

## RUCHY TERENU WYWOŁANE EKSPLOATACJĄ PODZIEMNĄ W ŚWIETLE NAJNOWSZYCH BADAŃ POLSKICH

**E**KSPLOATACJA PODZIEMNA złóż, wywołująca nieuniknione następstwa w postaci osiadania powierzchni, była i jest przedmiotem naukowych dociekań nad jej racjonalnym rozwiązaniem. Szkody górnicze bowiem, poza naruszeniem równowagi w stosunkach wodnych i obniżeniem wartości użytkowej gruntów, narażają na zniszczenie niejednokrotnie bardzo cenne obiekty przemysłowe zlokalizowane na powierzchni w zasięgu eksploatacji podziemnej.

Stosowanie środków zapobiegawczych w postaci pozostawiania pod chronionymi obiektami filarów ochronnych daje tylko połowiczne rozwiązanie, ponieważ ogranicza zasięg eksploatacji do granic terenów, które ochroną nie są objęte. W konsekwencji tego olbrzymie zasoby złóż pozostają częstokroć na zawsze stracone dla gospodarki narodowej.

Metoda zabezpieczenia obiektów na powierzchni przez pozostawianie filarów ochronnych ma ponadto i inne ujemne strony, gdyż dotychczasowe metody wyznaczania filarów często zawodzą. Sprowadzają się one do przyjmowania odpowiednich wartości kątów zasięgu wpływów eksploatacji, przy jednoczesnym stosowaniu współczynnika bezpieczeństwa w postaci dodatkowego pasa ochronnego dokoła obiektu, co — jak wykazuje praktyka — nie zawsze zabezpiecza chroniony obiekt przed uszkodzeniem lub wręcz zniszczeniem.

Zachowanie się bowiem skał stropowych, ich załamywanie i osiadanie w warunkach wzmoczonego ciśnienia nad wyeksploatowanym złożem jest funkcją wielu czynników, takich jak: budowa geologiczna, fizyczne i mechaniczne własności skał przy trójwymiarowym stanie napięć, spękania i szczeliny, kąty upadów, sposób eksploatacji itp., a ich właściwa ocena, pozwalająca na poprawne określenie kąta zasięgu wpływów eksploatacji na powierzchnię, przy dotychczasowym stanie naszych wiadomości nie zawsze jest możliwa.

Wobec tego pozostawianie filarów częstokroć nie zabezpiecza chronionych obiektów, a nawet stwarzać może bardziej niekorzystne warunki, niż miałyby to miejsce w przypadku całkowitej rezygnacji z ich pozostawiania.

Podsadzanie pustek po wybranym złożu podsadzką płynną nie całkowicie zabezpiecza przed zniszczeniem obiekty powierzchniowe.

Poza podsadzką płynną stosuje się w górnictwie i inne metody zmniejszania szkodliwych wpływów eksploatacji na powierzchnię, jak:

- a) eksploatacja z ochroną stropu, czyli wybieranie pasami, przy pozostawianiu znacznych zasobów złoża na straży;
- b) wybieranie pokładów lub warstw w pokładzie w takiej kolejności, że wpływy wybierania w poszczególnych etapach nie sumują się wzajemnie;
- c) rozpoczynanie eksploatacji bezpośrednio pod chronionym obiektem i możliwie szybkie wybieranie na dwie strony.

Wszystkie te metody jedynie zmniejszają szkodliwe wpływy eksploatacji. Nic też dziwnego, że wysiłki wielu badaczy zostały skoncentrowane wokoło zagadnień pozwalających przez bardziej wnikliwą analizę zjawisk poeksploatacyjnych opracować takie teorie, które z jednej strony pozwalałyby na prowadzenie eksploatacji górniczej przy żądanym stopniu zabezpieczenia chronionych na powierzchni obiek-

tów, z drugiej zaś strony pozwalały na wybieranie złóż z jak najmniejszymi stratami.

Zagadnieniem osiadania powierzchni pod wpływem eksploatacji zaczęto zajmować się stosunkowo późno, bo dopiero w ostatnich latach XIX stulecia. We wcześniejszych okresach rozwoju górnictwa wyrobiska podziemne prowadzone były wyłącznie płytko, głównie z powodu trudności hydrologicznych i niskiego poziomu techniki, a następstwa takiej eksploatacji przejawiały się na powierzchni zawsze w postaci zapadłisk. W związku z tym nie zachodziła potrzeba analizowania tych wpływów, ponieważ można je było z góry i w sposób nie ulegający wątpliwości przewidywać.

Dopiero kiedy technika pozwoliła na opanowanie dopływu wód do wyrobisk, a tym samym zezwoliła na zejście z eksploatacją znacznie niżej, kiedy wręcz aktualne stało się na szeroką skalę wydobywanie węgla kamiennego, problem szkód górniczych stał się zagadnieniem otwartym, wymagającym naukowego opracowania. Stwierdzono bowiem, że przy głębokiej eksploatacji na powierzchni nie powstają zapadłiska, lecz mniej lub więcej regularne kotłiny obniżone, o nieokreślonym bliżej zasięgu powierzchniowym w stosunku do lokalizacji wybranego złoża.

Różni badacze w różny sposób usiłowali tłumaczyć zachodzące na powierzchni skutki takiego głęboko wykonywanego wybierania, opierając je na różnych teoriach.

Pierwszą zasadą interpretacji wpływów eksploatacji na powierzchnię była teoria belek lub płyt, której zwolennikami byli Gonot, G. Dumont, A. Schulz i Sparre. Gonot dowodził, że kierunek załamywania się skał górotworu między wyrobiskiem a powierzchnią przebiega prostopadle do płaszczyzny pokładu. Pozostali autorzy wprowadzają poprawki do teorii Gonota, ograniczając zakres jej stosowności bądź też wprowadzając nowe wartości kąta zasięgu wpływów eksploatacji.

F. Rziha na podstawie obserwacji w Zagłębiu Ostrawsko-Karwińskim tłumaczy zjawiska przemieszczeń w górotworze pod wpływem eksploatacji, posługując się teorią sklepień. Autor twierdzi, że nad wyrobiskiem następuje obrywanie się skał stropowych jako wynik działania siły ciężkości, tworząc naturalne sklepienie o przekroju parabolicznym. Ostateczny i maksymalny zasięg załamywania się skał określa autor kątem naturalnego zasypu. Rziha reprezentując pogląd, że w wyniku samopodsadzania pustek po wybranym złożu, przy jednoczesnym zwiększeniu objętości skruszonych skał istnieje bezpieczna dla chronionych na powierzchni obiektów głębokość, wprowadza klasyfikację skał pod kątem wielkości współczynnika spulchnienia oraz podaje matematyczną formę obliczenia tej głębokości.

Inni badacze, jak: W. Jeciński, R. Hausse, W. Trompeter usiłują wyjaśnić przemieszczenia w górotworze, zachodzące wskutek wybierania złoża, stosując teorie uwzględniające rozprężanie się skał, zwiększanie ich objętości i kąt naturalnego zsypania. Jeciński twierdzi, że osiadanie powierzchni zależy od grubości wybranego pokładu, od kąta jego nachylenia, od głębokości wybierania oraz od rodzaju skał budujących górotwór; — wprowadza nowe wartości kątów załamań i osiadania nakładu, a współczynnik zwiększenia objętości skał karbońskich przyjmuje 1,01.

Obszerne i wnikliwe obserwacje w zakresie szkód górniczych gromadził i publikował Hausse. Wyróżnia on strefę załamania głównych jako wynik bezpośrednich obwałowań nadkładu znajdującego się nad wybranym pokładem — oraz strefę załamania bocznych, zachodzących w postaci zruszenia i przesunięć w kierunku pustek wywołanych załamaniem głównym. Autor przyjmuje, że załamanie główne w utworach luźnych i w nieuwarstwionym górotworze zwięzłym następuje pionowo, natomiast załamanie boczne w tych warunkach zależy od kąta naturalnego zsyphu. Ze względu na nieswobodne obsuwanie się skał w tej ostatniej strefie kąt ten nie osiąga wartości kąta naturalnego zsyphu, lecz jest od niego większy. Autor zaleca określać w tych warunkach kąt załamania bocznych po dwusiecznej kąta utworzonego przez płaszczyznę pionową i płaszczyznę kąta naturalnego zsyphu. Zalecenia powyższe odnosi autor również do górotworu uwarstwionego, ale w stosunku do pokładów poziomych, przy pokładach zaś nachylnych wyłącznie w kierunku biegu pokładu. W odniesieniu do pokładów nachylnych zaleca autor przyjmować kąt zasięgu wpływów głównych w kierunku wzniosu i upadu pokładu bądź według teorii W. Jicińskiego, tj.

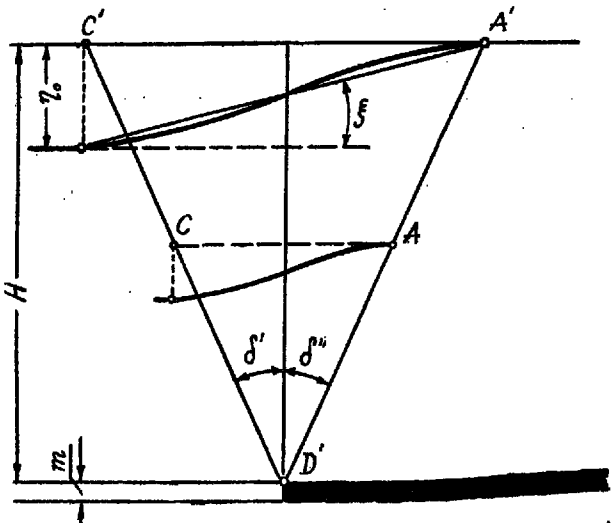
$$\varphi = 90^\circ - \frac{\alpha}{2} \text{ gdy } \alpha < 45^\circ$$

$$\varphi = 45^\circ + \frac{\alpha}{2} \text{ gdy } \alpha > 45^\circ$$

— gdzie  $\alpha$  = kąt nachylenia pokładu — bądź też wg wzoru Haussego:

$$\text{tg } \varphi = \frac{1 + \cos^2 \alpha}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha}$$

Zasięg wpływów bocznych będzie wg Haussego szerszy niż zasięg wpływów głównych o kąt  $\alpha$ , którego wartość ocenia autor w granicach 10 — 20°.



Ryc. 1

Poważne dane w zakresie obserwacji szkód górniczych w Zagłębiu Westfalskim opublikowane zostały w 1897 r. przez Wyższy Urząd Górniczy w Dortmundzie. W sprawozdaniu tym, opartym wyłącznie na wynikach obserwacji praktycznych, podkreślono, że wszelkie przewidywania wpływów eksploatacji na powierzchnię oparte być może jedynie na wynikach uprzednich obserwacji w rejonach o analogicznej lub bardzo zbliżonej budowie geologicznej. Osiadanie jest bowiem funkcją wielu czynników geologiczno-technicznych, którym nadanie formy matematycznej nie jest możliwe. Ze względu jednak na konieczność zabezpieczania obiektów powierzchniowych przed wpływami eksploatacji komisja W.U.G. w Dortmundzie ustaliła wytyczne do wyznaczania

filarów ochronnych dla różnych lokalnie warunków geologicznych. Zalecenia te wywarły wyraźny wpływ na metodykę wyznaczania filarów ochronnych i w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym.

Podobną, lecz o węższym zakresie próbę analizy wpływów eksploatacji na powierzchnię na Górnym Śląsku podjął i opublikował w 1900 r. R. Wachsmann. W pracy swej, opartej na materiałach z poszczególnych kopalń, Wachsmann ograniczył się niemal wyłącznie do opisu rzeczywiście stwierdzonych faktów, sprowadzając ich analizę i wnioskowanie jedynie do bezspornych tez.

Prace w zakresie teorii opartej na zjawiskach ciśnienia publikowali m. in. A. Eckardt i Klose.

Poważny dorobek w zakresie badań naukowych o tematyce szkód górniczych wnieśli uczeni radzieccy I. M. Bucharin, S. G. Awierszin i inni. W 1948 r. pracę swą opublikował również prof. D. A. Kozakowski. Autor ten na podstawie badań modelowych i obserwacji mierniczych stwierdza, że

a) brzegi oraz początki dna niecek leżą na linii prostej (ryc. 1),

b) za wskaźnik deformacji powierzchni wywołanej eksploatacją podziemną przyjętą można tangens kąta średniego nachylenia brzeżnej części niecki

$$T = \text{tg } \xi = \frac{\eta_0 \cdot P}{H \cdot (\text{tg } \delta' + \text{tg } \delta'')} \dots \dots (1)$$

gdzie:  $\eta_0$  — największe obniżenie powierzchni po zakończeniu procesu ruchów,

$p$  — współczynnik zawarty w granicach 0 — 1, zależny od położenia punktu  $C$ ,

$H$  — głębokość wybierania,

$\delta', \delta''$  — kąty między pionem wystawionym z brzegu wyrobiska a liniami poprowadzonymi z tego punktu do brzegu niecki ( $\delta'$ ) i do początku jej dna ( $\delta''$ ).

Obserwacje Kozakowskiego posłużyły w dwa lata później prof. W. Budrykowi za punkt wyjściowy do opracowania nowej teorii eksploatacji.

Bardzo poważne osiągnięcia w zakresie analizy wpływów eksploatacji na powierzchnię uzyskali w ciągu ostatnich lat pracownicy naukowcy Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Składają się na nie prace T. Kochmańskiego, W. Budryka i St. Knothe.

Kochmański w pracy swej rozpatruje ruchy terenu na powierzchni i wewnątrz górotworu wywołane eksploatacją podziemną oraz opracowuje nową teorię wyznaczania filarów ochronnych dla obiektów powierzchniowych w zależności od odkształceń właściwych.

Budryk i Knothe stwierdzają, że miarą deformacji terenu i związanych z nią uszkodzeń chronionych na powierzchni obiektów jest wielkość krzywizny w brzeżnej części niecki osiadania. W związku z tym opracowują nowe zasady eksploatacji podziemnej, które przy wyeliminowaniu czynnika strat w postaci pozostawiania filarów ochronnych pozwalają osiągnąć dopuszczalne i bezpieczne wartości krzywizn.

Artykuł niniejszy omawia w sposób ramowy główne zasady obu teorii i ma na celu zorientowanie geologa w ich zastosowaniu. Pozwoli to geologowi kopalniemu na samodzielne przeliczenie wielkości osiadania oraz na krytyczne potraktowanie wyników z punktu widzenia miejscowej budowy geologicznej.

#### RUCHY TERENU WYWOŁANE EKSPLOATACJĄ PODZIEMNĄ WEDŁUG TEORII T. KOCHMAŃSKIEGO

Autor rozpatruje ruchy terenu wywołane eksploatacją podziemną, których charakter jest ciągły w czasie i przestrzeni. Teoria nie obejmuje natomiast zjawisk nieciągłych, które powodowane nadzwyczajnymi i nie dającymi się ujmować w formy matematyczne czynnikami, przejawiają się w postaci zapadłisk, szczelin itp.

Zjawiska mające charakter ruchów ciągłych ujmuje autor jako sumę wpływów poszczególnych elemen-

tarnych pól wybierania, co w ujęciu matematycznym znajduje wyraz w postaci całki wpływów elementów wybierania.

Ujęcie podobne o nakładaniu się na siebie elementarnych wpływów wybierania w teoriach swych już uprzednio przyjmowali H. Keinhorst i R. Bals, przy czym Kochmański stwierdza, że założenie to znajduje z wystarczającą dla praktyki dokładnością odpowiednik w rzeczywistych ruchach terenu.

Teorię swą opiera autor na wynikach niwelacji precyzyjnej, pozwalającej określić kształty i objętości niecek osiadania nad wybranym złożem.

W wyniku wybranej elementarnej objętości złoża  $dV_z$ , będącej częścią objętości  $V_z$ , wystarczająco dużą do wywołania ruchów na powierzchni ujawni się inna objętość  $dV$ , będąca elementem niecki powierzchniowej  $V$ , przy czym  $dV_z = dP \cdot g \dots (2)$

— gdzie  $dP$  jest elementem powierzchni wybranego złoża,  
—  $g$  jest jego grubością.

Między tymi wielkościami zachodzi związek:  $dV = a \cdot dV_z \dots (3)$

— gdzie  $a$  nosi nazwę współczynnika osiadania. Wielkość ta zależy od dokładności wybierania złoża, stosowania i jakości podsadzki, wreszcie od możliwości powstawania w zawale szczelin pustych przestrzeni.

$$0 \leq a \leq 1$$

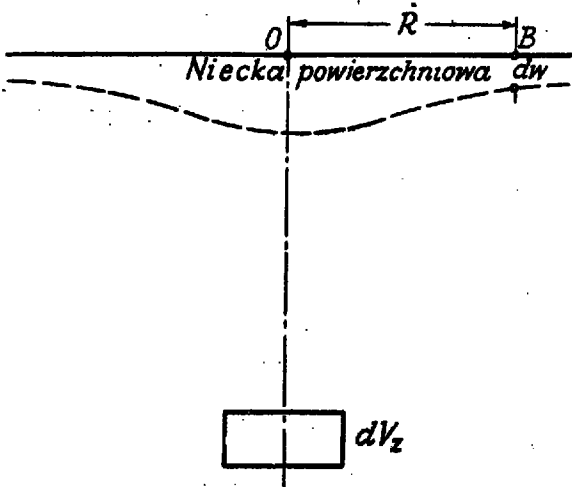
Autor przyjmuje następnie podstawowe założenie, które uważa wprawdzie jako niezupełnie ścisłe teoretycznie, jednak wystarczająco dokładne do obliczeń praktycznych, że ruch dowolnego punktu terenu — wywołany wpływem wybierania  $dV_z$  — zależy jedynie od poziomej odległości  $R$  rozpatrywanego punktu od wybranego elementu i od wielkości niecki powierzchniowej  $dV$ , wywołanej wybaniem złoża (ryc. 2). Zależność tę da się przedstawić równaniem:

$$dw = dV \cdot f(\sigma, R) = a \cdot dV_z \cdot f(\sigma, R) \dots (4)$$

— gdzie  $dw$  — elementarne pionowe osiadanie rozpatrywanego punktu pod wpływem wybrania elementu złoża o objętości  $dV_z$ ,

$f(\sigma, R)$  — funkcja  $f$  zależna od kąta  $NOB = \sigma$  i wielkości  $R$ , gdzie  $N$  jest kierunkiem północy.

Jeżeli z wystarczającą dla praktyki dokładnością potrafimy określić przebieg funkcji  $f$  dla pewnej partii wybierania, wówczas osiadanie każdego dowolnego punktu  $B$ , wywołane wybraniem pokładu o dowolnym kształcie z danej partii złoża, dla której znamy funkcję  $f$ , może być łatwo obliczone.



Ryc. 2

W przypadku gdy powierzchnia terenu, pod którą odbywa się eksploatacja, jest pozioma i pokład eksploatowany jest również poziomy, wreszcie jeżeli współ-

czynnik osiadania  $a$  i grubość złoża  $g$  są wielkościami stałymi, wówczas  $f(\sigma, R) = f(R)$  i wtedy

$$dw = a \cdot dV_z \cdot f(R) = a \cdot g \cdot dP \cdot f(R) \dots (5)$$

Wzór ten pozwala obliczyć osiadanie punktu  $B$  pod wpływem wybrania złoża z wycinkowej powierzchni, którą możemy za „skupioną” w jej środku ciężkości.

$$\text{Dla } f(R) = \text{const. jest } w = a \cdot g \cdot P \cdot f(R) \dots (6)$$

Na funkcję  $f(R)$  podaje autor równanie empiryczne w postaci:

$$f(R) = C(b) \cdot e^{-\left(\frac{R}{r_0}\right)^b} \dots (7)$$

— gdzie  $b$  i  $r_0$  są parametrami stałymi,  $C(b)$  jest wielkością, którą obliczyć można z warunków brzegowych, jeżeli znany jest parametr  $b$ . Korzystając z równania (7) można wzór (5) przedstawić w postaci:

$$dw = a \cdot g \cdot dP \cdot e^{-\left(\frac{R}{r_0}\right)^b} \dots (8)$$

Całkowanie przeprowadza autor we współrzędnych prostokątnych, ponieważ pole eksploatacji ma zazwyczaj kształt będący sumą lub różnicą prostokątów.

Ponieważ osiadanie punktu w środku eksploatacji o nieskończonej powierzchni  $\pi$  jest  $w_{\max} = a \cdot g$  więc

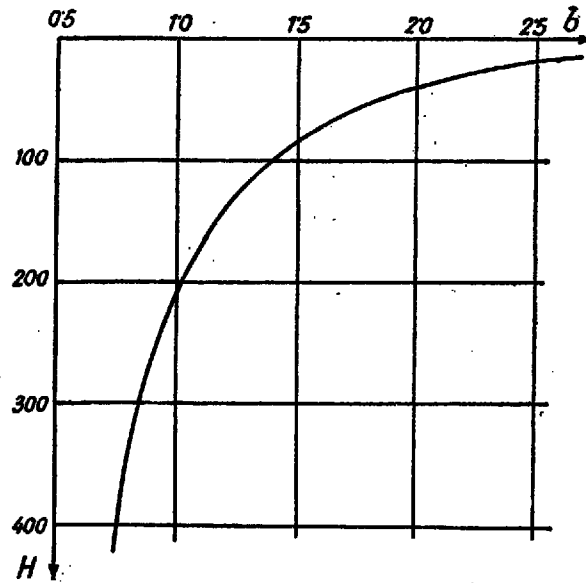
$$C(b) = \frac{1}{\iint_{\pi} e^{-\left(\frac{R}{r_0}\right)^b} \cdot dx \cdot dy} \dots (9)$$

Osiadanie punktu o współrzędnych  $(x_0, y_0)$  pod wpływem eksploatacji w prostokącie  $P(x_1 < x < x_2, y_1 < y < y_2)$  da się przedstawić równaniem:

$$w = a \cdot g \cdot \frac{\int_{x_1}^{x_2} dx \cdot \int_{y_1}^{y_2} e^{-\left(\frac{R}{r_0}\right)^b} \cdot dy}{4 \int_0^{\infty} dx \cdot \int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{R}{r_0}\right)^b} \cdot dy} \dots (10)$$

$$\text{przy czym } R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$$

Ponieważ każdorazowe obliczanie wielkości osiadania za pomocą równania (10) byłoby uciążliwe i żmudne,



Ryc. 3

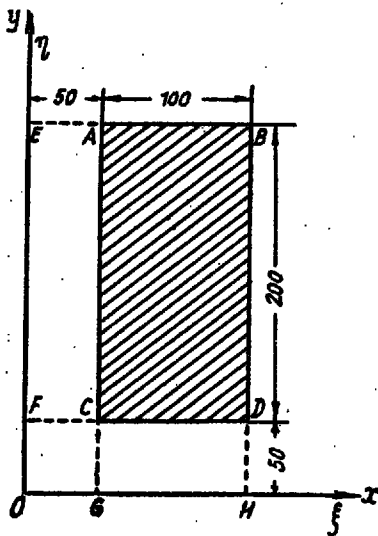
autor zamieszcza szereg tabel pozwalających wprost odczytać wielkości osiadania w mm, w warunkach gdy  $x_0 = y_0 = x_1 = y_1 = 0$  a  $\cdot g = 1$  metr  $r_0 = 1$  metr dla różnych parametrów  $b$  zawartych w granicach wartości od 0,5 do 1,0. Wprowadzając w tabelach obliczono wartości osiadania dla  $r_0 = 1$  metr,

ale przez wprowadzenie bezwymiarowych współrzędnych  $(\xi, \eta)$ , dla których wartości tabelaryczne podano, gdzie  $\xi_2 = \frac{x_2}{r_0}, \eta_2 = \frac{y_2}{r_0}$ , wartości te będą identyczne dla dowolnego  $r_0$ .

Autor stwierdza na podstawie własnych obserwacji, że wielkość parametru  $r_0$  nie zależy od głębokości eksploatacji  $H$ , zależy natomiast od składu litologicznego skał górotworu i wynosi:

- dla ilów . . . . . 10 m
- dla mieszanych łupków i piaskowców karbońskich . . . . . 50—65 m
- dla górotworu karbońskiego o silnych piaskowcach . . . . . 176 m
- dla górotworu karbońskiego z przewagą łupków i 50% nadkładem z luźnych utworów młodszych . . . . . 32 m

Parametr  $b$ , zdaniem autora, zależy jedynie od głębokości eksploatacji  $H$ , przy czym zależność powyższą  $b = b(H)$  przedstawia ryc. 3. Obliczenie nieznanymi parametrów  $a$  i  $r_0$ , które wpływają na kształtowanie się niecki osiadania, dokonuje się przez kolejne przybliżenia na podstawie wyników pomiarów.



Ryc. 4

**Przykład 1.** Na głębokości 300 m od powierzchni wyeksploatowano pokład o grubości  $g = 2,5$  m. Powierzchnia wybranego pokładu ma kształt prostokąta ABCD (ryc. 4) o wymiarach  $100 \times 200$  m. Ustalono na podstawie pomiarów niwelacyjnych parametry wynoszą:  $a = 0,8$ ,  $b = 0,8$ ,  $r_0 = 50$  m. Obliczyć wielkość osiadania w punkcie 0 położonym na zewnątrz rzutu pola eksploatacji.

Fikcyjna wielkość osiadania  $w_1$  punktu 0 pod wpływem eksploatacji pokładu o powierzchni OEGBH, dla którego  $a \cdot g = 1$ , da się określić za pomocą tabel autora obliczonych dla równania (10), z których dla współrzędnych bezwymiarowych

$$\xi_2 = \frac{x_2}{r_0} = \frac{150}{50} = 3 \text{ i } \eta_2 = \frac{y_2}{r_0} = \frac{250}{50} = 5$$

znajdujemy  $w_1 = 177,6$  mm.

Analogicznie dla eksploatacji w prostokącie OEAG, dla którego

$$\xi_2 = \frac{50}{50} = 1, \eta_2 = \frac{250}{50} = 5, \text{ jest } w_2 = 88,2 \text{ mm.}$$

Dla prostokąta OFDH, gdzie  $\xi_2 = \frac{150}{50} = 3$   $\eta_2 = \frac{50}{50} = 1$ ,

jest  $w_3 = 79,1$  mm. Wreszcie dla prostokąta OFCG jest  $\xi_2 = \eta_2 = 1$  i  $w_4 = 44,6$  mm.

Osiadanie zatem w punkcie 0 pod wpływem eksploatacji pokładu w prostokącie ABCD, dla któ-

rego  $a \cdot g = 1$  metr, będzie sumą algebraiczną wartości wyliczonych:

$$w' = w_1 - w_2 - w_3 + w_4 = 177,6 - 88,2 - 79,1 + 44,6 = 54,9 \text{ mm.}$$

Ponieważ w rzeczywistości  $a \cdot g = 0,8 \cdot 2,5 = 2$ , więc osiadanie  $w = a \cdot g \cdot w' = 0,8 \cdot 2,5 \cdot 54,9 = 109,8$  mm.

Rozpatrując warunki kształtowania się niecki poniżej powierzchni ziemi, zakłada autor, że w odległości pionowej  $z$  nad powierzchnią wybierania osiadanie  $w(z)$  zależy od parametrów  $a$ ,  $b$  i  $r_0$ . Ponieważ te ostatnie są z kolei funkcjami odległości  $z$  tj.  $a = a(z)$ ,  $b = b(z)$ , i  $r_0 = r_0(z)$ , więc

$$w(z) = w\{a(z), b(z), r_0(z)\} \dots \dots \dots (11)$$

Ponieważ wielkość  $a$  można przyjąć jako stałą, niezależną od  $z$ , więc pochodna z (11) będzie pochodną funkcji złożonej:

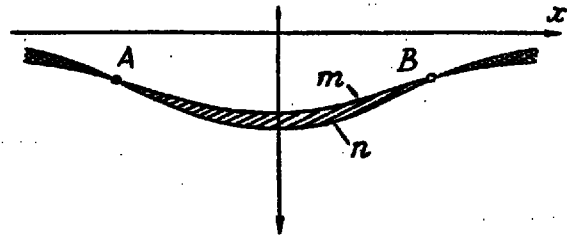
$$\frac{dw}{dz} = \epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial b} \cdot \frac{db}{dz} + \frac{\partial w}{\partial r_0} \cdot \frac{dr_0}{dz} \dots \dots (12)$$

— gdzie  $\epsilon_z$  jest odkształceniem właściwym w kierunku osi  $z$ .

Zakładając z kolei, że dla górotworu jednorodnego jest  $\frac{dr_0}{dz} = 0$ , równanie (12) sprowadzić można do postaci.

$$\epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial b} \cdot \frac{db}{dz} \dots \dots \dots (13)$$

Wartość  $\frac{\partial w}{\partial b}$  obliczyć można z tabel autora dla równania (10), natomiast pochodną  $\frac{db}{dz}$  da się obliczyć z równania (13), jeżeli znana jest wielkość  $\epsilon_z$ . Wykres  $b(z)$ , którego opracowanie jest zamierzeniem autora, pozwoliłoby na obliczenie wartości odkształceń  $\epsilon_z$  nie tylko przy powierzchni, ale i wewnątrz górotworu.



$m$  - przekrój niecki dla  $z = z_2$   
 $n$  - przekrój niecki dla  $z = z_1$   
 $z_2 > z_1$

Ryc. 5

Kształtowanie się niecek wewnątrz górotworu pokazuje ryc. 5, gdzie na ten sam układ współrzędnych naniesiono w skali przewiększonej profile dwóch niecek, a to dla odległości pionowych od eksploatacji  $z_1$  i  $z_2$ , gdzie  $z_2 > z_1$ . Osiadanie punktów w centralnej partii niecki głębszej, dla odległości  $z_1$  od eksploatacji, będzie większe niż dla odległości  $z_2$  — i na odwrót. Punkty A i B są punktami, dla których osiadanie jest identyczne. Między punktami A i B górotwór ulega rozciąganiu w pionie, poza nimi zaś — ściskaniu. Zwykle największe rozciąganie zachodzi w środku obu niecek.

Ponieważ dla małych powierzchni wybierania maksymalne odkształcenia zachodzą w środku niecki, autor rozpatruje z kolei zagadnienie, przy jakiej wielkości eksploatacji, w przypadku gdy rzut tej ostatniej na powierzchnię ma kształt kwadratu o boku  $2c$ , odkształcenia te będą największe?

Zamiast sporządzania wykresu  $\epsilon_z$  jako funkcji połowy boku kwadratu  $c$  za pomocą wzoru (13) posługują się przybliżonym równaniem:

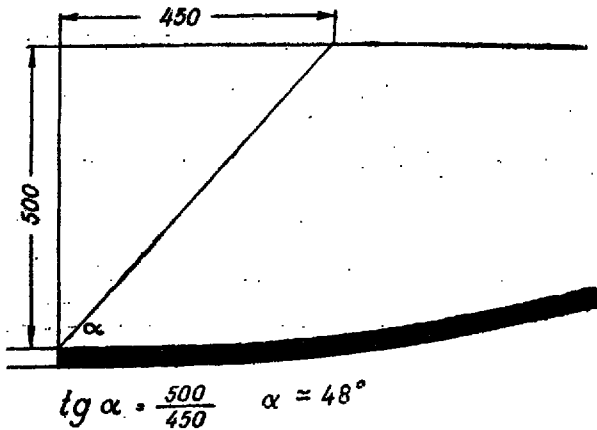
$$\epsilon_z(c) = \epsilon_z(\gamma) = C \cdot \gamma^2 \cdot e^{-\gamma^2} \dots \dots (14), \text{ gdzie } \gamma = \frac{c}{r_0}$$

C jest stałą, którą należy wyznaczyć empirycznie dla danego terenu. Wartość  $\epsilon_z(\gamma)$  z równania (14) osiąga

maksimum dla  $\gamma = \gamma_m = \left(\frac{2}{b}\right)^{\frac{1}{b}}$  i wynosi  $\epsilon_{max} = C \cdot \left(\frac{2}{b}\right)^{\frac{2}{b}} \cdot e^{-\frac{2}{b}}$ . Wynika z tego, że  $\gamma_m$  osiąga bardzo duże

wartości przy małych wielkościach b, tj. dla znacznych głębokości wybierania.

Jeśli powyższa teoria znalazła potwierdzenie w praktyce, dowodziłoby to, że stosowane dotychczas normy wyznaczania filarów ochronnych na powierzchni są błędne i filary te obiektów chronionych nie zabezpieczają. I tak np. dla  $r_0 = 100$  m i  $b = 0,7$ , co odpowiada przeciętnej głębokości wybierania  $H = 500$  m, jest  $c_m = \gamma_m \cdot r_0 = 4,5 \cdot 100 = 450$  m, to znaczy, że największe odkształcenia właściwe wypadają w środku filaru ochronnego o boku  $2c = 900$  m. Kąt odległościowy jest w tych warunkach bardzo mały i wynosi zaledwie  $48^\circ$  (ryc. 6).



Ryc. 6

Wprawdzie większe znaczenie dla chronionych obiektów powierzchniowych mają odkształcenia poziome  $\epsilon_x$  i  $\epsilon_y$  niż odkształcenia pionowe  $\epsilon_z$ , ale ponieważ jest  $\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z = 0$  — stąd w środku eksploatacji mogą

one być znaczne, ponieważ  $\epsilon_x = \epsilon_y = -\frac{\epsilon_z}{2}$ . Zatem

odkształcenia poziome co do wartości bezwzględnej są w najkorzystniejszym przypadku równe połowie wartości odkształceń pionowych. Należy przewidzieć, że w zasięgu pola eksploatacyjnego zachodzą będą na ogół naprężenia poziome ściskające, na zewnątrz zaś — rozciągające.

**Przykład 2.** Na głębokości  $H = 400$  m od powierzchni eksploatacyjnej jest pokład o grubości  $g = 3$  m. Dla chronienia obiektu powierzchniowego pozostawiono nie wybrany filar w kształcie kwadratu o boku  $2c = 360$  m (ryc. 7). Ustalono na podstawie pomiarów niwelacyjnych parametry wynoszą:

$$a = 0,8, r_0 = 100 \text{ m } b = 0,75$$

Dla fikcyjnej eksploatacji pokładu o powierzchni ABCD, dla którego  $a \cdot g = 1$  metr, znajdujemy z tabel autora, że dla  $\xi_2 = \eta_2 = 1,8$  osiadanie w punkcie B wynosi — dla  $b = 0,7$   $w_{1a} = 64$  mm

$$\text{— dla } b = 0,8 \text{ } w_{1b} = 94 \text{ mm}$$

Interpolując liniowo dla wartości  $b = 0,75$  otrzymamy  $w_1 = \frac{64 + 94}{2} = 79$  mm. Osiadanie punktu B

pod wpływem eksploatacji pokładu o powierzchni EFGD wynosić będzie  $w' = 4w_1 = 4 \cdot 79 = 316$  mm. Ponieważ w przypadku eksploatacji pokładu o dalekim zasięgu powierzchniowym, łącznie z filarem ochronnym, osiadanie wyniosłoby  $w' = a \cdot g = 1$  m, więc wybranie pokładu na zewnątrz filaru ochronnego

go spowodowałoby osiadanie  $w'' = 1000 - 316 = 684$  mm.

Wreszcie przy uwzględnieniu wartości rzeczywistych, dla których  $a \cdot g = 0,8 \cdot 3 = 1,8$  otrzymamy osiadanie w środku filaru ochronnego  $w = 1,8 \cdot 684 = 1230$  mm = 1,23 m.

Odkształcenie właściwe pionowe w środku filaru

obliczyć można równaniem:  $\epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial b} \cdot \frac{db}{dz}$ . Posługując się wartościami przybliżonymi znajdziemy

$$\epsilon_z \approx \frac{\Delta w}{\Delta b} \cdot \frac{\Delta b}{\Delta z}$$

Z obliczeń poprzednich znajdujemy, że dla  $\Delta b = 0,1$  a  $a \cdot g = 1$  m i  $1/4$  powierzchni eksploatacji filaru jest  $\Delta w' = 30$  mm. Zatem dla eksploatacji pokładu w filarze  $\Delta w = 4 \cdot 1,8 \cdot 30 = 216$  mm

$$\frac{\Delta w}{\Delta b} = \frac{216}{0,1} = 2160 \text{ mm.}$$

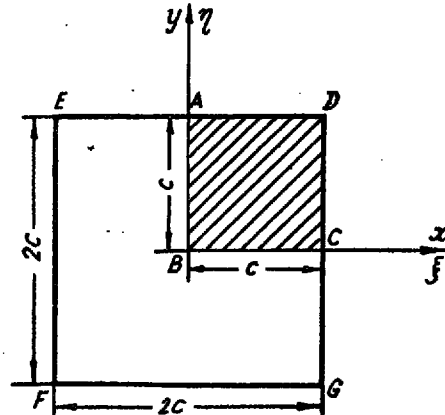
Zakładając zgodnie z wynikami pomiarów, że dla  $\Delta b = 0,1$  jest  $\Delta z = 30$  m

$$\frac{\Delta b}{\Delta z} = \frac{0,1}{30} = \frac{1}{300} \text{ m}^{-1}$$

$$|\epsilon_x| = |\epsilon_y| \geq \frac{|\epsilon_z|}{2} = \frac{1080}{300} = 3,6 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$$

Odkształcenia właściwe pod wpływem eksploatacji na zewnątrz filaru będą co do bezwzględnej wartości równe obliczonym dla eksploatacji w filarze ochronnym, a tylko znaki ich będą przeciwne, mianowicie będą one rozciągającymi.

Obliczenia powyższe wykazują, że filar nie stanowi zabezpieczenia dla chronionego obiektu, jakkolwiek nie są to jeszcze odkształcenia maksymalne. Te ostatnie bowiem wystąpiłyby dla  $\gamma_m = 3,7$ , tj. dla  $c_m = 3,7 \cdot 100 = 370$  m, a więc dla filaru w kształcie kwadratu o boku  $2c = 740$  m. Dowodzi to, że w omawianym przypadku ograniczone zwiększenie filaru nie tylko nie zwiększy bezpieczeństwa chronionego obiektu, ale wręcz przeciwnie — spowoduje zwiększenie odkształceń, a tym samym i uszkodzeń.



Ryc. 7

Autor poddaje w wątpliwość dotychczasowe zasady wyznaczania filarów ochronnych o wymiarach będących przedmiotem obowiązujących norm i przepisów, które często nie spełniają swego zadania. W wyniku tego, poza bardzo poważnymi dla gospodarki narodowej stratami w postaci uwieczonych w filarach ochronnych złóż, chronione na powierzchni wartościowe obiekty nie tylko nie są należycie zabezpieczone, ale zwykle ulegają większemu zniszczeniu niż w przypadku zupełnego wybierania złoża przy zastosowaniu podsadzki płynnej.

**WPLYW EKSPLOATACJI PODZIEMNEJ NA POWIERZCHNIĘ WEDŁUG TEORII BUDRYKA I KNOTHEGO**

W przypadku zatrzymania frontu wybierania węgla i ostatecznego ukształtowania się niecki osiadania na powierzchni, brzeżna jej część uformuje się jak na ryc. 8. Miarą deformacji terenu, a tym samym i uszkodzeń chronionych na powierzchni obiektów jest wielkość krzywizny  $K$ , będąca odwrotnością promienia  $R$  tejże krzywizny profilu brzeżi niecki osiadania.

Jeżeli  $F(x)$  jest równaniem profilu niecki osiadania, wówczas

$$K = \frac{1}{R} = \frac{F''(x)}{[1 + F'^2(x)]^{3/2}} \dots (15)$$

Opuszczając w powyższym równaniu wyrażenie  $F'^2(x)$ , którego wielkość jest mała i praktycznie nie przekracza wartości 0,03, równanie powyższe przedstawia autor w postaci uproszczonej:

$$K = F''(x) = \frac{1}{R} = 2 \cdot z_{max} \cdot x \frac{\pi}{r^3} \cdot e^{-\frac{\pi x^2}{r^2}} \dots (16)$$

— gdzie  $z_{max}$  — największa możliwa wielkość obniżenia

$r$  — tzw. zasięg wpływów głównych

$H = \frac{r}{\tan \beta}$  przy czym  $H$  — głębokość prowadzonej eksploatacji

$\beta$  — kąt zasięgu wpływów głównych

Zasięg wpływów głównych  $r$  dla danej głębokości eksploatacji  $H$  może być określony, jeżeli znany jest kąt  $\beta$ . Kąt  $\beta$  określony być może z kolei na podstawie pomiarów niwelacyjnych ukształtowanej już ostatecznie niecki, będącej wynikiem uprzedniej eksploatacji podziemnej w danej kopalni lub terenie sąsiednim o podobnej budowie geologicznej. Mierząc nachylenie stycznej profilu niecki w punkcie jej przegięcia ( $\tan \psi$ ) wyliczyć można wartość kąta  $\beta$  ze

$$\text{wzoru: } \tan \beta = \frac{H \cdot \tan \psi}{z_{max}} \dots (17)$$

Różniczkując równanie (16) i przyrównując do zera otrzymamy maksymalną wartość krzywizny.

$$K_{max} = \pm 1,52 \frac{z_{max} \cdot \tan^2 \beta}{H^2} \dots (18)$$

zachodząca dla  $x = 0,4 \cdot r$  od punktu przegięcia profilu niecki, który przy poziomym zaleganiu pokładu znajduje się nad granicą eksploatacji. Znak plus odpowiada krzywiznie wypukłej części niecki, wywołującej naprężenia rozciągające; znak minus — krzywiznie wklęsłej części niecki, wywołującej naprężenia ściskające.

Teoria powyższa wraz z ujęciem matematycznym odnosi się do pokładów leżących poziomo lub o kącie upadu w granicach 0—25°, a nawet więcej, oraz do eksploatacji w warunkach geologiczno-technicznych, gdzie powstająca pod wpływem eksploatacji podziemnej niecka obniżeniowa ma kształt regularnej linii ugięcia. Nie znajduje natomiast potwierdzenia w przypadku, gdy skały stropowe przecięte są płaszczynami dyslokacji oraz jeżeli nad pokładem leżą warstwy zwięzłych i mocnych piaskowców załamujących się dużymi blokami, co zwłaszcza przy eksploatacji na niedużych głębokościach powodować może na powierzchni powstawanie ostrych progów.

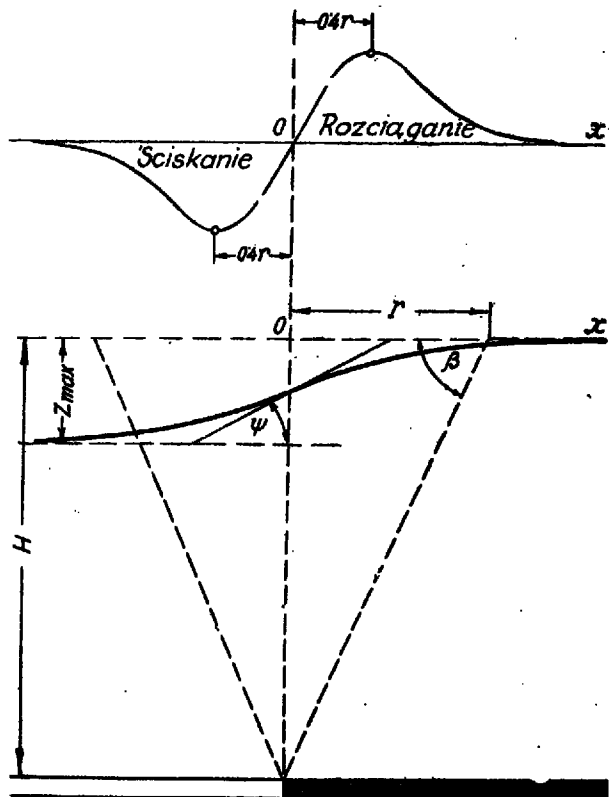
Według powyższej teorii przyjmuje się, że wypadkowa krzywizna w dowolnym punkcie profilu niecki obniżeniowej, będącej wynikiem eksploatacji kilku pokładów lub kilku warstw pokładu, jest sumą algebraiczną krzywizn, jakie zostałyby w tym punkcie spowodowane eksploatacją każdego pokładu lub każdej warstwy oddzielnie.

Można więc położenie frontów eksploatacji podziemnej pokładów lub warstw eksploatacyjnych usytuować w ten sposób, aby krzywizny, jakie występują w wyniku wybierania każdego pokładu lub każdej warstwy, wzajemnie się zniósły, nie przekracza-

jąc w sumie wartości dopuszczalnej, warunkowanej względami bezpieczeństwa chronionych na powierzchni obiektów. Jako dopuszczalną wartość maksymalnej krzywizny bezpiecznej nawet dla czułych obiektów powierzchniowych zaleca się wielkość

$$K_{max} = 20 \cdot 10^{-6} m^{-1} \dots (19)$$

co odpowiada najmniejszemu dopuszczalnemu promieniowi krzywizny  $R_{min} = 50$  km.



Ryc. 8

**Przykład.** Pod chronionymi na powierzchni obiektami leży pokład o znacznej grubości, którego wybranie jedną warstwą spowodowałoby nawet przy zastosowaniu podsadzki płynnej niebezpieczne skutki dla obiektów powierzchniowych. W myśl teorii należy pokład wybierać warstwami jak na rys. 9. Wyrzedza tu wybieranie warstwy dolnej o takiej grubości  $g$ , by maksymalna wartość krzywizny nie przekroczyła wielkości dopuszczalnej określonej wzorem (19). Grubość ta może być wyliczona z równań (18) i (19), przy czym  $z_{max} = a \cdot g$ , gdzie  $g$  = grubość pokładu,  $a$  = współczynnik osiadania, określony stosunkiem wielkości maksymalnego obniżenia terenu do grubości  $g$  wybranej warstwy.

$$K_{max} = 20 \cdot 10^{-6} = 1,52 \frac{z_{max} \cdot \tan^2 \beta}{H^2} = 1,52 \frac{g \cdot a \cdot \tan^2 \beta}{H}$$

$$g = 13,15 \cdot 10^{-6} \frac{H^2}{a \cdot \tan^2 \beta}$$

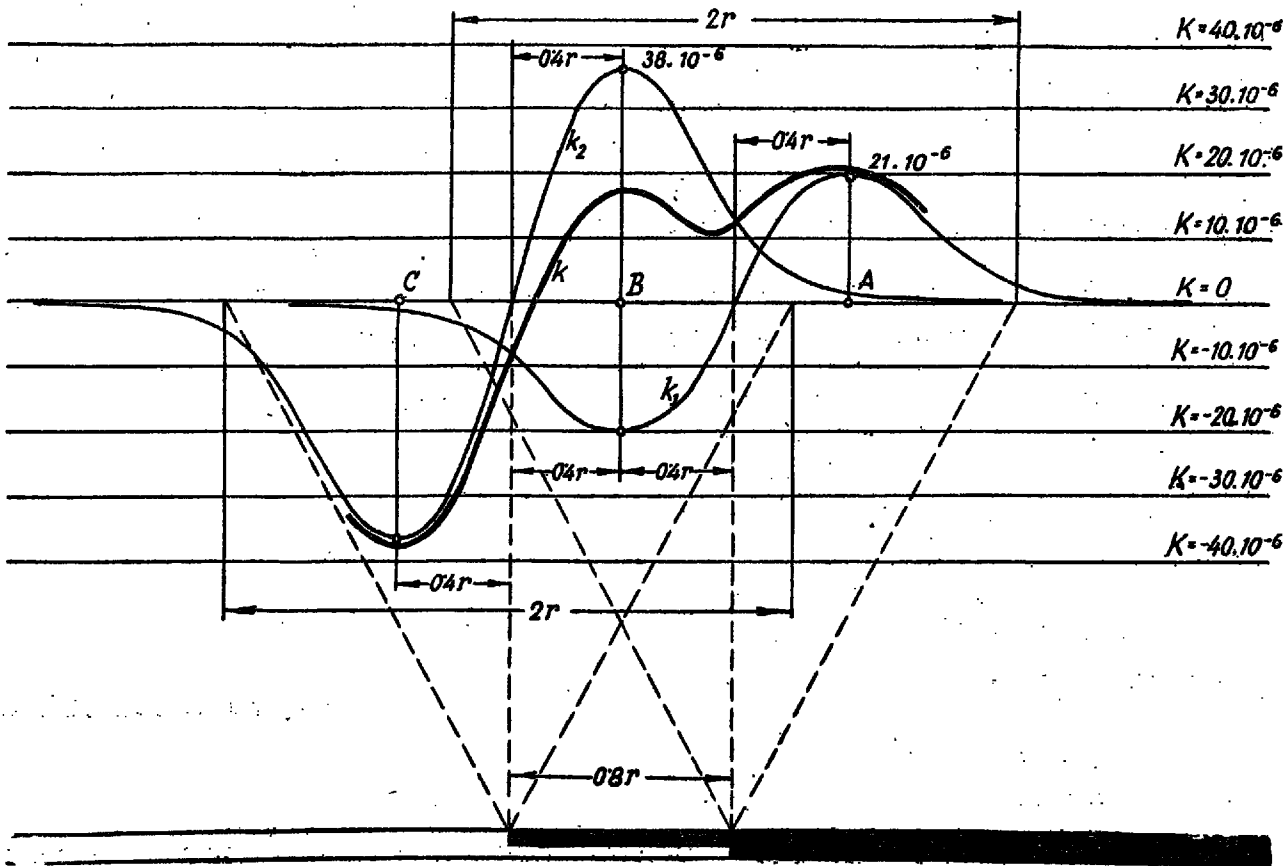
Wartości  $a$  i  $\beta$  przyjęto na podstawie dawniejszych pomiarów niwelacyjnych. Rozkład krzywizn wywołanych eksploatacją warstwy dolnej pokładu oznaczono na rys. 9 linią  $k_1$ . Warstwa druga, górna powinna być wybierana z takim opóźnieniem w stosunku do wyrzedzającej, aby największa krzywizna dodatnia profilu niecki obniżeniowej ( $k_2$ ), jaka powstałaby

w wyniku wybrania wyłącznie warstwy górnej, przypadła w punkcie odpowiadającym maksymalnej bezwzględnej wartości krzywizny ujemnej, wywołanej wybraniem warstwy dolnej. Odległość frontów wybierania powinna tu więc wynosić  $0,8r$ .

Wypadkowa krzywizna profilu niecki, jaka wytworzy się w wyniku jednoczesnego wybierania obu warstw ( $k$ ), jest sumą algebraiczną krzywych  $k_1$  i  $k_2$ . Jej wartość maksymalna dla wypukłej części krzywej nie przekracza bezpiecznej wartości  $K = 20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ , mimo że wyłączenie wybierania warstwy górnej spowodowałoby niewątpliwie uszkodzenie obiektów na powierzchni w odległości  $0,4r$  od granicy eksploatacji.

2) Druga warstwa lub pokład może powodować krzywizny co najwyżej dwukrotnie, a trzecia — trzykrotnie większe od warstwy pierwszej itd, co jednoznacznie jest z określeniem, że grubość drugiej warstwy może być dwukrotnie, trzeciej trzykrotnie większa niż grubość warstwy wyprzedzającej, jeżeli to oczywiście jest dopuszczalne z innych względów. Analogiczne założenia, z wyższym jeszcze stopniem bezpieczeństwa, odnieść można do grubości poszczególnych pokładów.

3) Maksymalna wartość dodatnia krzywizny wypadkowej nie powinna przekraczać dopuszczalnej i bezpiecznej wielkości.



Ryc. 9

We wklęsłej części niecki wpływy eksploatacji obu warstw nie będą się wprawdzie znosić, ze względu jednak na to, że obiekty są kilkakrotnie więcej wytrzymałe na ściskanie niż na rozciąganie, wartość tej krzywizny ujemnej nie będzie dla obiektów niebezpieczna. Ewentualnie można ją zmniejszyć przez wybieranie warstwy cieńszej w ślad za warstwą grubą.

Teoria ta znajduje również zastosowanie przy jednoczesnej eksploatacji kilku pokładów. Podobnie jak przy wybieraniu warstwami należy w tym przypadku tak usytuować fronty wybierania w poszczególnych pokładach, by wpływy wybierania jednego pokładu zmniejszały szkodliwy wpływ wybierania drugiego. Różnica przeliczeń polega jedynie na wprowadzeniu różnych wartości  $H$  dla wybieranych pokładów, przy czym odległość między dwoma frontami wybierania powinna wynosić  $0,4 \cdot (r_1 + r_2)$ , gdzie  $r_1$  i  $r_2$  są zasięgami wpływów głównych obu pokładów.

Przy projektowaniu robót przyjmować należy następujące wytyczne:

1) Grubość warstwy lub pokładu przodującego powinna być w ten sposób dobrana, aby maksymalna krzywizna profilu niecki osiadania, spowodowana wybieraniem tego pokładu (warstwy), nie przekraczała wartości dopuszczalnej  $K = 20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ .

4) Wielkości wyprzedzania się poszczególnych frontów wybierania powinny być dobrane w ten sposób, by maksymalne bezwzględne wartości krzywizn w ich częściach wklęsłych w pokładach lub warstwach wyprzedzających pokrywały się z maksymalnymi wartościami dodatnimi krzywizn wywołanych eksploatacją warstwy lub pokładów w ślad idących.

5) Ze względu na deformację powierzchni, kolejność wybierania pokładów nie zależy od głębokości ich zalegania. Pokłady, których eksploatacja wywołuje mniejsze deformacje, powinny wyprzedzać.

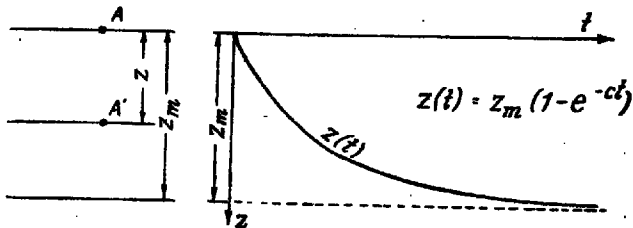
W rozważaniach dotychczasowych przy określaniu maksymalnej wartości krzywizny kształtującej się niecki osiadania pominięto wpływ prędkości posuwu frontu wybierania. Czynnikiem prędkości zmniejsza wielkość krzywizny, a tym samym deformacji terenu i wywołanych eksploatacją uszkodzeń. Pomijając w obliczeniach czynnik prędkości, uzyskuje się więc pewien współczynnik bezpieczeństwa, którego wartość jest tym większa, im większa jest prędkość posuwu frontu wybierania.

Oznaczając przez  $v$  prędkość posuwu frontu wybierania w metrach na rok, autor wyprowadza wzory na wielkości maksymalnych krzywizn:

$$K'_{max} = 1'52 \frac{z_{max}}{r^2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{cr}{v}}\right) \dots (20)$$

$$K''_{max} = -1'52 \frac{z_{max}}{r^2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{cr}{v}}\right)^2 \dots (21)$$

- gdzie  $K'_{max}$  — maksymalna wielkość krzywizny w wypukłej części niecki  
 $K''_{max}$  — maksymalna wielkość krzywizny we wklęsłej części niecki  
 $c$  — współczynnik zależny od rodzaju skał budujących górotwór a charakteryzujący prędkość osiadania terenu pod wpływem wybranej partii złoża.



Ryc. 10

Równania (20) i (21) wyprowadzono przy założeniu, że prędkość osiadania punktu A na powierzchni (ryc. 10) pod wpływem nagłego przesunięcia frontu wybierania jest proporcjonalna do różnicy między możliwym, ostatecznym obniżeniem punktu  $z_m$  a wielkością ob-

niżenia  $z$ , o jaką punkt już osiadł  $\frac{dz}{dt} = c \cdot (z_m - z)$

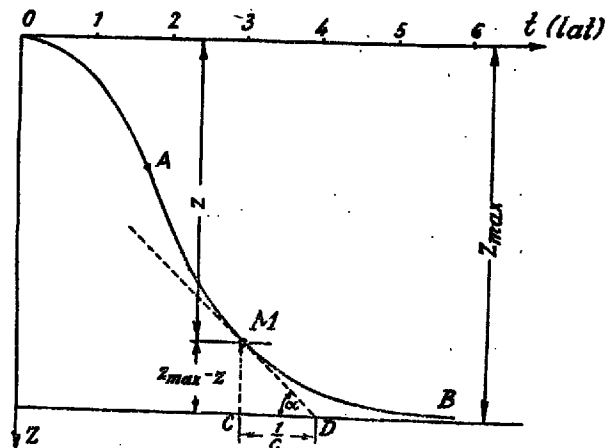
$z = z_m \cdot (1 - e^{-ct})$ . Dla określenia wartości  $c$  należy dla danego lub sąsiedniego o podobnej budowie geologicznej terenu sporządzić wykres osiadania punktu na powierzchni pod wpływem eksploatacji (ryc. 11). Odcinek krzywej AB odpowiada czasowi, gdy eksploatacja w zasięgu wpływów głównych od punktu została zakończona, to znaczy, że możliwe obniżenie  $z_{max}$  nie zmienia się już w czasie. Odpowiednikiem tej

części krzywej jest więc równanie  $\frac{dz}{dt} = c \cdot (z_{max} - z)$ .

osiadania punktu z danego terenu z kształtem krzywych osiadania wykreślonych dla różnych wartości  $c$  przy założeniu, że wykresy sporządzone są w jednokowych skalach (ryc. 12).

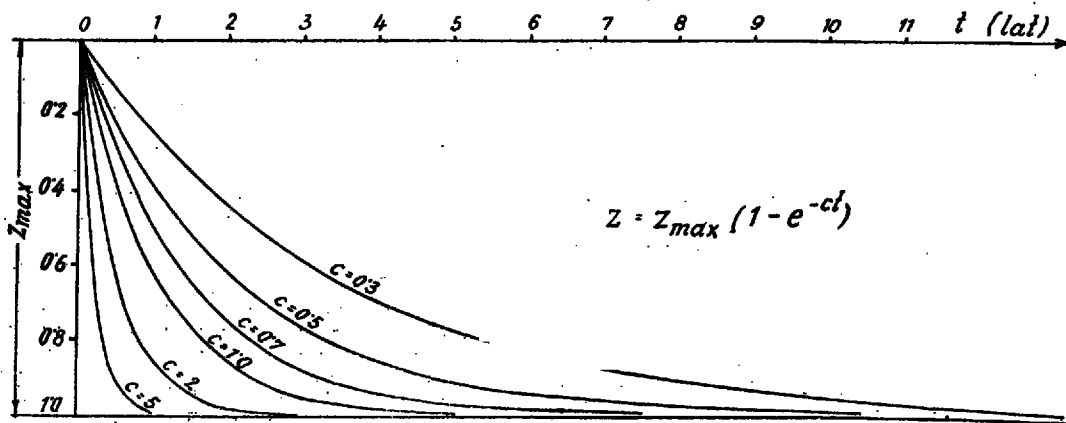
Jak wynika z przytoczonych rozważań, autorzy obu teorii na różnej drodze wyprowadzają wnioski, których efekty końcowe odniesione do zagadnień praktycznych w niektórych przypadkach pokrywają się, dając zgodne wyniki, w innych natomiast wykazują dość znaczne rozbieżności.

Należy ponadto podkreślić, pomijając analizę strony dowodowej obu teorii, że zakres ich stosowności jest różny. Teoria Kochmańskiego bowiem na podstawie osiadania i odkształceń właściwych pozwala obliczać wielkości deformacji terenu pod wpływem eksploatacji podziemnej, a następnie określić bezpieczną wielkość filarów ochronnych, gdy teoria Budryka i Knothego, poza określeniem wielkości de-



Ryc. 11

formacji terenu mierzonej wartością krzywizny i ewentualnie bezpiecznych filarów ochronnych [w artykule niniejszym tę stronę zagadnienia pominięto], wypracowuje nowe metody eksploatacji, które przy wyeliminowaniu czynnika strat stwarzają warunki bezpiecznej eksploatacji dla chronionych na powierzchni obiektów.



Ryc. 12

Ponieważ w dowolnym punkcie M tego odcinka krzywej dla stycznej w tym punkcie jest

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dz}{dt} \text{ więc } CD = t_2 - t_1 = \frac{z_{max} - z}{c \cdot (z_{max} - z)}$$

$$= \frac{1}{c} \text{ stąd } c = \frac{1}{t_2 - t_1} \text{ lat}^{-1}$$

Praktyczniejszym sposobem jest wyznaczanie współczynnika  $c$  przez porównanie dolnej części krzywej

Należy podkreślić, że metoda tej eksploatacji w oparciu o teorię Budryka i Knothego znalazła już zastosowanie na terenie polskiego zagłębia węglowego i z jednej strony przynosi gospodarce narodowej olbrzymie oszczędności, z drugiej zaś strony jej wyniki dotychczasowe są zgodne z teorią.

Nie należy przez to rozumieć, że problem szkód górniczych został ostatecznie rozwiązany. Stosowność bowiem teorii uwarunkowana jest ściśle określonymi warunkami geologicznymi, których zróżnicowanie dla polskiego zagłębia węglowego jest duże.



Zarówno teoria Kochmańskiego, jak Budryka i Knotheo uwzględnia te warunki. W teorii Kochmańskiego znajduje to wyraz w wielkości parametru  $r_0$  czy wartości funkcji  $f(R)$ , w teorii zaś Budryka i Knotheo w zasięgu kąta wpływów  $\beta$  oraz wartości współczynnika  $c$ .

W związku z tym wydaje się słuszne i celowe, aby zasadami obu wymienionych teorii zainteresowali się geolodzy pełniący służbę w kopalniach. Ich praca w zakresie dokładnej obserwacji i rejestrowania warunków geologiczno-technicznych w kopalniach scharmonizowana z obserwacjami mierniczymi przynieść może w efekcie dalszy przyczynek dla dotychczasowych osiągnięć.

#### LITERATURA

1. Budryk W. — Nowa metoda wyznaczania filarów ochronnych przy małym upadzie pokładów. „Przegląd Górniczy” 1951, z. IX.
2. Budryk W., Knothe S. — Wpływ eksploatacji podziemnej na powierzchnię z punktu widzenia zabezpieczenia obiektów. „Przegląd Górniczy” 1950, z. XI.
3. Klenczar T. — Szkody Górnicze, Katowice 1952.
4. Knothe St. — Prędkość wybierania pokładów a odkształcenia powierzchni. „Przegląd Górniczy” 1952, z. X.
5. Knothe St. — Wpływ budowy i eksploatacji tunelu na powierzchnię. „Przegląd Geodezyjny” 1952, z. IX.
6. Knothe St. — Zmniejszenie wpływów eksploatacji podziemnej na powierzchnię. „Przegląd Górniczy” 1951, z. X.
7. Kochmański T. — Przesunięcia terenu w pionie pod wpływem odbudowy górniczej. „Hutnik”, 1949, z. VII—VIII.
8. Kochmański T. — Wyznaczanie filarów ochronnych dla budynków w zależności od odkształceń właściwych grożących terenowi pod wpływem eksploatacji górniczej. PAN Konf. dot. Mech. Grunt. i Fundam. 1955.