ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1967
Seria: GÓRNICTWO z. 21 Nr kol. 185

KAZIMIERZ PODGÓRSKI
Katedra Budownictwa Podziemnego Kopalń

RUCHY GÓROTWORU W CZASIE EKSPLOATACJI POKŁADÓW NACHYLONYCH

Streszczenie. W pracy podano sposób określania deformacji górotworu przy pomocy wzorów i nomogramów. Wykorzystując wyprowadzone wzory i określone nomogramy przykładowo podano sposób określania parametrów potrzebnych do wzorów.

1. Wstęp

Podczas eksploatacji pokładów nachylonych powstaje niesymetryczna niecka osiadania. Kształt niesymetryczny takiej niecki osiadania zależy od nachylenia wybieranego pokładu oraz od warunków geologicznych skał zalegających nad pokładem. W miarę wzrostu kąta upadu maleje równocześnie wpływ oddziaływania ciśnienia skał między płaszczyznami uławicenia, a spękane warstwy dążą do przesunięcia się względem siebie. Tendencja taka do przesuwania się bloków warstw ograniczonych płaszczyznami spękań w kierunku wybranej przestrzeni rośnie w miarę zmniejszania się naprężeń poziomych i współczynnika tarcia między płaszczyznami warstw. Przy eksploatacji pokładów, zalegających na niedużej głębokości, powstają na powierzchni terenu lokalne obniżenia tzw. zapadliska. Natomiast przy wybieraniu pokładów na większych głębokościach, w strefie gdzie panują już większe ciśnienia skał - ciśnienia eksploatacyjne, powstają duże naprężenia normalne do płaszczyzn uławicenia, które powodują że siła tarcia na stykach pokładów jest tak duża, że warstwy górotworu przemieszczają się wspólnie.

Siły wynikające z ciężaru własnego mas skalnych są hamowane przez siły wynikające z momentów zginających te warstwy w kierunku wybranej przestrzeni. Siły wynikające z ciężaru własnego

warstw skalnych, które powodują ruch skał w kierunku upadu są pomniejszone o siły wynikające z momentów zginania warstw skalnych, skutkiem czego przy prowadzeniu eksploatacji od dołu ku górze warstwy te uginają się na większej przestrzeni, a przy wybieraniu od góry w dół strop ulega łatwemu obsuwowi w kierunku wybranej przestrzeni. Zmienność procesu odkształcania się warstw skalnych przy górnej i dolnej granicy eksploatacji powoduje że nie można bezpośrednio stosować wzorów dla pokładów poziomych lub słabo nachylonych ponieważ promień zasięgu wpływów głównych jest inny po wzniosie, a inny po upadzie pokładu. Zmienność promienia zasięgu wpływów głównych jest nie duża przy małym zróżnicowaniu w budowie geologicznej górotworu.

2. Określenia wielkości osiadania górotworu pod wpływem eksploatacji pokładów nachylonych

Dla uproszczenia przyjęto podobnie jak dla pokładów poziomych sposób rozważań przy założeniu, że ruchy górotworu odbywają się w sposób ciągły. Wybranie elementarnej objętości złoża $dV = a \cdot g \cdot r \cdot dr \cdot d\nu$ spowoduje obniżenie punktu A odległego o r, które obliczono następującym wzorem [2], [7]

$$d_w = d\varphi_s \cdot a \cdot g,$$

$$d\varphi_s = \frac{d\nu}{2\pi l_z^2} \cdot e^{-\pi\left(\frac{r}{l_z}\right)^2} \tag{1}$$

Obniżenie punktu A pod wpływem wybrania pola w granicach od 0 do R i ν_1, ν_2 określa równanie

$$\varphi_s = \int_{\nu_1}^{\nu_2} \frac{d\nu}{2\pi} \int_0^R \frac{e^{-\pi\left(\frac{r}{l_z}\right)^2}}{l_z^2} r\, dr \tag{2}$$

gdzie:

$g_1 = \frac{g}{\cos\alpha}$ – grubość pokładu w pionie

Grubość pokładu w pionie przy eksploatacji pokładów stromych można przyjąć z małym błędem jako równą wysokości eksploatowanego piętra, wówczas gdy pionowa grubość pokładu jest większa od wysokości piętra.

W podanym równaniu promień zasięgu wpływów głównych zależy głównie od wielkości r, α, ν, ζ. Między tymi wielkościami zachodzą następujące zależności

$$x^2 + y^2 = r^2, \quad y = r \cdot \sin\nu, \quad x = r \cdot \cos\nu, \quad \frac{\Delta h}{y} = tg\alpha$$

$$tg\alpha' = \frac{\Delta h}{h}$$

$$tg\alpha' = tg\alpha \cdot \sin\nu, \quad \Delta h = r \cdot \sin\nu \cdot tg\alpha \tag{3}$$

gdzie:

x, y - współrzędne promienia r,

ν - kąt zawarty między linią rozciągłości pokładu przechodzącą pod rozpatrywanym punktem, a położeniem wybranej elementarnej objętości złoża,

α - kąt upadu pokładu,

h - różnica między głębokością zalegania pod rozpatrywanym punktem, a głębokością wybranej elementarnej objętości złoża,

α' - kąt nachylenia od poziomu prostej przechodzącej przez rzut punktu A na pokład, a wybraną elementarną objętością złoża,

Zmiana głębokości zalegania pokładu powoduje zmianę promienia zasięgu wpływów głównych. Zmianę tę można określić następującym wzorem

$$l_z = l_o + \left(\frac{z_p \mp \zeta \cdot r \sin\nu\, tg\alpha}{s}\right)^n \tag{4}$$

lub jeżeli uwzględni się zależności podane we wzorze 4 to wzór na promień zasięgu wpływów głównych posiada postać:

$$l_z = l_o + l_{zp} \mp \zeta \cdot r, \quad \sin\nu\, tg\alpha \cdot \frac{k}{r_s} \tag{5}$$

gdzie:

ζ - funkcja przemieszczania się warstw w zależności od kąta upadu pokładu (ζ_1 - po wzniosie, ζ_2 - po upadzie),

z_p - odległość rozpatrywanego punktu od stropu pokładu,

l_{zp} - promień zasięgu wpływów głównych względem rozpatrywanego punktu,

f_s - średni wskaźnik zwięzłości skał znajdujących się na odcinku Δh,

l_o - promień zasięgu wpływów w miejscu wybranego pola pokładu przyjęto równy zero.

Wielkość promienia zasięgu wpływów głównych po wzniosie pokładu wyrażono wzorem

$$l_z = l_o + l_{zp} - \frac{\zeta_1 . r . k . \sin\nu . tg\alpha}{f_s} = A + \frac{z . k}{f_z} - \frac{r . \zeta_1 . k}{f_s} . \sin\nu tg\alpha \qquad (6)$$

natomiast po upadzie określono wzorem

$$l_z = l_o + l_{zp} + \frac{\zeta_2 . r . k . \sin\nu . tg\alpha}{f_s} = A + \frac{z . k}{f_z} + \frac{\zeta_2 . r . k}{f_s} . \sin\nu . tg\alpha \qquad (7)$$

Po wstawieniu wzoru (2) do wzoru (7) otrzymywano funkcję obniżenia punktu A w następującej postaci

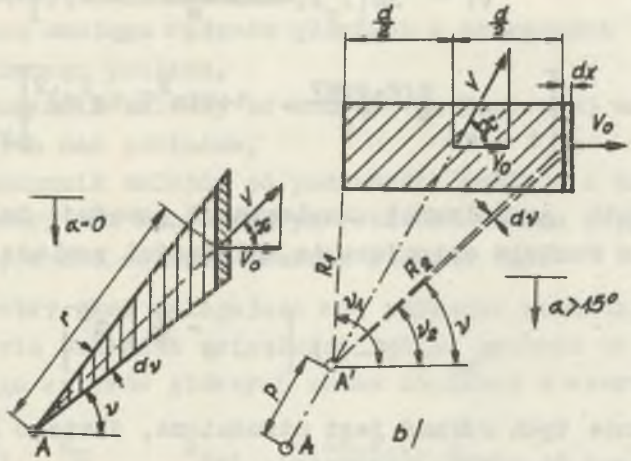
$$\varphi_p = \int_{P_1}^{P_2} \int_{o}^{R} \frac{e^{-\pi \left[\frac{r}{l_o + \left(\frac{z_p \mp \zeta . r . \sin\nu . tg\alpha}{s} \right)^n} \right]^2}}{2\pi \left[l_o + \left(\frac{z_p \mp \zeta . r . \sin\nu . tg\alpha}{s} \right)^n \right]^2} r . dr . d\nu \qquad (8)$$

Jeżeli promień zasięgu wpływów głównych jest wyrażony wzorem (6), (7) to funkcja obniżenia punktu A posiada następującą postać

$$\varphi_p = \int_{\nu_1}^{\nu_2} \int_{o}^{R} \frac{e^{-\pi \left[\frac{r}{A + \frac{z . k}{f_z} \mp \frac{\zeta . r . \sin\nu . tg\alpha}{f_s}} \right]^2}}{2\pi \left(A + \frac{z . k}{f_z} \mp \frac{\zeta . r . \sin\nu . tg\alpha}{f_s} \right)^2} r \, dr \, d\nu \qquad (9)$$

Powyższe równania nie ujmują wpływu prędkości wybierania na wielkość obniżenia. Wpływ prędkości eksploatacji można określić po rozwiązaniu równania (6)

$$d\varphi_t = d\varphi_s \left[1 - e^{-\frac{o}{b_1} \cdot T_v^b}\right] \tag{10}$$



Rys. 1. Zmiany położenia eksploatacji w stosunku do punktu A
a) dla pokładu poziomego, b) dla pokładu pochylonego

Jeżeli przyjmie się, że eksploatacja prowadzona była od punktu A (rys. 1a, 1b), to wówczas czas prowadzenia eksploatacji można obliczyć z następującej zależności

$$T_r = \frac{r \cdot \cos\nu}{v_o \cdot \cos\alpha}, \tag{11}$$

Po wstawieniu powyższej zależności do równania (10) otrzymano

$$d\varphi_t = d\varphi \left[1 - e^{-\frac{o}{b}\left(\frac{r \cdot \cos\nu}{v_o} \cdot \sqrt{1+\sin^2\nu \cdot t_g^2\alpha}\right)^b}\right] \tag{12}$$

Po wstawieniu równania (8) do (12) otrzymano wzór do obliczenia osiadania w czasie wybierania pokładu

$$\varphi_t = \int_{\nu_1}^{\nu_2}\int_{0}^{R} \frac{e^{-\pi\left[\frac{r}{l_o+\left(\frac{z_p \mp \zeta . r . \sin\nu \, tg\alpha}{s}\right)n}\right]^2}}{2\pi\left[l_o+\left(\frac{z_p \mp r\sin\nu \, tg\alpha . \zeta}{s}\right)n\right]^2} \cdot$$

$$\cdot \left[1 - e^{-\frac{c}{b}\left(\frac{r.\cos\nu}{v_o} \cdot \sqrt{1+\sin^2\nu . tg^2\alpha}\right)^2}\right] d\nu . r \, dr \qquad (13)$$

Zatrzymanie prowadzonej eksploatacji powoduje dalsze obniżenie terenu, a funkcja opisująca te zależności posiada postać [6]

$$\varphi_{ts} = (\varphi - \varphi_t)\left[1 - e^{-\frac{c}{b} \cdot t^b}\right] \qquad (14)$$

Rozwiązanie tych równań jest utrudnione, dlatego korzystniej rozwiązywać je metodą numeryczną.

Zamiast rozwiązywania równań (8), (9), (12), (13) metodą numeryczną można z pewnym przybliżeniem stosować podane wzory na obniżenie górotworu dla pokładów poziomych. Przy stosowaniu wzorów dla pokładów nachylonych dzielono obszar wybranego pokładu na pasy równoległe wzdłuż rozciągłości eksploatowanego pokładu, dla których wyznaczono promienie zasięgu wpływów głównych ze wzorów (15), (16). Promień zasięgu wpływów głównych dla środka ciężkości wybranego pasa wyznaczono tak po wzniosie jak i po upadzie pokładu. Wyznaczony promień zasięgu wpływów głównych po wzniosie jest mniejszy, z uwagi na płytsze zaleganie górnej granicy rozpatrywanego pasa, łatwiejsze obsuwanie się skał wybranej przestrzeni oraz mniejszy udział skał karbońskich w stosunku do strefy przebiegu promienia zasięgu wpływów głównych przez skały karbońskie wzdłuż upadu.

Wielkość promienia zasięgu wpływów dla pokładów małonachylonych obliczono ze wzoru

$$l_z = \left(\frac{z}{s}\right)^n + l_o \qquad (15)$$

gdzie:

l_o - promień zasięgu wpływów głównych nad eksploatowanym pokładem,

l_z - promień zasięgu wpływów głównych w odległości z od wybieranego pokładu,

n - współczynnik zależny od budowy geologicznej warstw leżących nad pokładem,

s - współczynnik zależny od podatności pokładu i podsadzki, który nad wybieraną przestrzenią można przyjąć s = 1, a nad calizną pokładu s = 1 : 1,6.

Jeżeli warstwy skał zalegające nad pokładem posiadają znacznie różniący się wskaźnik zwięzłości i dużą grubość to wówczas promień zasięgu wpływów głównych można obliczać z wzoru

$$l_z = l_o + \left(\frac{h_1}{f_1} + \frac{h_2}{f_2} + \ldots \frac{h_{z-1}}{f_{z-1}} - \frac{h_1 + h_2 + \ldots h_{z-1}}{f_z} + \frac{z}{f_z}\right).k \qquad (16)$$

gdzie:

k - współczynnik zależny od rodzaju skał i nachylenia płaszczyzn łupliwości oraz od stopnia zruszenia górotworu prowadzoną eksploatacją,

h_1, $h_2 \ldots h_{z-1}$ - grubość warstw zalegających nad pokładem do rozpatrywanej odległości z,

f_1, $f_2, \ldots f_z$ - współczynnik zwięzłości skał według klasyfikacji Protodiakonowa.

Wraz ze zmianą głębokości zmienia się nie tylko promień zasięgu wpływów głównych, ale również współczynnik czasu.

Na podstawie wstępnych obliczeń współczynnika czasu z wyników osiadania w czasie [3] ustalone równanie na określenie współczynnika czasu otrzymując postać

$$c_z = \left[\frac{d}{z + \frac{d}{c_o^m}} \right]^{\frac{1}{m}} \tag{17}$$

gdzie:

c_z - współczynnik wpływu czasu na osiadanie rozpatrywanego punktu znajdującego się w pionowej odległości z od stropu wybieranego pokładu,

d, m- parametry funkcji wpływu czasu,

c_o - współczynnik wpływu czasu bezpośrednio nad pokładem.

Jeżeli pokład wybierany jest z zastosowaniem podsadzki hydraulicznej, to współczynnik c_o obliczano dla skał stropu leżącego bezpośrednio nad pokładem, natomiast gdy eksploatacja prowadzona jest na zawał, to współczynnik c_o obliczano dla skał stropu znajdujących się nad strefą nieuporządkowanego zawału. Podany wzorem (17) współczynnik wpływu zezwala na określenie kształtowania się obniżeń górotworu w czasie prowadzenia eksploatacji. W pierwszym etapie rozpatrzono sposób określania obniżeń górotworu dla niecki ostatecznej, przy wykorzystaniu zmodyfikowanych wzorów dla pokładów poziomo zalegających.

W celu umożliwienia korzystania z nomogramów wykreślonych dla obniżeń górotworu nad pokładami poziomymi, można ustalić funkcję przemieszczania wpływów eksploatacji w zależności od kąta upadu pokładu przesunięcia wpływów w stosunku do wpływów eksploatacji wynikających z wydzielonych pasów wybranego pola pokładu określonych nomogramami pokładów poziomo zalegających. Z wstępnej analizy wynika, że funkcję tę można opisać

$$x_1 = x - \alpha' \cdot \xi' \cdot H^{\alpha}, \quad \text{lub} \quad x_1 = x - H_1 \cdot tg(\xi \cdot \alpha') \tag{18}$$

$$x_1 = x - p;$$

$$p = \alpha' \cdot \xi' \cdot z_o^{\alpha}, \quad \text{lub} \quad p = z_o \cdot tg(\xi \alpha')$$

gdzie:

p - przesunięcie wpływów,

x_1 - współrzędne przesuniętego punktu A do A',

x - współrzędna punktu A,

α'=arc (sin.νtgα),

α' - kąt nachylenia do poziomu prostej łączącej środek ciężkości wybranego segmentu z rzutem rozpatrywanego punktu na płaszczyznę pokładu,

ν - kąt zawarty między rzutem prostej przechodzącej przez dany punkt i środek ciężkości rozpatrywanego segmentu pokładu, a linią rozciągłości pokładu,

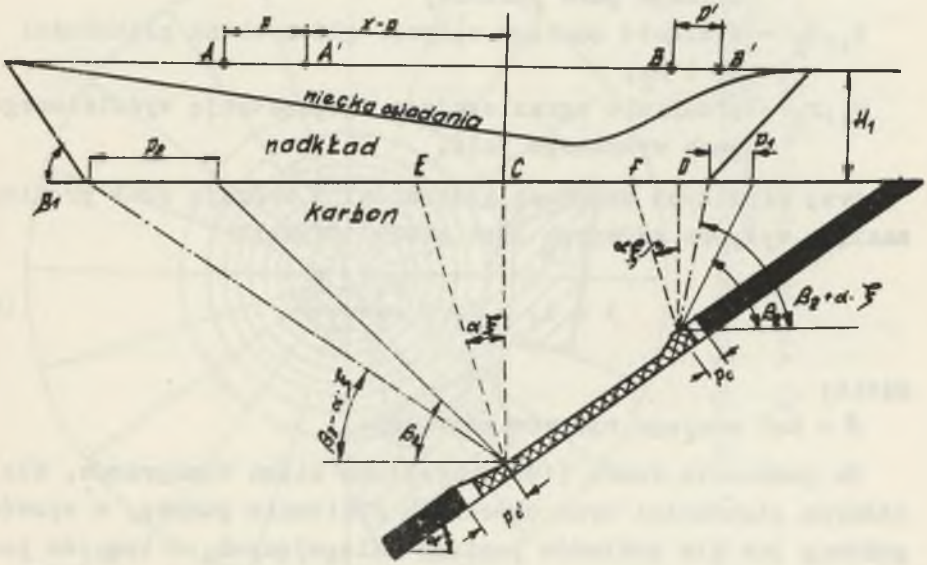
α - kąt upadu pokładu,

H_1 - odległość w pionie wybranego segmentu złoża (w odniesieniu do jego środka ciężkości) do wychodni karbonu,

ξ';ξ - współczynnik przesunięcia wpływów który wynosi od 0,2 do 1,

μ - wykładnik potęgowy funkcji przesunięć wpływów

z_c - odległość w pionie rozpatrywanego punktu od eksploatacji w skałach karbońskich.



Rys. 2. Przenoszenie się wpływów eksploatacji na powierzchnię terenu w czasie wybierania pokładu pochyłego

Przy określaniu obniżenia np. punktu A należy przesunąć pole wybranego pokładu (z uwzględnieniem przesunięcia wpływów granic eksploatacji p_c, p_c') wychodząc z założenia CD w położenie EF rys. 2.

Po podzieleniu wybranego pola pokładu na pasy równoległe do rozciągłości obliczamy obniżenie punktu przy zastosowaniu nomogramów wykreślonych promieniami $l = \frac{H_1}{tg\beta_1} + \frac{H_1}{tg\beta_2}$. Zamiast przesuwać wybrane pole w kierunku punktu A można przesunąć punkt A do A' o wielkość p i względem niego określać obniżenie punktu A. [5].

Wielkość obniżenia punktu A pod wpływem wybrania złoża obliczono wzorem

$$w = \frac{a \cdot g_1 \cdot (\nu_2 - \nu_1)}{360} \left[e^{-\pi\left(\frac{r_1 - H_1 \cdot tg\,\alpha' \xi}{l_{z1}}\right)^2} - e^{-\pi\left(\frac{r_2 - H_2 tg\,\xi\alpha'}{l_{z2}}\right)^2} \right] \tag{19}$$

gdzie:

ν_1, ν_2 – kąty ograniczające eksploatację rozpatrywanego wybranego pasa pokładu,

l_1, l_2 – wielkość zasięgu wpływów głównych na głębokości H_1 i H_2,

r_1, r_2 – promienie ograniczające eksploatację wydzielonego pasa wybranego pola.

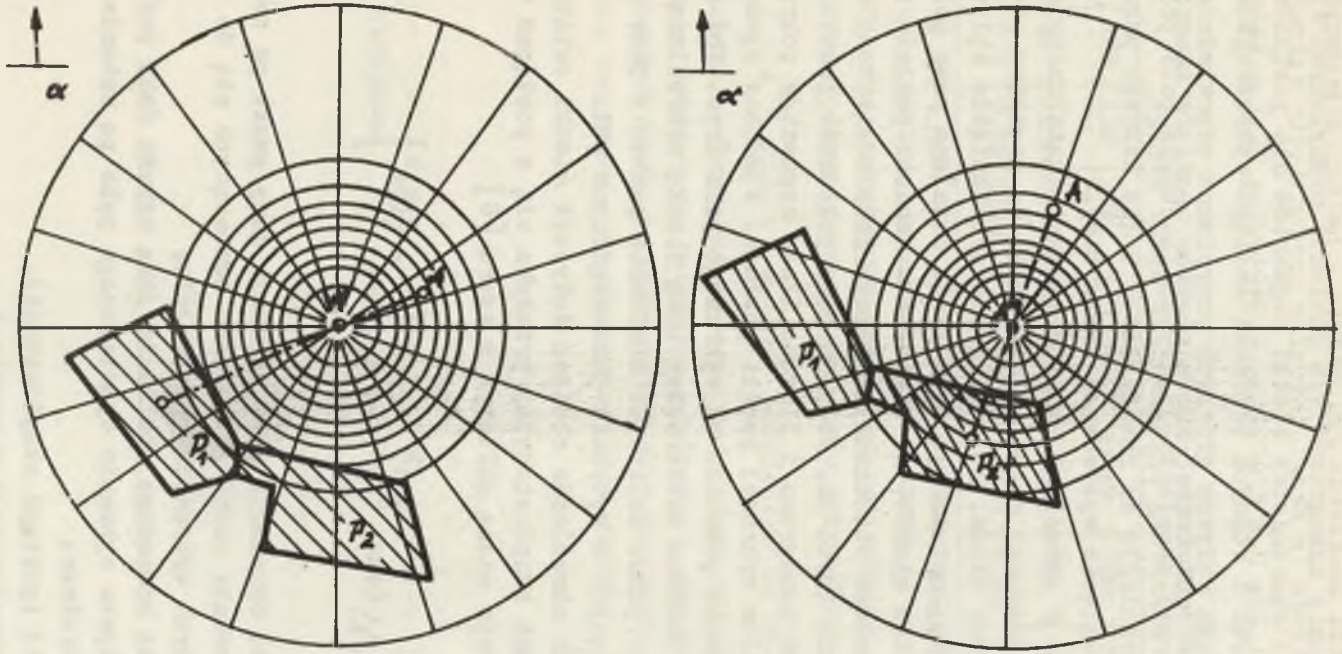
Przy niedużych zmianach głębokości i rodzaju skał promień zasięgu wpływów głównych jest stały i wynosi

$$l = l_1 = l_2 = \frac{H_1 + H_2}{2\,tg\beta} \tag{20}$$

gdzie:

β – kąt zasięgu wpływów głównych.

Na podstawie wzoru (19) wykreślono kilka nomogramów, dla różnych głębokości oraz określono obniżenie punktu, w sposób podobny jak dla pokładów poziomo zalegających, z tym, że podział na strefy nie będzie odbywał się po promieniu stałym, lecz po promieniu zmiennym zależnym od głębokości eksploatacji.



Rys. 3. Sposób posługiwania się nomogramem przy wyznaczeniu obniżenia punktu A pod wpływem wybierania pokładu pochyłego

a) wpływu wybrania pola P_1, b) wpływu wybrania pola P_2

Zamiast wykreślania nomogramów dla pokładów nachylonych wygodniej wykorzystać sporządzone siatki segmentów dla pokładów poziomo zalegających i różnych promieni zasięgu wpływów głównych. Promieniem zasięgu wpływów głównych przypisano odpowiednie głębokości prowadzonej eksploatacji. Wyeksploatowane pole podzielono na pasy równoległe do rozciągłości i dla każdego pasa obliczono przesunięcia wpływów ze wzoru (18).

Wielkość kąta α' określono przez zmierzenie kąta nachylenia układu prostej łączącej rozpatrywany punkt ze środkiem ciężkości wybranego pasa złoża. Po obliczeniu przesunięcia wpływów dla każdego wyeksploatowanego pasa złoża ustalono nowe położenie punktu A w ten sposób, że w kierunku wzniosu pokładu i prostej łączącej środek ciężkości wybranego pola odmierzono wielkość przesunięcia (rys. 3a, 3b). Na nowe położenie punktu A' nakładano środek nomogramu i liczono ilość segmentów pokrywających się z polem wybranej partii pokładu. W podobny sposób określono obniżenie powstałe od wybranego pola (rys. 3b) z tym jednak, że przyjmowano każdorazowo nową siatkę wykreśloną dla danej głębokości pola. Całkowite obniżenie punktu A jest sumą obniżeń wynikających z wybrania poszczególnych pól.

Podany sposób określania obniżeń dotyczył niecki ostatecznej. Jeżeli front eksploatacyjny przesuwa się z postępem v to wielkość obniżenia można obliczyć z wzoru [6]

$$w_t = \sum w_{ki}\left(1-e^{-\frac{c}{b}t_i^b}\right) = \sum w_{ki}\left[1-e^{-\frac{c}{b}\left(\frac{x}{v}\right)^b}\right] \qquad (21)$$

gdzie:

w_t - wielkość osiadania jaką uzyskuje dany punkt po czasie t,

t_i - czas trwania ruchów górotworu odnoszących się do wydzielonych wybranych pól pokładu,

w_{ki} - wielkość końcowego obniżenia jaką uzyska dany punkt pod wpływem wybrania wydzielonego pola po ustaniu ruchów górotworu

v - prędkość (postępu eksploatacji),

x_i - droga eksploatacji w czasie t_i.

Tablica 1

Wielkości stref dla funkcji $\eta = \frac{c}{b} \cdot t^b = \frac{c}{b} \cdot (\frac{x}{v})^b$

Sumaryczna wielkość udziału stref jednakowych wpływów funkcji wpływu czasu na obniżenie górotworu										
0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
ϱ_0	ϱ_1	ϱ_2	ϱ_3	ϱ_4	ϱ_5	ϱ_6	ϱ_7	ϱ_8	ϱ_9	ϱ_{10}
0,0	0,1	0,22	0,35	0,51	0,69	0,91	1,20	1,60	2,30	6,0

W celu ułatwienia korzystania z wzoru (21) opracowano nomogram φ_t. Dla wyznaczenia wielkości potrzebnych do sporządzenia nomogramu wpływu czasu na osiadanie wykreślono przebieg funkcji $\varphi_t = 1 - e^{-\eta}$ dla $\eta = \frac{c}{b} (\frac{x}{v})^b$ podzielono na 10 równych części i odczytano odpowiadające temu podziałowi wielkości η, które podano w tablicy 1. Potrzebną wielkość η określono na podstawie obniżeń dwuch punktów określonych nomogramem φ wielkości obniżeń końcowych, po przekształceniu wzorów

$$w_{t1} = w_{k1}(1-e^{-\eta_1})$$
$$w_{t2} = w_{k2}(1-e^{-\eta_2}) \tag{22}$$

skąd otrzymano

$$-\eta_1 = \frac{\lg(1-\frac{w_{t1}}{w_{t2}})}{\lg e}$$
$$-\eta_2 = \frac{\lg(1-\frac{w_{t2}}{w_{k2}})}{\lg e} \tag{23}$$

Wielkości η_1, η_2 służą do wyznaczenia współczynników c, b z równań

$$\eta_1 = \frac{c}{b} t_1^b = \frac{c}{b} \left(\frac{x_1}{v_1}\right)^b \tag{24}$$

$$\eta_2 = \frac{c}{b} t_2^b = \frac{c}{b} \left(\frac{x_2}{v_2}\right)^b$$

gdzie:

x_1, x_2 - odcinki wybranego pokładu z postępem v_1, v_2 względem rozpatrywanych punktów w czasie t_1, t_2.

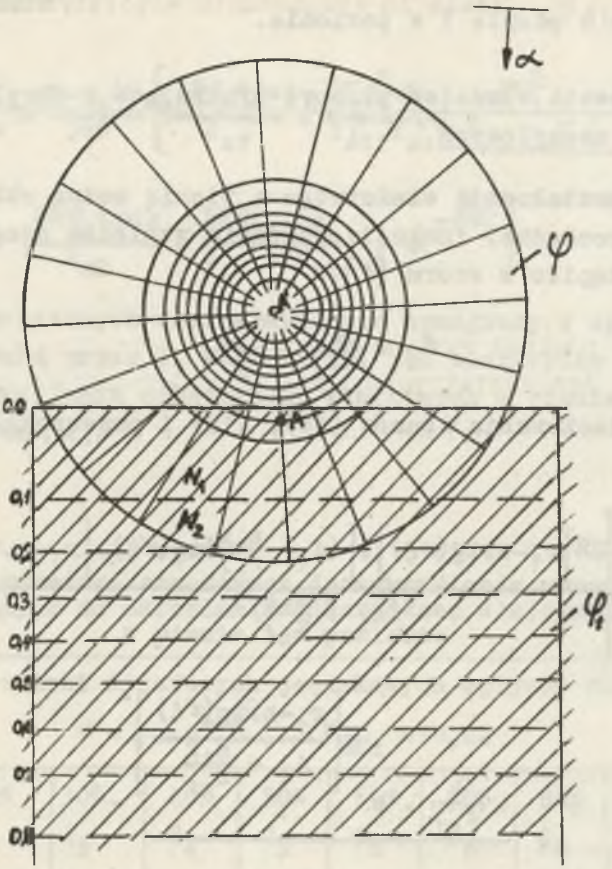
Współczynniki c, b wyznaczono z równania (24) rozwiązując je metodą graficzną w sposób podobny do podanego w przykładzie.

Obliczone współczynniki c, b służą do określenia wielkości stref jednakowych wpływów czasu. Strefy jednakowych wpływów czasu wyznaczono w ten sposób, że brano podane wielkości η_1, η_2 ... η_{10} i wstawiano je do wzoru

$$x_t = v \sqrt[b]{\frac{\eta \cdot b}{c}} \tag{25}$$

Wielkościami stref obliczonymi ze wzoru (25) wykreślono nomogram φ_t tak by linie ograniczające strefy były równoległe do linii frontów eksploatacyjnych. Początek nomogramu φ_t nałożono na linie frontu eksploatacyjnego i skierowanego w kierunku wybranego pola pokładu (rys. 4). Na nomogram φ_t nałożono nomogram φ tak by punkt centralny nomogramu pokrywał się z przesuniętym punktem A' o wielkości $p = H_1 \, tg(\alpha' \cdot \xi)$ w kierunku wzniosu pokładu. Nomogram φ wykreślono promieniami strefowymi przez pomnożenie podanych wielkości przez promień zasięgu wpływów głównych w skali mapy pokładu

r_1 = 0,18 l	r_6 = 0,54 l
r_2 = 0,27 l	r_7 = 0,62 l
r_3 = 0,34 l	r_8 = 0,72 l
r_4 = 0,4 l	r_9 = 0,85 l
r_5 = 0,47 l	r_{10} = 1,8 l



Rys. 4. Sposób określania obniżenia w czasie eksploatacji pokładu pochyłego przy użyciu nomogramu

Segmenty nomogramu φ pokrywające się w poszczególnych strefach nomogramu φ_t z wydzielonymi polami wybieranego pokładu służą do określania obniżenia rozpatrywanego punktu ze wzoru

$$w_t = \frac{a \cdot g_1}{200}(\sum N_1 \cdot 0{,}1 + \sum N_2 \cdot 0{,}2 + \ldots + \sum N_{10} \cdot 1{,}0) \qquad (26)$$

gdzie:

$N_1, N_2 \ldots N_{10}$ – ilość segmentów nomogramów φ pokrywających się w pasach stref nomogramu φ_t z wydzielonymi polami wybranego pola pokładu.

W czasie obniżania się warstw górotworu występują odkształcenia właściwe w pionie i w poziomie.

3. Odkształcenia właściwe pionowe wynikające z eksploatacji pokładów nachylonych

Wielkość odkształcenia właściwego w pionie można obliczyć po obliczeniu pochodnej funkcji obniżenia względem drogi, na której ono wystąpiło z wzoru [1]

$$\varepsilon_z = \frac{dw}{dl_z} \cdot \frac{dl_z}{d_z}$$

Po zróżniczkowaniu wzorów (16), (19) i przekształceniu otrzymano

$$\varepsilon_z = \frac{a \cdot g_1 \cdot \Delta v}{360} \left\{ \frac{2\pi\left[r_1 - z \cdot tg(\alpha'\xi)\right] \cdot \left[(A_1 + \frac{z \cdot k}{r_{z1}})tg(\alpha'\xi) + \left[r_1 - z \cdot tg(\alpha'\xi)\right]\right.}{(A_1 + \frac{z \cdot k}{r_{z1}})^3} \cdot \frac{\frac{k}{r_{z1}} \cdot e^{-\pi\left[\frac{r_1 - z \cdot tg(\alpha'\xi)}{A_1 + \frac{z \cdot k}{r_{z1}}}\right]^2}}{} - \right.$$

$$\left. - \frac{2\pi\left[r_2 - z \cdot tg(\alpha'\xi)\right] \cdot \left[(A_2 + \frac{z \cdot k}{r_{z2}})tg(\alpha'\xi) + \left[r_2 - z \cdot tg(\alpha'\xi)\right]\right] \frac{k}{r_{z2}} \cdot}{(A_2 + \frac{z \cdot k}{r_{z2}})^3} \cdot \frac{e^{-\pi\left[\frac{r_2 - z \cdot tg(\alpha'\xi)}{A_2 + \frac{z \cdot k}{r_{z2}}}\right]^2}}{} \right\} \tag{27}$$

Po wprowadzeniu do wzoru (27) oznaczenia

$$\varrho = \frac{r - z\, tg\alpha'\xi}{A + z \frac{k}{r_z}}, \quad l_z = A + \frac{z \cdot k}{r_z}$$

wzór na odkształcenia właściwe w pionie będzie przedstawiał się następująco

$$\varepsilon_z = \frac{a \cdot g_1 \Delta v}{360} \left[\left(\frac{2\pi\varrho_1 \operatorname{tg}\alpha'_\xi}{r_{z1}} + \frac{2\pi\varrho_1^2 \cdot k}{r_{z1} \cdot r_{z1}} \right) e^{-\pi\varrho_1^2} - \right.$$

$$\left. - \left(\frac{2\pi\varrho_2 \operatorname{tg}\alpha'_\xi}{r_{z2}} + \frac{2\pi\varrho_2^2 \cdot k}{r_{z2} \cdot r_{z2}} \right) \cdot e^{-\pi\varrho_2^2} \right] \qquad (28)$$

Dla wyprowadzonych wzorów wykonano nomogramy w oparciu o metodę opracowaną przez J. Magdziorza, pod kierunkiem T. Kochmańskiego do określania odkształceń właściwych w pionie i przesunięć poziomych [4].

Tablica 2

Wielkości promieni strefowych do wykreślania nomogramów służących do określania odkształceń właściwych w pionie i w poziomie

Wielkości promieni strefowych jednakowych wpływów dla funkcji: $\psi = \varrho \cdot e^{-\pi\varrho^2}$; $\psi_{max} = 0,24$										
0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
ϱ_0	ϱ_1	ϱ_2	ϱ_3	ϱ_4	ϱ_5	ϱ_6	ϱ_7	ϱ_8	ϱ_9	ϱ_{10}
0	0,030	0,062	0,092	0,126	0,138	0,190	0,224	0,256	0,286	0,400
ϱ_{20}	ϱ_{19}	ϱ_{18}	ϱ_{17}	ϱ_{16}	ϱ_{15}	ϱ_{14}	ϱ_{13}	ϱ_{12}	ϱ_{11}	-
1,8	1,25	0,982	0,898	0,830	0,748	0,714	0,644	0,606	0,542	-
Wielkości promieni stref jednakowych wpływów dla funkcji: $\Phi = \varrho^2 e^{-\pi\varrho^2}$; $\Phi_{max} = 0,118$										
ϱ_0	ϱ_1	ϱ_2	ϱ_3	ϱ_4	ϱ_5	ϱ_6	ϱ_7	ϱ_8	ϱ_9	ϱ_{10}
0	0,110	0,165	0,202	0,238	0,273	0,310	0,348	0,395	0,450	0,56
ϱ_{20}	ϱ_{19}	ϱ_{18}	ϱ_{17}	ϱ_{16}	ϱ_{15}	ϱ_{14}	ϱ_{13}	ϱ_{12}	ϱ_{11}	-
1,8	1,240	1,093	1,000	0,968	0,922	0,868	0,817	0,752	0,69	-

Nomogramy te wykreślono po pomnożeniu średniego promienia zasięgu wpływów rozpatrywanego pola w skali mapy pokładu przez współczynniki stref podanych w tablicy 2.

Po wykreśleniu nomogramów dla wydzielonych pól eksploatacyjnych obliczono odkształcenie rozpatrywanego punktu ze wzoru

$$\varepsilon_z = \frac{a \cdot g_1 \cdot 2\pi}{200}\left[\sum \frac{tg\alpha' \cdot \xi}{l_z} \cdot (M_i - P_i) \cdot 0{,}24 + \frac{k}{l_z \cdot r_z}(M'_i - P'_i) \cdot 0{,}118\right] \quad (29)$$

gdzie:

l_{zi} – średni promień zasięgu wpływów głównych rozpatrywanego pola,

M_i – ilość segmentów nomogramu ψ nakrywających się z eksploatacją leżącą między środkiem nomogramu, a promieniem r_{10},

P_i – ilość segmentów nomogramu ψ nakrywających się z eksploatacją na zewnątrz promienia r_{10},

M'_i – ilość segmentów nomogramu Φ nakrywających się z eksploatacją leżącą wewnątrz promienia r_{10},

P'_i – ilość segmentów nomogramu Φ nakrywających się z eksploatacją na zewnątrz promienia r_{10}.

Jeżeli front eksploatacyjny przemieszcza się z postępem v to wówczas do określania odkształceń właściwych w pionie nakładano na linie postępującego frontu przesuniętego o wielkość $p = H_1\ tg(\alpha'\xi)$ początek nomogramu φ_t (określonego wzorem 25) skierowanego w kierunku wybranego pola a na rozpatrywany przesunięty punkt A' nomogramu ψ, lub Φ i odczytywano ilości segmentów w poszczególnych strefach nomogramu φ_t pokrywających się z wydzielonymi pasami pola wybranego pokładu.

Tak określone ilości segmentów służą do obliczania odkształcenia rozpatrywanego punktu z wzoru

$$\varepsilon_{zt} = \frac{a \cdot g_1 \cdot 2\pi}{200}\left[\sum \frac{tg\alpha' \cdot \xi}{l_z}(M_1 \cdot 0{,}1 + M_2 \cdot 0{,}2 + \ldots\right.$$

$$+ M_{10} \cdot 1{,}0 - P_1 \cdot 0{,}1 - P_2 \cdot 0{,}2 - \ldots - P_{10} \cdot 1{,}0) \cdot 0{,}24$$

$$+ \frac{k.0,118}{l_z.r_z}\sum(M_1.0,1+M_2.0,2+...+M_{10}.1,0-P'_1.0,1-P'_2.0,2-...-P'_{10}.1,0)\Big] \tag{30}$$

gdzie:

M_1, M_2... M_{10} - ilość segmentów nomogramu ψ pokrywających się w poszczególnych strefach nomogramu φ_t z eksploatacją leżącą między środkiem nomogramu, a promieniem r_{10},

P_1, P_2... P_{10} - ilość segmentów nomogramu ψ nakrywających w poszczególnych strefach nomogram φ_t z eksploatacją leżącą na zewnątrz promienia r_{10},

M'_1, M'_2... M_{10} - ilość segmentów nomogramu ϕ pokrywających się w poszczególnych strefach nomogramu φ_t z eksploatacją leżącą wewnątrz promienia r_{10},

P'_1, P_2... P'_{10} - ilość segmentów nomogramu ϕ w poszczególnych strefach nomogramu φ_t z eksploatacją na zewnątrz promienia r_{10}.

4. Odkształcenia właściwe poziome

W celu określenia odkształceń właściwych poziomych górotworu rozpatrzono wyznaczanie przesunięć poziomych górotworu [1] a następnie po obliczeniu pochodnej z przesunięć poziomych obliczono odkształcenia właściwe poziome.

Wzór na obliczenie odkształceń właściwych (jeżeli promień zasięgu wpływów głównych wyrażony jest wzorem (15) posiada postać

$$\varepsilon_x = \frac{a.g_1.w.n.z^{n-1}}{s^n l_z}.\phi.\Delta\sin\nu$$

$$\phi = \left(\frac{r}{l_z}\right)^2 . e^{-\pi\left(\frac{r}{l_z}\right)^2} \tag{31}$$

Natomiast jeżeli promień zasięgu wpływów głównych wyrażony jest wzorem (16), to wzór na obliczenie odkształceń właści-

Natomiast jeżeli promień zasięgu wpływów głównych wyrażony jest wzorem (16), to wzór na obliczenie odkształceń właściwych poziomych posiada postać

$$\varepsilon_x = \frac{a \cdot g \cdot w \cdot k}{r_z \cdot l_z} \cdot \varphi \cdot \Delta \sin \nu \qquad (32)$$

W celu ułatwienia korzystania z wyprowadzonych wzorów na odkształcenia poziome opracowano dla nich nomogramy (rys. 5), wykorzystując dane podane w tablicy 2.

Nomogram do obliczenia odkształceń właściwych poziomych posiada podobną konstrukcję jak nomogramy służące do określania odkształceń właściwych w pionie, z tym jednak, że podział stref jednakowych wpływów odbywa się kątami obliczonymi z podziału funkcji $\Delta \sin \nu$ (rys. 5).

Wszystkie pola segmentów leżące między promieniem r_{10}, a środkiem nomogramu określają nam wielkość ściskania górotworu w rozpatrywanym punkcie, natomiast pola segmentów leżące na zewnątrz promienia r_{10} odnoszą się do rozciągania górotworu. W celu wyznaczenia odkształcenia właściwego w kierunku osi x nakładano punkt centralny nomogramu na przesunięty punkt A' o wielkość p i liczono ilość segmentów Pd, pokrywających się z wydzielonym polem wybranego pokładu wewnątrz promienia r_{10} oraz ilości segmentów Md pokrywających się z wydzielonym polem na zewnątrz promienia r_{10}. W podobny sposób wyznaczono ilości segmentów Pd, Md dla innych wydzielonych pasów wybranego pola pokładu względem przesuniętego punktu A' każdorazowo dla odpowiadającej głębokości zalegania wydzielonego pasa i odpowiadającemu promieniowi zasięgu wpływów głównych, oraz nomogramu. W ten sposób obliczone ilości segmentów Pd, Md wstawiono do przekształconego wzoru 31 i otrzymano

$$\varepsilon_x = \frac{a \cdot g_1 \omega \cdot 0{,}118}{400\ s^n} \sum \frac{z^{n-1}}{l_z} (P_d - M_d) \qquad (33)$$

Natomiast po podstawieniu ilości segmentów Pd, Md do przekształconego wzoru (32) otrzymano wzór pozwalający obliczyć odkształcenia właściwe poziome wynikające z wpływów eksploata-

cji pokładu, nad którym zalegają warstwy górotworu o dość znacznie różniącej się sztywności. Wzór ten posiada postać

$$\varepsilon_x = \frac{a \cdot g_1 \cdot k \cdot 0{,}118 \cdot \omega}{400} \sum \left(\frac{Md - Pd}{r_z \cdot l_z} \right) \tag{34}$$

Po podstawieniu do wzoru (34) za l_z $\frac{H \cdot k}{r_z} = \frac{H}{tg\beta}$ otrzymano

$$\varepsilon_x = \frac{a \cdot g_1 \cdot \omega \cdot 0{,}118}{400} \sum \left(\frac{Md - Pd}{H} \right) \tag{35}$$

Współczynnik ω wyznaczono po przyrównaniu wzoru (35) do wzoru na obliczenie maksymalnego odkształcenia właściwego dla frontu nieskończenie długiego, [7] wzór taki posiada postać

$$\varepsilon_x = \frac{a \cdot g \cdot 0{,}6 \cdot tg\beta}{H} \tag{36}$$

Obliczona wielkość współczynnika ω wynosi 9,6 . $tg\beta$.

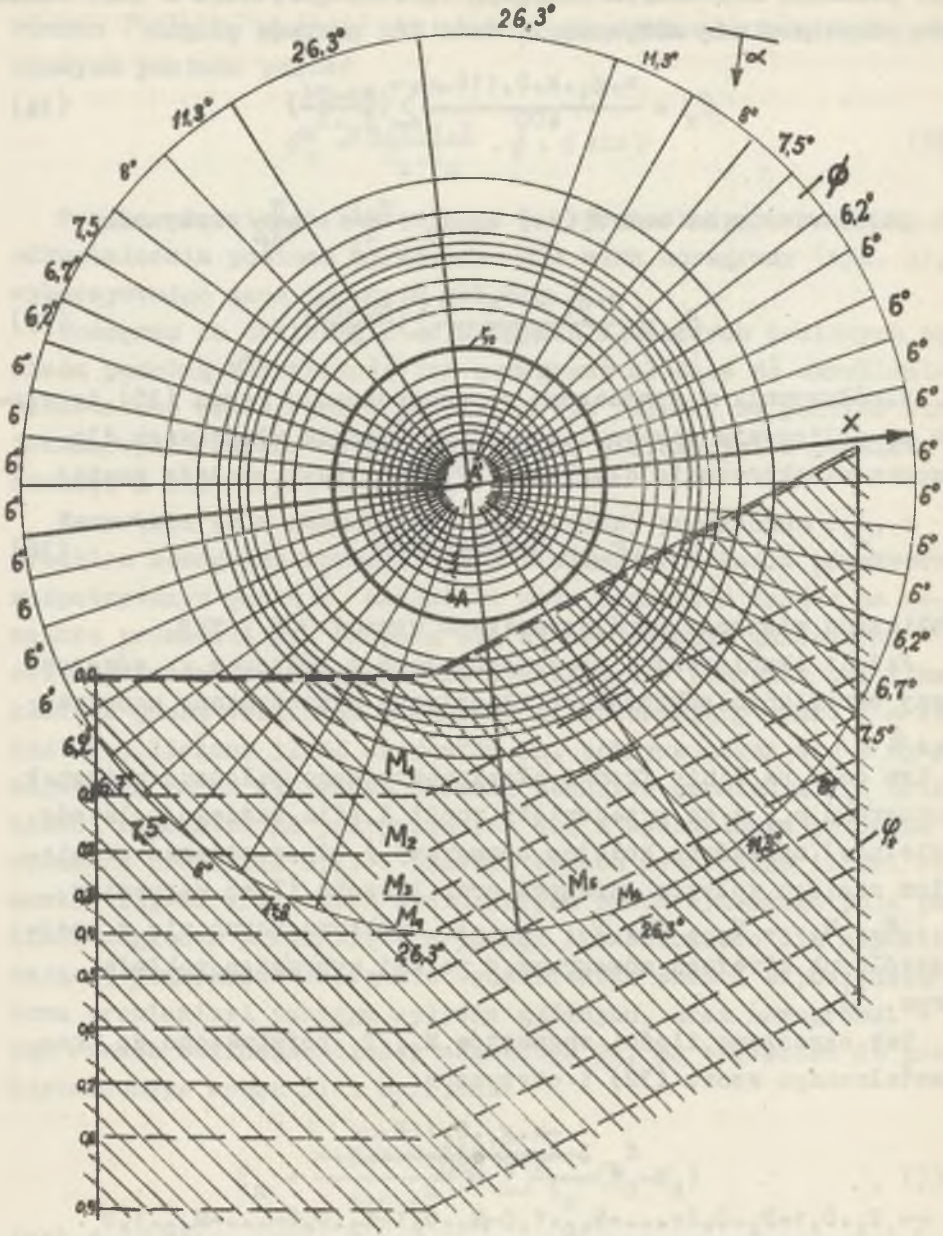
Jeżeli eksploatacja prowadzona jest z postępem v, wówczas przy określaniu odkształceń właściwych wykorzystano nomogram φ_t, Φ.

W tym celu na linię frontu eksploatacyjnego nałożono początek nomogramu φ_t, a na przesunięty punkt A' (dla każdego pola oddzielnie) nakładano kolejno nomogramy Φ odpowiadające promieniom zasięgu wpływów głównych oraz liczono ilość segmentów M_1, M_2, M_3... M_{10}, P_1, P_3, P_3...P_{10} pokrywających się w poszczególnych strefach nomogramu z polami wybranego pokładu (rys. 5).

Tak określone ilości segmentów M_i, P_i podstawiono do przekształconego wzoru (32) i otrzymano

$$\varepsilon_x = \frac{-a \cdot g_1 \cdot 0{,}118 \cdot \omega}{400}$$

$$\sum \left(\frac{P_1 \cdot 0{,}1 + P_2 \cdot 0{,}2 + \ldots + P_{10} \cdot 1{,}0 - M_1 \cdot 0{,}1 - M_2 \cdot 0{,}2 - \ldots - M_{10} \cdot 1{,}0}{H_i} \right) \tag{37}$$



Rys. 5. Sposób określania odkształceń właściwych poziomych przy użyciu nomogramu

Podane wzory pozwalają określić deformację górotworu wynikającą tak z eksploatacji pokładów nachylonych jak i poziomych. Do obliczenia defomracji górotworu zachodzi potrzeba wyznaczenia niezbędnych współczynników. Sposób wyznaczenia potrzebnych wielkości do podanych wzorów przedstawiono na przykładzie.

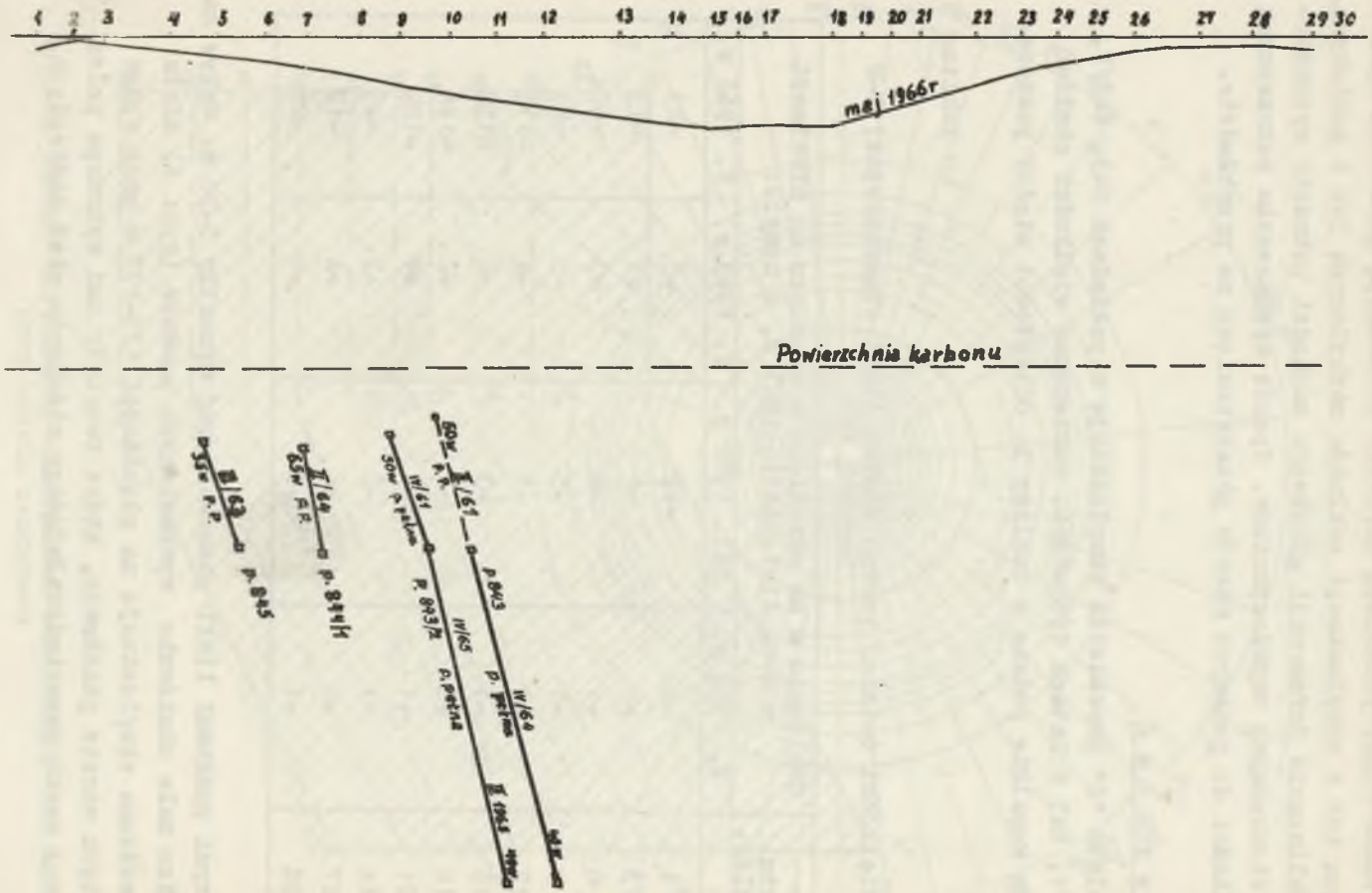
P r z y k ł a d

Kopalnia "G" prowadziła eksploatację w pokładach 843, 843/2, 844/1, 845 w latach 1961-1966. Pomierzone wielkości obniżeń przez kopalnię podano w tablicy 3. Odległości między poszczególnymi punktami linii obserwacyjnej wynosiły 5-30 m. Wpływ na bardzo małe obniżenie wymienionych punktów (rys. 6) miała prowadzona eksploatacja na głębokości 135-177 m oraz wpływ grubych warstw piaskowca, które tworzyły nad wybranym polem rodzaj mostu przeciwdziałającego ciśnieniu skał nadległych.

Tablica 3

Wielkości osiadań terenu wzdłuż linii obserwacyjnej 2-2 kopalni "G"

Nr punktu niwelac.	Obniżenie w mm określone w stosunku do niwelacji w m-cu listopadzie 1961 r. w czasie:			
	V. 1962 r.	XII. 1962 r.	V. 1963 r.	V. 1966 r.
1	-2	-12	-5	-23
3	+2	-1	+1	-13
6	-1	-4	+3	-42
9	-1	-5	-5	-81
12	-1	-5	-4	-117
15	-1	-3	-2	-152
18	+2	-2	+2	-144
21	+1	-1	+1	-109
24	-1	-2	+3	-49
27	+2	+2	+4	-19
30	-1	-3	+1	-21



Rys. 6. Przekrój pionowy wzdłuż linii obserwacyjnej 2-2 Kopalni "G"

Sztywne warstwy piaskowca uginały się w kierunku wybranej przestrzeni i powodowały powstanie na powierzchni wzniesień jak i obniżeń rozpatrywanego terenu. Wysokość pochyłą odkrytego stropu i spągu (począwszy od której występują spękania skał) można obliczyć po rozwiązaniu równań: określających moment zginania warstw grubych i zwięzłych pod wpływem obciążenia ciągłego skałami nadległymi

$$M_g = \frac{q_n \cdot L^2}{12}$$

momentu sił wewnętrznych

$$M_g = \frac{1 \cdot g_s^2 \cdot \sigma_g}{6} \qquad (38)$$

obciążenia zginanej warstwy stropu

$$q_n = \frac{Ł_o \cdot \gamma_s \cdot H \sin\alpha}{m-1} + g_s \cdot \gamma_s \cdot \cos\alpha$$

obciążenia zginanej warstwy spągu

$$q_s = \frac{Ł_o \cdot \gamma_s \cdot H \sin\alpha}{m-1} - g_p \cdot \gamma_p \cdot \cos\alpha$$

warunku równowagi - że powstałe naprężenia od zginania i ściskania będą mniejsze, lub równe doraźnej wytrzymałości na zginanie

$$R_g \geqslant \sigma_g - \gamma_s \cdot H.\sin\alpha \qquad (38)$$

Po rozwiązaniu podanych równań otrzymano wzór na obliczenie wysokości pochyłej odkrytego stropu

$$L_s = g_s \sqrt{\frac{2(\gamma_s \cdot H\sin\alpha + R_{gs})(m_s-1)}{Ł_o \cdot \gamma_s \cdot H\sin\alpha + g_s \cdot \gamma_s (m_s-1) \cdot \cos\alpha}} \qquad (40)$$

gdzie:

$Ł_o$ - współczynnik zwiększenia naprężeń pod wpływem wykonania wyrobiska,

γ_s - średni ciężar objętościowy skał nad pokładem,
R_{gs} - doraźna wytrzymałość na zginanie skał stropu zasadniczego,
m_s - współczynnik Poissona dla skał stropu zasadniczego,
g_s - grubość warstwy stropu zasadniczego.

Wysokość pochyłą odkrytego spągu (do której nie występują spękania) obliczono po przekształceniu równań (38) skąd otrzymano

$$L_p = g_p\sqrt{\frac{2\ (\gamma_s.H.\sin\alpha+R_{gp})\ (m_p-1)}{Ł_o.\gamma_s.H\sin\alpha-(g_p+g'_p).\gamma_p.(m_p-1).\cos\alpha}} \qquad (41)$$

gdzie:

γ_p - ciężar objętościowy skał spągu,
R_{gp} - doraźna wytrzymałość na zginanie skały spągowej (zalegającej poniżej pokładu węgla),
g_p - grubość mocnej skały zalegającej poniżej eksploatowanego pokładu,
g'_p - grubość warstw skał spągowych do warstwy wytrzymałej,
m_p - współczynnik Poissona sztywnej skały zalegającej poniżej wybieranego pokładu.

Po podstawieniu do wzoru (40) wielkości dla omawianego przykładu $H = 150$ m, $\gamma_s = 2{,}5$ t/m^3, $\sigma r_{gs} = 200$ t/m^2, $m_s = 7$, $\alpha = 70^o$, $Ł_o = 1$, $g_s = 20$ m otrzymano wysokość pochyłą piętra, przy której nie powinny wystąpić jeszcze spękania stropu zasadniczego równą 73 m. Następnie obliczono wysokość pochyłą sztywnej warstwy spągu odciążonej wybranym pokładem dla $g_p = 20$ m. Obliczona maksymalna wysokość pochyła odciążonego spągu (pod wybranym polem pokładu) wynosi $l_p = 122$ m. Tak obliczona wielkość l_p jest większa od wysokości pochyłej wybieranych pokładów w pierwszym piętrze w latach 1960-1964, w związku z tym na powierzchni powstały głównie obniżenia wynikające ze sprężystego uginania się skał górotworu w kierunku wybranej przestrzeni i wychylenia na kontakcie karbonu z nadkładem grubych warstw piaskowca - czego dowodem są ruchy powierzchni terenu od +4 do -5 mm.

Większe ruchy górotworu wystąpiły w czasie eksploatacji w pokładach 843, 843/2 drugiego piętra w latach 1964-1966. W czasie tej eksploatacji wysokość pochyła wybieranego pokładu w pierwszym i drugim piętrze wynosiła 158 m. Przy takiej wysokości pochyłej wybranego pola pokładu 843, 843/2 wystąpiły spękania spągu i stropu oraz wzmożone ruchy górotworu. Przebieg niecki osiadania wskazuje na to, że prowadzona eksploatacja w pokładzie 845 na poziomie pierwszego piętra spowodowała ugięcie górotworu w zakresie sprężystości skał. Ugięcie takie pominięto przy wyznaczaniu potrzebnych wielkości do wzorów teoretycznych z uwagi na małe wielkości obniżenia terenu. Do obliczeń przyjęto, że na obniżenie większe od 6 mm miała głównie wpływ eksploatacja pierwszego i drugiego piętra w pokładzie 843, 843/2. Dla zobrazowania jakie występują różnice między wielkościami obliczonymi wzorami teoretycznymi, a pomierzonymi wielkościami obniżeń najpierw wyznaczono potrzebne wielkości do wzorów, a następnie dla innych punktów obliczono obniżenia. Promień zasięgu wpływów głównych obliczono ze wzoru

$$l = \frac{h_1}{tg\beta_1} + \frac{h_2}{tg\beta_2} \tag{42}$$

gdzie:

β_1 - kąt zasięgu wpływów głównych dla nadkładu,
β_2 - kąt zasięgu wpływów głównych dla karbonu,
h_1 - grubość nadkładu,
h_2 - grubość skał karbonu liczona względem środka ciężkości wydzielonego pola pokładu.

Dla nadkładu przyjęto $tg\beta_1 = 1$, a dla skał zalegających nad pokładem - dla karbonu $tg\beta_2 = 1,5$; $tg\beta_2 = 4$. Wykorzystując wielkości h_1, h_2 obliczono promienie zasięgu wpływów głównych dla trzech pasów wybranego pola pokładu, które zestawiono w tablicy 4.

Do wyznaczenia współczynników ξ, l, c potrzebna jest znajomość obniżeń trzech punktów. Dla zwiększenia dokładności określania tych wielkości wzięto do obliczeń wyniki osiadania

Tablica 4

Kształtowanie się promieni zasięgu wpływów głównych i przesunięć na różnych głębokościach

Średnia głębokość zalegania wybranego pasa pola pokładu	Pionowa grubość karbonu H	$tg\beta_2$	Promienie zasięgu		Współczynnik ξ	Przesunięcie p
			w pokładzie	karbonie		
		1,5		27	0,6	40
150	40	4,0	110	10	0,8	68
		1,5		60	0,6	90
200	90	4,0	110	22	0,8	153
		1,5		107	0,6	160
270	160	4,0	110	40	0,8	272

4 punktów w_6, w_{15}, w_{21}, w_{30}. Pomierzone wielkości obniżeń podzielono przez siebie i otrzymano

$$\frac{w_6}{w_{15}} = \Lambda_o = 0{,}276; \quad \frac{w_{21}}{w_{30}} = \Theta_o = 5{,}2$$

$$\frac{w_{15}}{w_{21}} = \lambda_o = 1{,}4$$

Po podstawieniu obniżeń punktów w_6, w_{15}, do przekształconego wzoru (19) otrzymano następującą zależność

$$\Lambda = \frac{w_6}{w_{15}} = \frac{(g_1 \cdot N_{I843} + g_1 N_{II843} + g_1 N_{III843} + g_2 N_{I843/2})(1-e^{-2c}) + (g_2 N_{II843/2} + g_2 N_{III843/2} + g_3 N_{I844/1})(1-e^{-c})}{(N_{I843} \cdot g_1 + g_1 \cdot N_{II843} + g_1 N_{III843} + g_2 N_{I843/2})(1-e^{-2c}) + (g_2 \cdot N_{II843/2} + g_2 \cdot N_{III843/2} + g_3 \cdot N_{I844/1})(1-e^{-c})} \tag{43}$$

gdzie:

g_1 = 1,6 m - grubość pokładu 843 w pionie,

g_2 = 1,8 m - grubość pokładu 843/3 w pionie,

g_3 = 2,6 m - grubość pokładu 844/1 w pionie,

$N_{I843} \dots N_{III843}$ - ilość segmentów pokrywających się z wybranymi polami w pasie I, II, III pokładu 843 względem przesuniętego punktu 6,

$N_{I843/1} \dots N_{III843/1}$ - ilość segmentów obliczonych dla pola wybranego pokładu w pasach I, II, III względem przesuniętego punktu 6,

$N_{I844/1}$ - ilość segmentów określonych dla pola I pokładu 844/1 względem przesuniętego punktu 6,

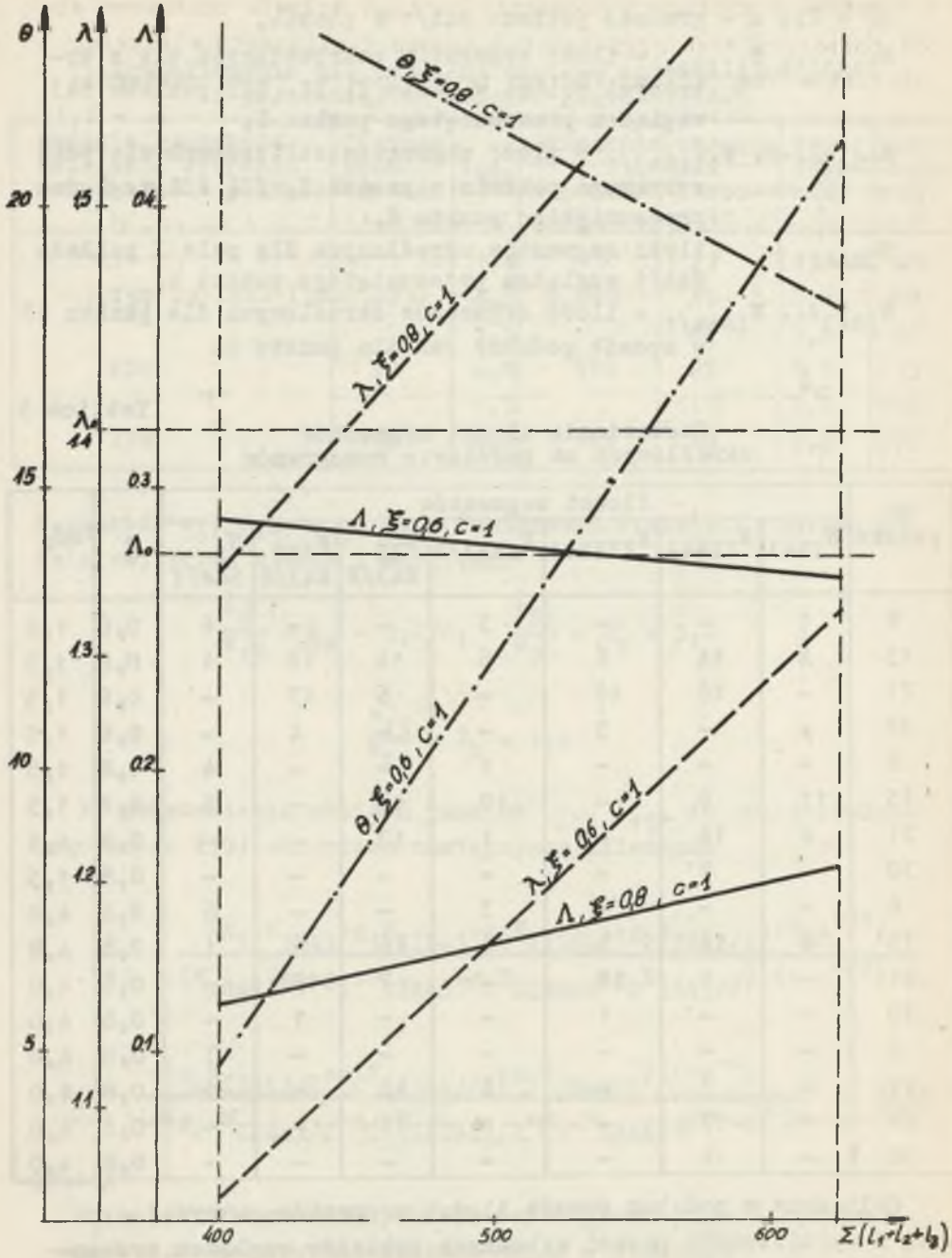
$N_{I843} \dots N_{I844/1}$ - ilość segmentów określonych dla punktu 15 w sposób podobny jak dla punktu 6.

Tablica 5

Zestawienie ilości segmentów określonych na podstawie nomogramów

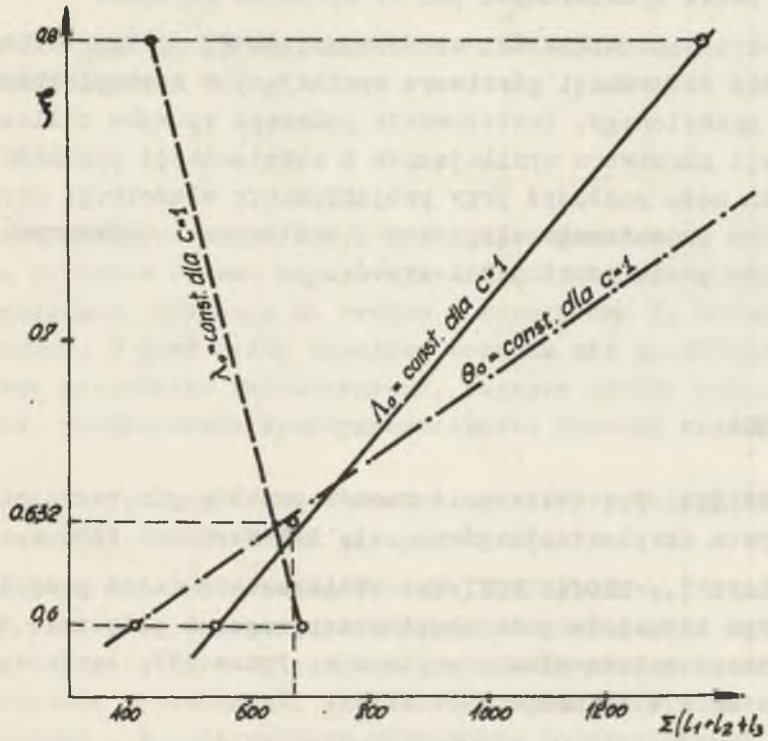
Nr punktu	Ilości segmentów							ξ	$g\beta_2$
	N_{I843}	N_{II843}	N_{III843}	$N_{I843/2}$	$N_{II\ 843/2}$	$N_{III\ 843/2}$	$N_{I\ 844/1}$		
6	1	-	-	5	-	-	6	0,6	1,5
15	4	14	6	6	14	10	1	0,6	1,5
21	-	10	10	-	6	17	-	0,6	1,5
30	-	-	5	-	-	4	-	0,6	1,5
6	-	-	-	1	-	-	4	0,8	1,5
15	11	8	-	10	11	-	5	0,8	1,5
21	2	14	-	1	13	-	-	0,8	1,5
30	-	2	-	-	-	-	-	0,8	1,5
6	-	-	-	3	-	-	6	0,6	4,0
15	4	14	3	6	16	7	1	0,6	4,0
21	-	8	15	-	7	12	-	0,6	4,0
30	-	-	1	-	-	1	-	0,6	4,0
6	-	-	-	-	-	-	3	0,8	4,0
15	6	7	-	10	12	-	5	0,8	4,0
21	1	17	-	1	13	-	-	0,8	4,0
30	-	1	-	-	-	-	-	0,8	4,0

Obliczone w podobny sposób ilości segmentów pokrywających się z wydzielonymi pasami wybranych pokładów względem przesuniętych punktów 6, 15, 21, 30 zestawiono w tablicy 5.



Rys. 7. Sposób graficznego wyznaczania sumy promieni zasięgu wpływów głównych, które spełniają przynajmniej jeden z obliczonych stosunków osiadań terenu w czasie

Podane w tablicy 5 promienie zasięgu wpływów odnoszące się do poszczególnych głębokości sumowano i obliczano wielkości stosunków obniżeń określonych teoretycznie, które następnie nanoszono w układzie współrzędnych Λ, λ, Θ, $\sum(l_1 + l_2 + l_3)$ (rys. 7). Na osi Λ odcięto wielkość Λ_0 i odczytano sumy promieni zasięgu wpływów głównych dla $\xi = 0,6$; $\xi = 0,8$. W podobny sposób odcięto na osi λ wielkość λ_0, a na osi Θ wielkość Θ_0 i odczytano w miejscu przecięcia się prostych $\xi = 0,6$ i $\xi = 0,8$ wielkości promieni (sumy) zasięgu wpływów



Rys. 8. Sposób graficznego wyznaczania współczynnika $c\xi$ i sumy promieni zasięgu wpływów głównych, które określają rzeczywiste wielkości parametrów

głównych, które naniesione w układzie współrzędnych ξ, $\sum(l_1 + l_2 + l_3)$ (rys. 8). Poszczególne punkty na rys. 8 połączono dla Λ_0 = const, λ_0 = const, Θ_0 = const i otrzy-

mano mały trójkąt którego współrzędne środka ciężkości wyznaczają rzeczywistą wielkość ξ i sumy $l_1 + l_2 + l_3$. Tangens kąta zasięgu wpływów głównych w skałach karbonu obliczono ze wzoru

$$\sum(l_1+l_2+l_3) = \frac{4H_o}{tg\beta_1} + \frac{H_{k1}+H_{k2}+H_{k3}+H_{k4}}{tg\beta_2} \qquad (44)$$

gdzie:

H_o - grubość nadkładu,

H_{k1}, H_{k2}, H_{k3}, H_{k4} - grubość karbonu liczono od środka ciężkości wydzielonych pól do wychodni karbonu.

Tak określone wielkości współczynników ξ, c, $tg\beta_2$ służą do określenia deformacji górotworu wynikających z eksploatacji pokładu nachylonego. Zastosowanie podanego sposobu obliczeń deformacji górotworu wynikających z eksploatacji pokładów nachylonych może posłużyć przy projektowaniu właściwego sposobu i kierunku prowadzenia eksploatacji w filarach ochronnych obiektów na powierzchni jak i szybów.

LITERATURA

[1] KOCHMAŃSKI T.: Obliczanie ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej, PAN Warszawa 1956 r.

[2] PYTLARZ T., TROJANOWSKI K.: Obliczanie osiadań przy dowolnym kształcie pola eksploatacyjnego na podstawie teorii Knothego metodą siatki segmentów. Prace GIG, seria A, Kom. nr 274 Katowice 1961 r.

[3] PYTLARZ T.: O wpływie eksploatacji górniczej na osiadanie górotworu w czasie, Prace GIG, seria G, Kom nr 11, Katowice 1964 r.

[4] Praca zbiorowa: wykonana przez zespół pod kierunkiem prof. T. Kochmańskiego dla Kopalni Miechowice, niepublikowana.

[5] OCHAB Z.: Niecka obniżeniowa i odkształcenia właściwe pod wpływem eksploatacji pokładów pochyłych w oparciu o teorię T. Kochmańskiego. Prace GIG, seria G, Kom. nr 242, Katowice.

[6] TROJANOWSKI K.: Określenie wartości czasowych osiadań powierzchni górotworu, Rudy i Metale Nieżelazne nr 11, Katowice 1963 r.

[7] SAŁUSTOWICZ A.: Zarys Mechaniki górotworu, Katowice 1965 r.

ДВИЖЕНИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД ВО ВРЕМЯ ВЫЕМКИ НАКЛОННЫХ ПЛАСТОВ

Р е з ю м е

В работе выведено уравнения и формулы, определяющие деформации внутри массивов горных пород, причиненные влиянием разработки месторождения, опираясь на теорию и номограммы Т. Кохманьского и С. Кноте. С этой целью выведено формулы для вычисления коэффициента разработки месторождения, радиуса объёма основного влияния, коэффициента пропорциональности функции влияния времени.

Кроме того, представлено способ практического определения коэффициентов, необходимых для уравнений.

Опираясь на изменяемость функции l_z, функции оседания пород φ, выведено формулы для определения деформации массивов горных пород (оседания, удельной деформации по вертикали, горизонтальных перемещений, удельной деформации по горизонтали), возникающих в результате разработки горизонтальных и наклонных пластов.

С целью быстрого определения деформации массивов горных породов представленно способы определения этих величин с применением номограммов.

OROGENETIC MOTIONS WITHIN TIME OF EXPLOITATION OF SLOPING BEDS

S u m m a r y

In the paper the equations and formulae have been derived, based on theories and nomograms created by T. Kochmański and S. Knothe.

For this reason the formulae for computation of the exploitation coefficient, the influence range radius, the proportionality coefficients and the time influence function have been derived.

Besides that a practical way of determining coefficients necessary for the equations has been given.

On the ground of functions changeability l_z of the rock settlement, function φ, the formulae for the deformation of grounds have been derived (for settlements, for the proper vertical deformation, for the horizontal displacements, for the proper horizontal deformation), which followed from the exploitation of horizontal or sloping beds. For the quicker determination of orogenetic deformations the ways of assigning these quantities, utilizing the nomograms have been given.