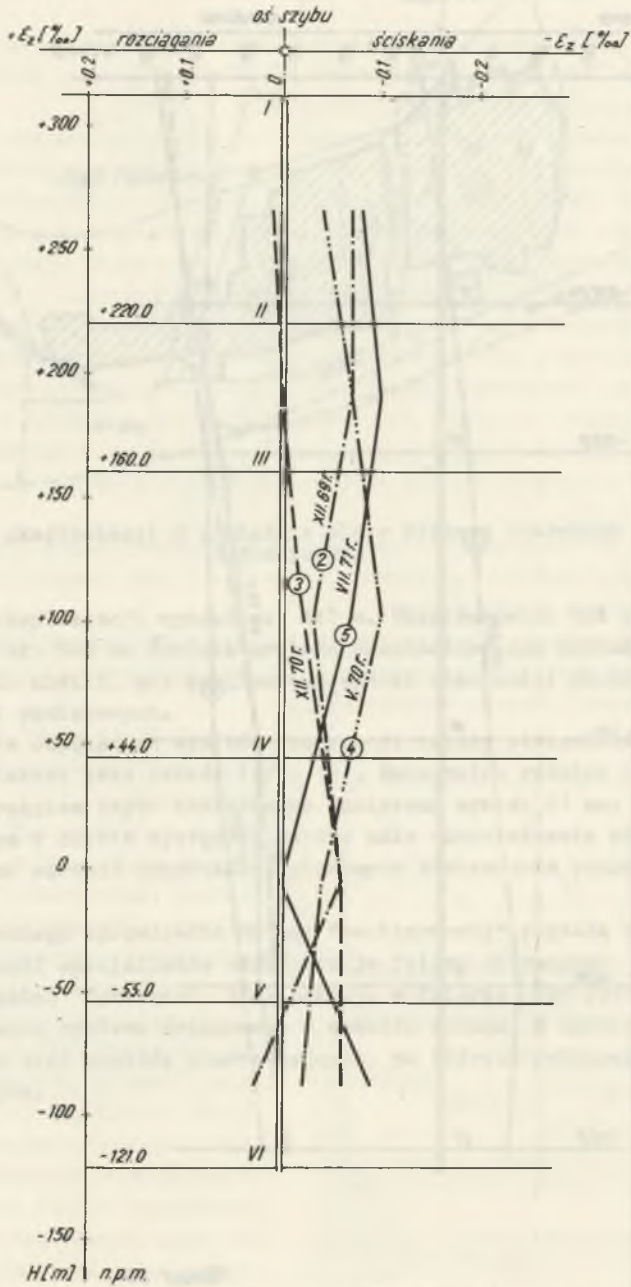
Głębokość eksploatacji wynosi ok. 447 m. Eksploatowany był pokład 504 na głębokości ok. 500 m. Średnia grubość eksploatowanego pokładu wynosiła 2,8 - 3,0 m. Do chwili, gdy analizowano wyniki obserwacji geodezyjnych wykonano 5 cykli pomiarowych.

Na podstawie uzyskanych wyników obserwacji należy stwierdzić, że szyb osiada równomiernie jako całość (rys. 13). Maksymalna różnica osiadań między zrębem a rzępiem szybu stwierdzone pomiarami wynosi 27 mm. W związku z tym w szybie występują bardzo małe odkształcenia pionowe (rys. 14). Maksymalna wartość odkształceń pionowych stwierdzona pomiarami wynosi -0,10%.

Dla praktycznego sprawdzenia metody "wachlarzowej" została zaprojektowana przez zespół specjalistów eksploatacji filaru ochronnego dla szybu Piekary na Kopalni "Dymitrow". Eksploatacja w filarze jest już prowadzona przy zastosowaniu systemu ścianowego z zawałem stropu. W szybie została zaprojektowana sieć punktów obserwacyjnych, na których wykonywane będą pomiary geodezyjne.



Rys. 13. Wykres osiadań punktów obserwacyjnych w szybie Południowym



Rys. 14. Wykres odkształceń pionowych w szybie Południowym

8. Literatura

- [1] Kochmański T.: Obliczanie ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej. Warszawa 1956 r., PAN.
- [2] Magdziorz J.: Nowe metody obliczania ruchów górotworu nad eksploatacją górniczą. Ochrona Terenów Górniczych. Nr 11 1970 r.
- [3] Praca zbiorowa dla Podkomisji d/s Filarów Szybowych Kopalń ROW. Opracowanie optymalnych metod eksploatacji filarów szybowych w warunkach ROW. Praca nie opublikowana. Gliwice 1972 r.
- [4] Praca zbiorowa dla Podkomisji d/s Filarów Szybowych Kopalń ROW. Rozeznanie zmian warunków hydrogeologicznych w rejonach prowadzenia eksploatacji górniczej i możliwości ich wpływu na kształtowanie się deformacji górotworu, powierzchni i obiektów na powierzchni na przykładzie szybu V kopalni "Jastrzębie". Praca nie opublikowana. Gliwice 1972 r.
- [5] Zych J.: Bezpieczna eksploatacja filarów szybowych. Praca doktorska. Nieopublikowana. Gliwice 1972 r.

"ВЕРНЫЙ" МЕТОД ЭКСПЛОАТАЦИИ ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ

Р е з ю м е

В работе представлен новый оригинальный метод эксплуатации предохранительных околоствольных целиков, который теоретически приводит к нулю вертикальные деформации в оси ствола на всем его протяжении.

Этот метод заключается в применении при эксплуатации околоствольных целиков эксплуатационного фронта в форме сектора круга с соответствующей длиной радиуса. Путем применения соответствующих систем эксплуатационных фронтов в форме сектора круга можно дополнительно получить то, что в оси ствола будут приведены к нулю другие показатели деформации.

THE FAN METHOD OF EXPLOITING SHAFT PILLARS

S u m m a r y

The paper suggests a new and original method of exploiting safety shaft pillars which theoretically causes the neutralization of vertical deformations along the whole length of the shaft axis.

This method consists in the application of shaft pillars at the exploitation front in the shape of the sector of a circle with an adequate radius r . Thanks to the application of adequate exploitation front systems in the shape of circle sectors it is possible to achieve additional neutralization of other deformation coefficients along the axis of the shaft.