

Mirosław CHUDEK  
Lucjan STEFAŃSKI

WPLYW OBCIĄŻEŃ WYSTĘPUJĄCYCH NAD PRZESTRZENIĄ ZAWAŁOWĄ  
NA ZACHOWANIE SIĘ GÓROTWORU I POWIERZCHNI

**Streszczenie.** Na podstawie badań modelowych przeprowadzonych w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej w Gliwicach [2] i opracowanej metody prognozowania obciążeń [3], [4] występującymi nad przestrzenią zawałową, uwzględniając naturalne geotechniczne parametry skał karbońskich i warstwową budowę górotworu, określono wpływ eksploatacji na warstwy wyżej zalegające w granicach tej eksploatacji jak również wpływ sił rozciągających działających w warstwach deformowanych na górotwór nienaruszony stanowiący granice zatrzymanego frontu górniczego. Określono wielkość kąta  $Z_n$  niszczenia warstw stropu bezpośredniego przechodzących w zawał częściowy, pełny  $Z_p$  (rys. 3 do 9); kąta  $Z$  zasięgu deformacji warstw przy eksploatacji zawałowej sięgający do górnej części półki bezpieczeństwa  $m_1$  utrzymującej czasową równowagę obciążeń w otoczeniu przestrzeni zawałowej (rys. 9 i 10a); kąta  $U_0$  (rys. 9) deformacji warstw nadległych nad wybranym pokładem na zawał w wyniku zwiększenia się kąta  $Z$ , aż do powierzchni ziemi po długim okresie czasu. Przebieg deformacji warstw pod kątem  $U_0$  przemieszcza się sukcesywnie za postępującym frontem; kąta  $f$  zasięgu wpływów eksploatacji na górotwór nienaruszony po upływie dostatecznie długiego okresu czasu przy zatrzymanej eksploatacji. Wyprowadzono wzory pozwalające określić kształty i wielkości filarów ochronnych obiektów powierzchniowych i podziemnych, a także wzory na obliczanie wskaźników odkształceń pionowych, poziomych terenu oraz jego nachyleń.

## 1. WSTĘP

Stosowany dotychczas do prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na górotwór i powierzchnię kąt zasięgu  $tg\beta$  określony został w teorii St. Knothego [5], [9] przy założeniu jednorodności górotworu bez uwzględnienia bezpośrednio jego naturalnych parametrów, jak: wytrzymałość skał karbońskich, gęstość przestrzenna, ciśnienie panujące na dużej głębokości eksploatacji, stosunku grubości warstw deformowanych nad powstającą pustką po wybraniu części pokładu do warstw nienaruszonych, kąt nachylenia warstw itp.

Parametry te jak wykazały badania modelowe [2], [8] oraz wyniki pomiarów stref zawałowych i wysokości zawałów częściowego, pełnego i wysokiego dokonywanych na kopalniach [11] – są decydującymi w mechanizmie deformacji warstw nadległych nad częścią wybieranego pokładu na zawał [3], [4].

Zasięg wpływu eksploatacji wg teorii W. Budryka - St. Knothego można określić z zależności:

$$r(z) = r_p \left( \frac{z}{H} \right)^n, \quad (1)$$

gdzie:

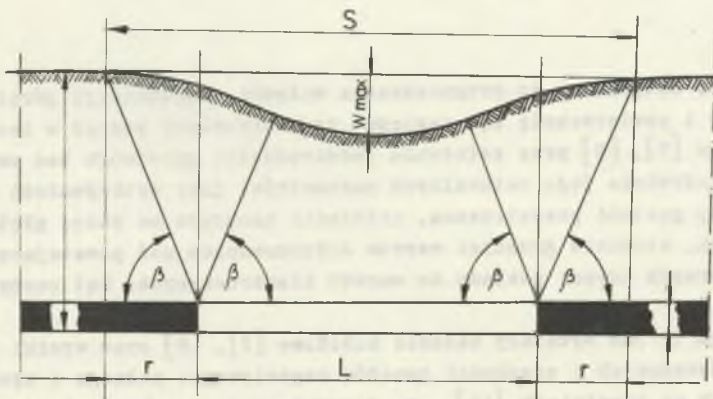
- $r(z)$  - zasięg wpływów głównych eksploatacji w odległości  $z$  od prowadzonej eksploatacji pokładu,
- $r_p$  - zasięg eksploatacji na powierzchnię  $r_p = \frac{H}{\sqrt{2\pi}}$ ,
- $z$  - współrzędna pionowa punktu nad prowadzoną eksploatacją,
- $n$  - parametr teorii  $\sqrt{2\pi} \cdot \text{tg } \beta$ .

W pracy [5] udowodniono, że wartość parametru teorii wpływów jest mniejszy od pierwotnie założonej dla stosowności wzoru (1) i wynosi  $n = 0,665$ , a według badań St. Knothego  $n = 1,3$ .

Analizując parametr  $n$  za pomocą kąta wpływów jako funkcji naturalnych parametrów górotworu określonego w niniejszej pracy można wnosić o jego zmienności i wzrastającej wartości wraz z głębokością.

Podstawą teorii wpływów (St. Knothego) jest krzywa Gaussa, do której swym kształtem zbliżona jest niecka osiadania terenu na powierzchni w otoczeniu krawędzi eksploatacji. Podobieństwo to wykorzystane zostało do wprowadzenia wzorów opisujących deformację górotworu i powierzchni przy następujących założeniach:

- model górotworu jednorodny, izotropowy, nieważki,
- rozchodzenie się zasięgu wpływów eksploatacji na górotwór i powierzchnię przebiega według linii prostej poprowadzonej pod stałym kątem,
- zasięg wpływów eksploatacji identyczny w górotworze naruszonym i nienaruszonym (rys. 1),

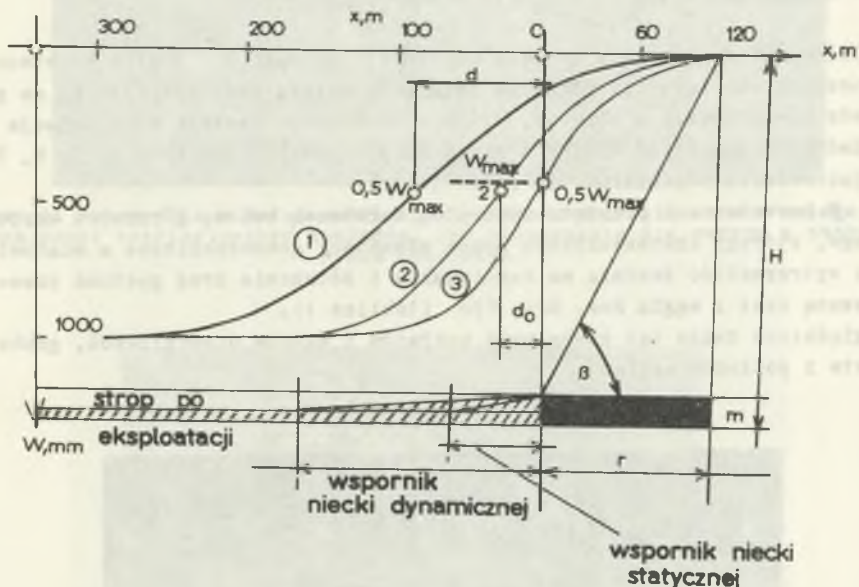


Rys. 1. Kąt zasięgu w górotworze naruszonym i nienaruszonym według teorii St. Knothego wpływ eksploatacji na powierzchnię

- punkt przegięcia krzywej osiadania znajduje się nad krawędzią pokładu lub zatrzymanego frontu górniczego.

Wyniki pomiarów 37 niecek osiadania [10] wskazują na pewną rozbieżność prognozowanych wskaźników deformacji terenu w stosunku do obserwowanych. Stąd istnieje potrzeba aktualizowania teorii wpływów o czynniki decydujące i rzeczywisty mechanizm deformacyjno-naprężeniowy [2], [3], [4], [8], [13]. Tak np. w pracy [13] uwzględniono działanie wspornika skalnego na przesunięcie punktu przegięcia krzywej profilu niecki w stosunku do krawędzi pokładu (rys. 2).

$$d_0 = (0,1 - 0,15) \cdot H \quad (2)$$



Rys. 2. Wykresy pełnych nie ustalonych i ustalonych niecek osiadania z uwzględnieniem tzw. pola wspornikowego [13]

1) niecka dynamiczna, 2) niecka statyczna praktyczna, 3) niecka statyczna teoretyczna

$d_0$  - przesunięcie punktu przegięcia niecki statycznej  $d$  - przesunięcie punktu przegięcia niecki dynamicznej

Wartość kąta zasięgu deformacji warstw jak wynika z prac [1], [4], [2], [9], [3], [8], [13] zależy od wielu czynników, a więc od: warstwowej budowy karbonu i nadkładu, wytrzymałości skał na rozciąganie, ściskanie, gęstości przestrzennej, ciśnienia pierwotnego, grubości wybieranej warstwy węgla, kąta nachylenia i czasu przebiegu deformacji. Na te czynniki

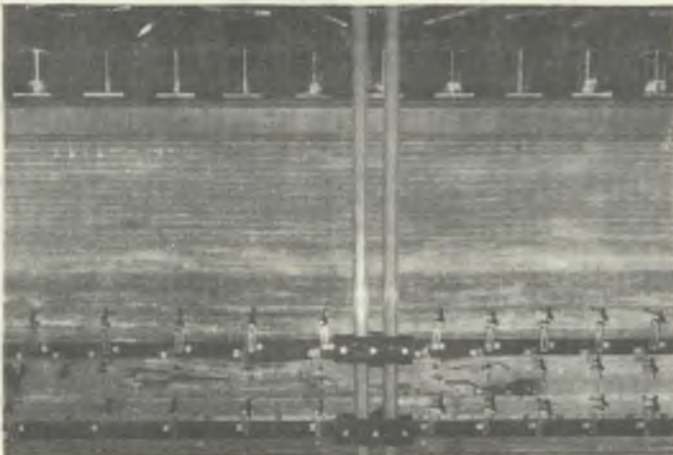
zwrócono uwagę w pracach [2] i [8] zaś w pracy [3] i [4] podano mechanizm deformacji warstw zalegających nad powstającą pustką po wybranej części pokładu na zawał i na tej podstawie oraz wyników badań modelowych wprowadzono zależność matematyczne opisujące zjawisko zachodzące w otoczeniu wyrobiska zawałowego. Wykorzystując pracę [2] zależności [3] i [4] podano w niniejszej pracy kąt  $f$  deformacji górotworu naruszonego eksploatacją górniczą oraz kąty zasięgu wpływów głównych na powierzchnię jako funkcje naturalnych parametrów górotworu i ciśnienia. Rozważania te stanowią podstawę dla przedstawienia oryginalnej metody wyznaczania filarów ochronnych obiektów powierzchniowych i podziemnych.

## 2. PODSTAWY MECHANIZMU DEFORMACJI WARSTW STROPOWYCH W OTOCZENIU PUSTKI PO WYBRANYM ZŁOŻU

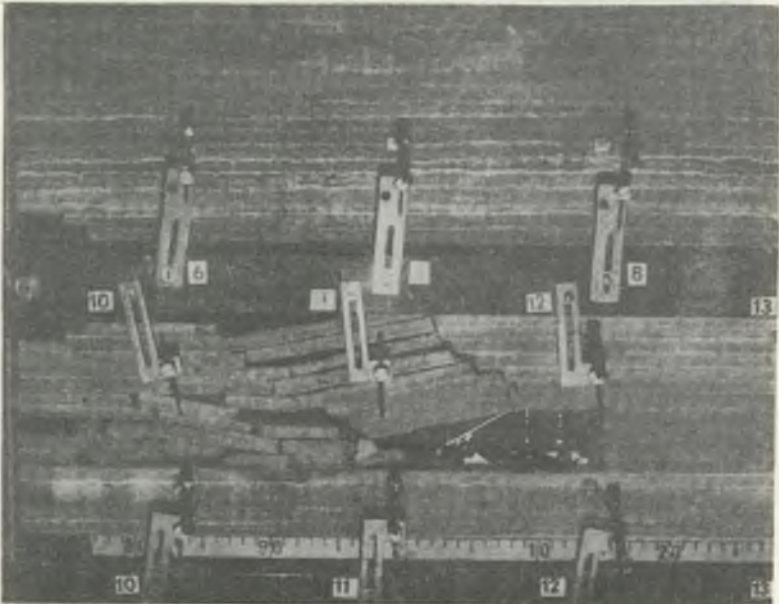
Celem określenia kąta zasięgu deformacji z (rys. 9 i 10a) w górotworze naruszonego eksploatacją górniczą oraz kąta wpływu eksploatacji  $f$  na górotwór nienaruszony w obrębie, którego zatrzymana została eksploatacja pokładów wykorzystano wyniki z badań modelowych [2] (rys. 3, 4, 5, 6, 7, 8) jak również z pomiarów "in situ" [11].

W rozważaniach przyjęto naturalną warstwową budowę górotworu karbońskiego, którego charakteryzują znane własności geomechaniczne a mianowicie: wytrzymałość średnia na rozciąganie i ściskanie oraz gęstość przestrzenną skał i węgla  $R_c$ ,  $R_r$ ,  $T_r$  (tablica 1).

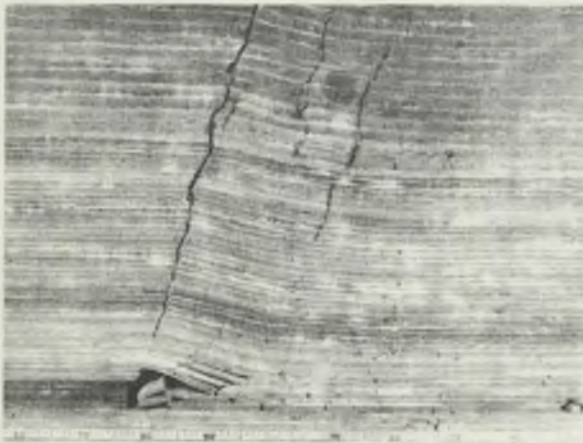
Uwzględniono także kąt nachylenia pokładów i warstw niewęglowych, grubość warstw i pokładów węgla.



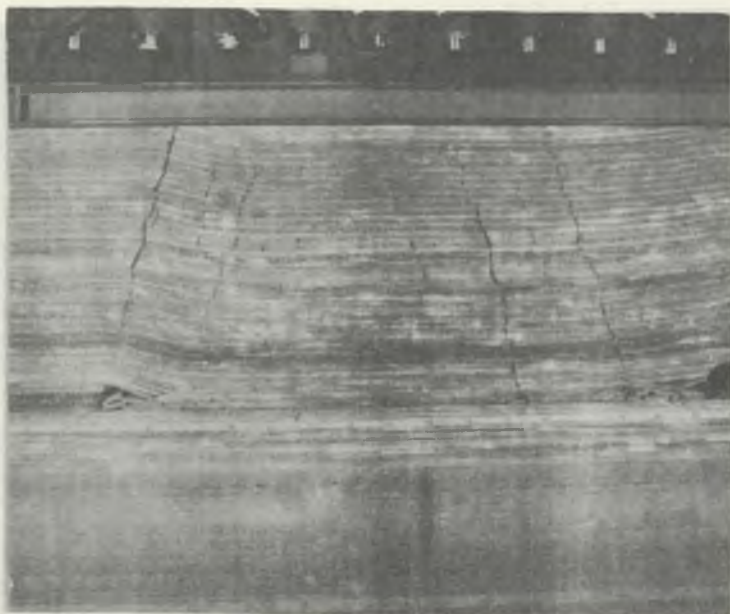
Rys. 3. Stosiko do badań modelowych



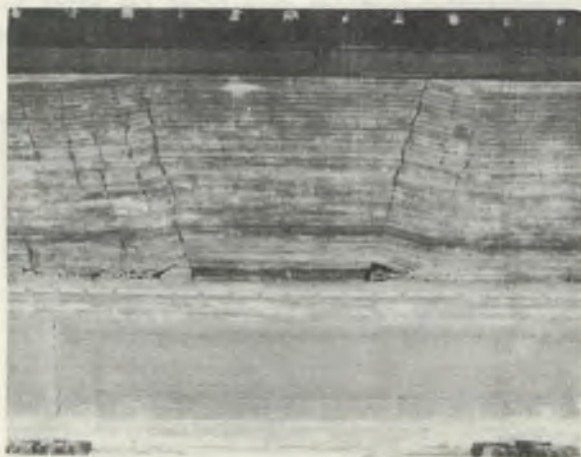
Rys. 4. Fotografia z badań modelowych - załamywanie się warstw zalegających ponad eksploatowanym pokładem, kąt załamania się warstw w otoczeniu wspornika



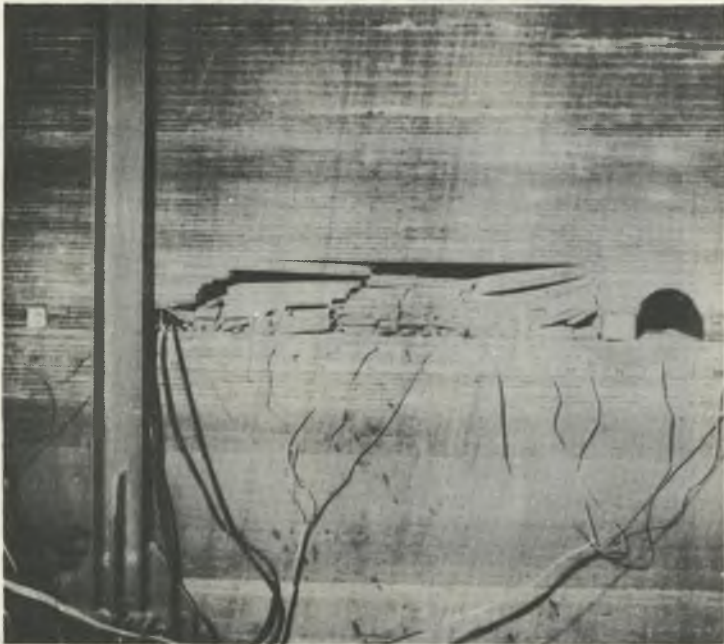
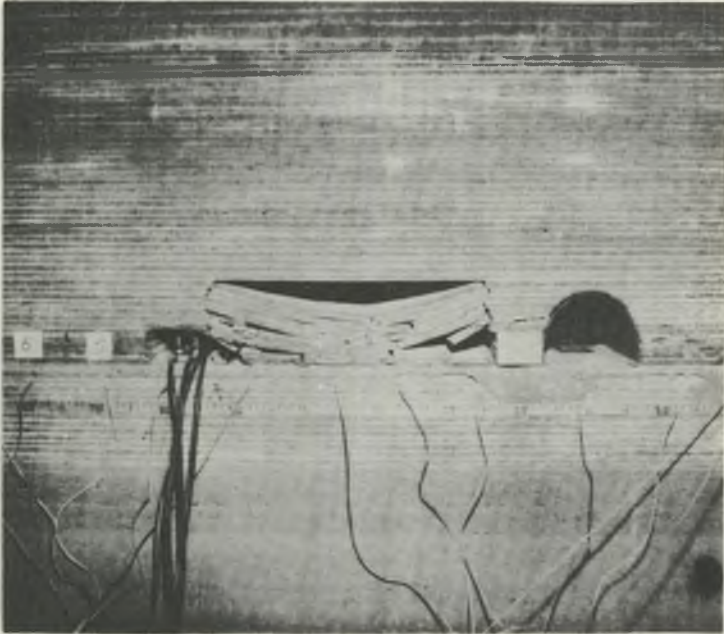
Rys. 5. Fotografia z badań modelowych załamania się górotworu przy warstwowej budowie i zatrzymanym froncie eksploatacji



Rys. 6. fotografia z badań modelowych deformowania się warstw górotworu wraz z kątami załamania się warstw po zakończeniu eksploatacji



Rys. 7. Fotografia z badań modelowych deformowania się warstw górotworu z kątami załamania się warstw przy pozostawieniu resztki pokładu



Rys. 8. Fotografie z badań modelowych załamywania się warstw przy rozpoczynaniu eksploatacji z zawałem stropu

a)  $H = 200$  m, zabiór 11-ty, b)  $H = 200$  m, zabiór 11-ty



Rys. 8. Fotografie z badań modelowych załamywania się warstw przy rozpoczynaniu eksploatacji z zawałem stropu

c)  $H = 400$  m, zabiór - 6-ty, d)  $H = 500$  m, zabiór - 7-ty





Rys. 8. Fotografie z badań modelowych załamywania się warstw przy rozpoczynaniu eksploatacji z zawałem stropu  
e)  $H = 600$  m, zabiór - 10-ty

Tablica 1

Średnie wartości wytrzymałości skał karbońskich w GZW wg GIG

Lp.	Skały karbońskie	Rcś MPa	Rrs MPa	$\bar{\sigma}_{sr}$ kN/m <sup>3</sup>
<b>a. Grupy stratygraficzne</b>				
1	Łaziska-Libiążka 100/200	18,2	0,9	21,1
2	Orzeska 300	65,1	3,35	22,4
3	Rudzka 400	50,0	2,70	23,0
4	Siodłowa 500	75,0	4,30	22,7
5	Brzeźna 600	75,6	4,80	23,7
<b>b. Rodzaje skał</b>				
1	Zlepieniec	77,8	3,8	24,5
2	Piaskowiec gruboziarnisty	84,7	4,7	24,7
3	Piaskowiec średnio i drobnoziarnisty	80,3	3,9	24,8
4	Mułowiec	37,2	2,6	24,6
5	Iłowiec	48,0	3,3	25,0
6	Węgiel	13,7	0,7	13,1

Według danych statystycznych MGIE istnieje w GZW proporcja pomiędzy ilością i grubością warstw niewęglowych  $m_g$  i ilością, i grubością warstw węglowych  $m_w$ , od której zależy przebieg deformacji górotworu i powierzchni [12] stosunek ten wynosi:

$$m_g = 0,9 \cdot H, \quad m_w = 0,1 \cdot H, \quad (3)$$

gdzie:

$H$  - głębokość eksploatacji (karbon do 1000 m).

Średnia wartość wytrzymałości warstw karbońskich [3], [4], [12] wynosi:

$$20 Rrs = Rcs \quad (4)$$

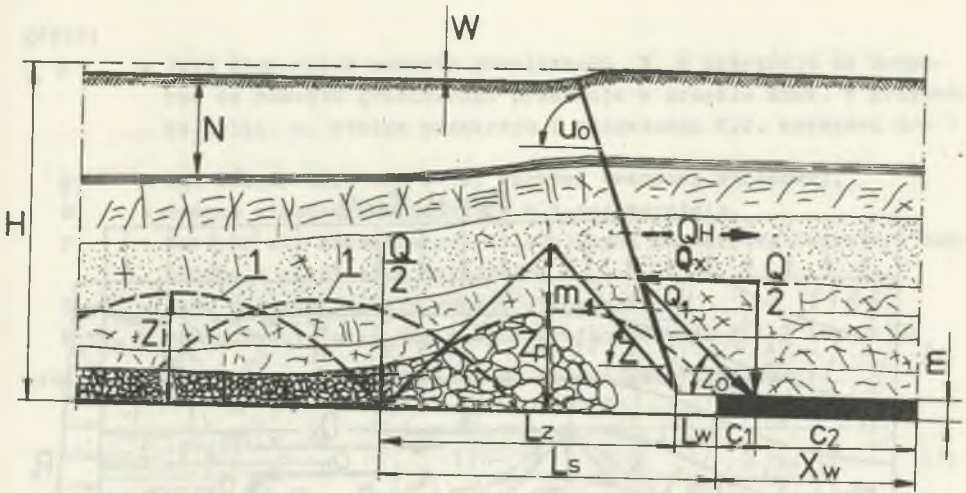
$$Rcs = 6 Rcw \quad (5)$$

Warstwy karbońskie o wytrzymałości średniej  $Rcs$ ,  $Rrs$  zalegające nad powstałą pustką po wybranej części pokładu o grubości  $m$  na długości wybiegu ściany  $x_i$  i szerokości frontu  $y_i$  (rys. 9, 10) ulegają pod wpływem sił ciężenia przemieszczeniu w kierunku pustki o objętości:

$$V_w = m \cdot x_i \cdot y_i \quad (6)$$

Aby nastąpiło przemieszczenie warstw górotworu w kierunku przestrzeni  $V_w$  konieczne jest załamanie się poszczególnych warstw lub kompleksu warstw tworzących strop zasadniczy i bezpośredni (rys. 8), a przy długim wybiegu frontu eksploatacyjnego również załamanie i osiadanie warstw nadległych aż do powierzchni (rys. 6 i 7) terenu.

Warstwy zalegające bezpośrednio nad pokładem wybieranym na zawał już przy nieznacznym wybiegu ściany od jej rozruchu ulegają pod wpływem działania momentu niszczącego  $M_{max}$  spękanom (rys. 8), a następnie przy dalszym posuwie przodka kolejnym deformacjom (załamanom) przechodząc w zawał częściowy i pełny oraz wysoki. Zwiększenie wybiegu ściany powoduje wydłużenie belki (płyty) jaką jest warstwa (warstwy) stropu bezpośredniego (rys. 10), a tym samym zwiększenie obciążenia  $q_i \cdot x_i$  do momentu, gdy nośność belki o przekroju prostokątnym  $m_1$ ,  $y_i$  i średniej wytrzymałości na ściskanie  $Rcs$  oraz na rozciąganie  $Rrs$  zostanie wyczerpana. Powstaną wtedy trzy przeguby plastyczne jako wynik mechanizmu zniszczenia (rys. 10a). Korzystając z zasady prac wirtualnych [15] można dla schematu obciążeń pokazanego na rys. 10a określić maksymalny moment graniczny niszczący  $M_{max}$ , który pojawia się gdy całkowita praca sił zewnętrznych  $\delta L$  na przemieszczeniach wirtualnych  $d_w$  będzie zużyta w procesie odkształcenia plastycznego belki (płyty) i przewyższy swoją wartością pracę sił wewnętrznych  $\delta V$  na przemieszczeniach wirtualnych  $d_w$ .



Rys. 9. Układ obciążeń i główne wymiary wyrobiska zawałowego [3, 4]

$X_w$  - strefa zwiększonych ciśnień przed frontem ściany,  $C_1$  - odległość maksymalnych naprężeń przed frontem ściany  $q_1 = \frac{p_z}{2}$  - obciążenie nad sklepieniem parabolicznym wywołane ciśnieniem,  $p_z$  na długość  $L_s$  -  $N$  - zachowanie się nadkładu  $i$ -tego zawału w czasie postępu frontu eksploatacyjnego,  $Z_D$  - zawał pełny, 1 - wędrujące za postępu frontu eksploatacyjnego czasowe sklepienie ciśnien,  $U_0$  - kąt wpływu eksploatacji na górotwór naruszony przy czynnym froncie eksploatacji

Przyjmując, że w górotworze obciążeniem granicznym jest obciążenie jednostajne  $q_1 = P_z \cdot y_1$  działające nad osłoniętą warstwą węglową przez wybieranie pokładu na długości  $x_1$ , wartość pracy sił zewnętrznych  $\delta L$  i pracy sił wewnętrznych  $V$  przy przemieszczeniach wirtualnych  $d_w$  wynosi:

$$L = \sum_{i=1}^n P_i \cdot d_{wi} = q_1 \cdot x \cdot \frac{1}{2} d_w + q_1 \cdot (x_1 - x) \cdot \frac{d_w}{2} = \frac{q_1 \cdot x_1 \cdot d_w}{2}$$

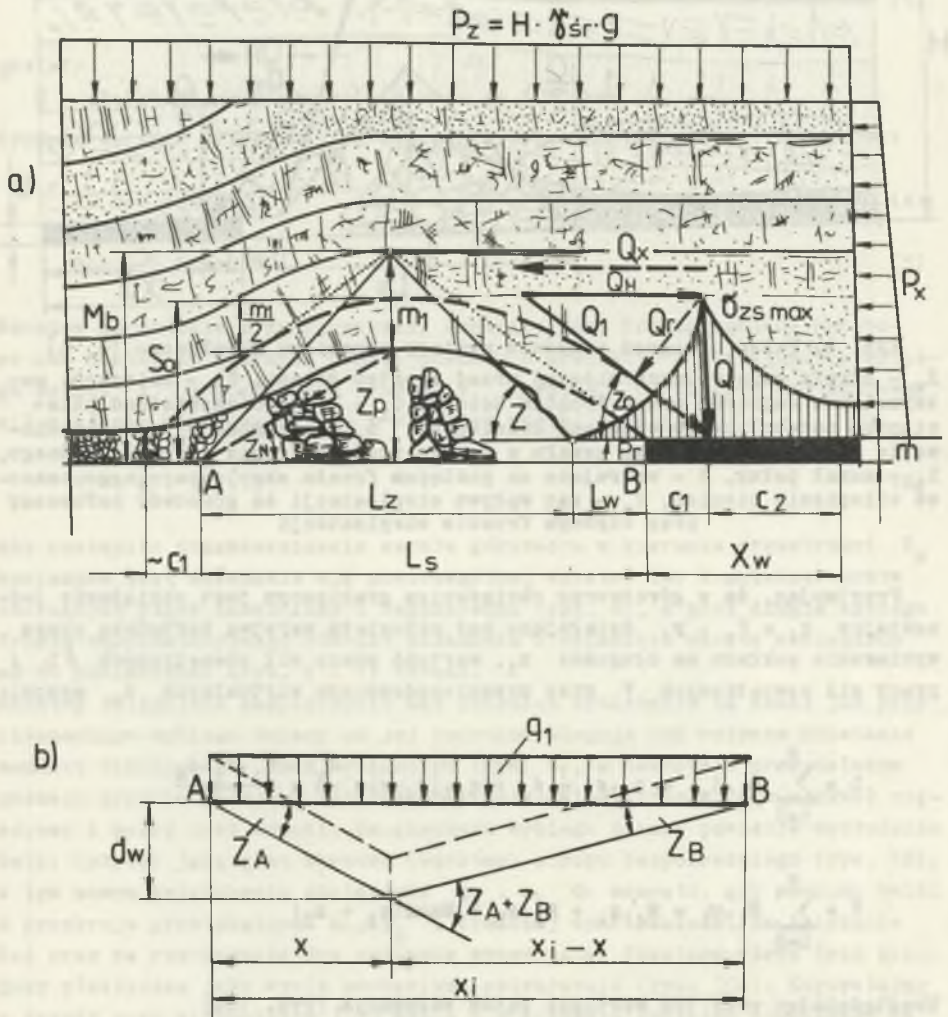
$$V = \sum_{i=1}^n M_i \cdot \varphi_i = M_A \cdot z_A + M_B \cdot z_B + M_{max}(z_A + z_B)$$

Uwzględniając przy tym wartości kątów załamania (rys. 10b)

$$\operatorname{tg} z_A = \frac{d_w}{x} = z_A, \quad \operatorname{tg} z_B = \frac{d_w}{x_1 - x} = z_B$$

oraz

$$M_A = M_B = M_{max} \cdot \lambda,$$



Rys. 10. Deformacje warstw stropowych

a) obciążenia i naprężenia występujące w otoczeniu krawędzi pokładu wybieranego na zawal, b) schemat do obliczeń załamywania się warstw stropowych

gdzie:

- $\lambda$  - jest stosunkiem momentu granicznego  $M$  w przekroju na podporze do momentu granicznego przekroju w przęśle  $M_{max}$ . W przypadku belki o stałym przekroju i sztywności  $EJ$ , wartości  $\lambda = 1$
- $\varphi_1$  - kąt załamywania się  $i$ -tej warstwy (warstwy stropowej,
- $M_1$  - moment niszczący działający w  $i$ -tej warstwie,
- $P_1$  - wartość sił zewnętrznych działających na warstwę (warstwy) karbońską w stropie na odległości  $X_1$ ,
- $Z_A, Z_B$  - kąty załamywania się warstw stropowych,
- $M_A, M_B$  - momenty działania sił w stosunku do reakcji A i B (rys. 10)

ostatecznie wartość momentu granicznego przedstawia zależność:

$$M_{max} = \frac{q_1 \cdot x \cdot (x_1 - x)}{2 \cdot (1 + \lambda)} \quad (7)$$

Wartość maksymalna momentu granicznego wystąpi w miejscu  $x$  spełniającym warunek:

$$\frac{dM_{max}}{dx} = 0 \quad \text{oraz} \quad \frac{d^2 M_{max}}{dx^2} < 0$$

Wyrażenie (7) osiąga maksimum dla  $x = \frac{x_1}{2}$ .

Wartość momentu granicznego wówczas wyniesie:

$$M_{max} = \frac{q_1 \cdot x_1^2}{16} \quad (8)$$

Zniszczenie warstw stropowych nad powstałą pustką po wybranej części pokładu nastąpi, gdy:

$$M_{max} = \frac{q_1 \cdot x_1^2}{16} > W_x \cdot R_g \quad (9)$$

Dla belek o znacznym przekroju poprzecznym i różniących się wytrzymałościami na ściskanie  $R_{cs}$  i rozciąganie  $R_{rs}$  w miejsce wytrzymałości na zginanie  $R_g$  należy uwzględnić warunki:

$$M_{max} \leq W_{x1} \cdot R_{cs} \quad \text{oraz} \quad M_{max} \leq W_{x2} \cdot R_{rs} \quad (10)$$

Wskaźnik wytrzymałości górnej części przekroju poprzecznego warstwy  $m$  ze względu na symetrię  $W_{x1}$  równy jest wskaźnikowi dolnej części przekroju  $W_{x2}$  i w stosunku do osi obojętnej wynosi:

$$W_{x1} = W_{x2} = \frac{q_1 \cdot m_1^2}{12} \quad (11)$$

Uwzględniając zależności (10) i (11) ostatecznie warunek równowagi obciążeń i momentu niszczonego w warstwie stropowej o grubości  $m_1$  (rys. 6) [4] określa zależność:

$$M_{\max} = \frac{q_1 \cdot x_1^2}{16} = \frac{y_1 \cdot m_1^2}{12} \cdot (R_{cs} + R_{rs})$$

$$M_{\max} = \frac{q_1 \cdot x_1^2}{8} = \frac{y_1 \cdot m_1^2}{6} \cdot (R_{cs} + R_{rs}) \quad (12)$$

Wartość  $M_{\max}$  (12) jest wartością momentu występującego w belce wolnopodpartej obciążonej jednostajnie, któremu ulegają warstwy nadległe nad powstającą pustką  $v_1$  sięgając aż do powierzchni terenu w wyniku czego powstaje niecka niepełna, pełna i zupełna.

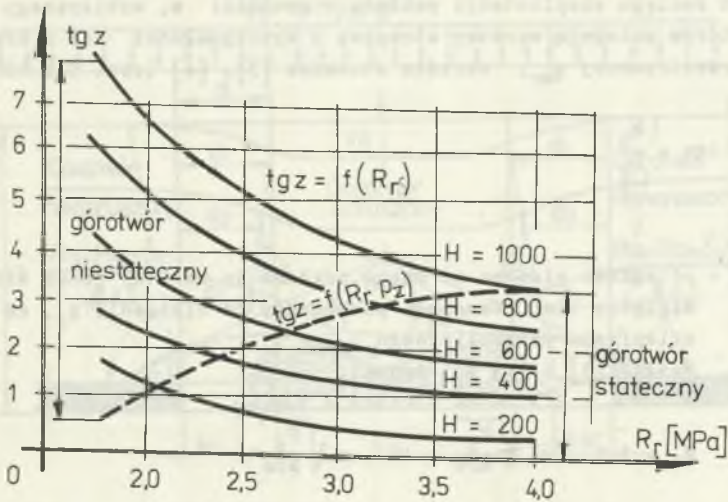
Jeżeli  $M_{\max} < W_x \cdot (R_{cs} + R_{rs})$  wówczas deformacja warstw może zatrzymana być na odpowiedniej odległości pionowej  $z_1$  (rys. 9) od spągu wybranego pokładu na zawał, ponad którą warstwę (warstwy) o grubości  $m_1$  utrzymywać będą względny czasowy stan równowagi obciążeń i naprężeń przejmując pierwotne ciśnienie  $p_z$  górotworu nadległego (rys. 10a).

Omawiany zasięg wpływu eksploatacji występujący w górotworze naruszonym ilustrują fotografie deformacji warstw zalegających nad wybraną częścią pokładu systemem zawałowym (rys. 4, 5, 6, 7, 8) wykonane na podstawie badań modelowych w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej przy użyciu materiałów ekwiwalentnych [2] i ciśnienia górotworu dla głębokości 200 m, 400 m, 500 m i 600 m. Zagadnienie to także omawia praca [13]. Kąt załamywania się warstw stropu przechodzących w zawał mieści się w wąskim przedziale a maksymalna jego wartość wynosi  $33^\circ$  dla zawału w przypadku słabych skał stropowych. Kąt zniszczenia warstw stropu  $Z_n$  określa wysokości zawału pełnego  $Z_p$  (rys. 9 prosta 3).

Kąt  $Z$  deformacji warstw nadległych nad powstałą pustką (rys. 9) jest kątem zasięgu wpływów eksploatacji zawałowej w obszarze nieograniczonym, a po dostatecznie długim czasie za postępującym frontem osiąga wartość kąta  $U_0$  (rys. 9).

Odległość punktu przegięcia krzywej osiadania w górotworze zmienia się rosnąco w kierunku powierzchni pod kątem  $\text{tg} \alpha$  w zależności od wytrzymałości warstw za postępującym frontem eksploatacji mieści się w przedziale  $60^\circ$  do  $78^\circ$  (rys. 7, 6 i 11).

Przebieg załamywania się warstw nie jest prostoliniowy na co wskazują obserwacje z badań modelowych (rys. 11b) i co wynika ze wzoru (13) przy zmiennej wytrzymałości poszczególnych deformowanych warstw (rys. 11a).



Rys. 11. Zmienność kąta deformacji w górotworze naruszonym

Warstwy karbońskie i nadkład zalegające pomiędzy granicami eksploatacji (rys. 11) ulegają wydłużeniu po przekroczeniu wytrzymałości na rozciąganie  $R_{rs}$  pod wpływem obciążenia jednostajnego (18).

### 3. OKREŚLENIE KĄTA ZASIĘGU DEFORMACJI WARSTW

Przebieg deformacji warstw górotworu zalegających nad powstałą pustką po wybranej części pokładu na zawał, jak wynika z przeprowadzonych obserwacji dołowych badań modelowych i rozważań teoretycznych określają następujące kąty (rys. 9):

- $Z_n$  - jest to kąt niszczenia warstw stropu bezpośredniego przechodzących w zawał częściowy i pełny  $z_p$  (rys. 3-9),
- $Z$  - jest to kąt zasięgu deformacji warstw przy eksploatacji zawałowej sięgający do górnej części półki bezpieczeństwa ( $m_1$ ) utrzymującej czasową równowagę obciążeń w otoczeniu przestrzeni zawałowej (rys. 9 i 10a),
- $U_0$  - jest to kąt deformacji warstw nadległych nad wybranym pokładem na zawał powstający w wyniku zwiększania się kąta  $z$  aż do powierzchni po długim okresie czasu. Przebieg deformacji warstw pod kątem  $U_0$  przemieszcza się za postępującym frontem, co potwierdza również praca [16],
- $f$  - jest to kąt zasięgu wpływów eksploatacji na górotwór nienaruszony po upływie dostatecznie długiego okresu czasu przy zatrzymanej eksploatacji.

Kąt zasięgu eksploatacji pokładu o grubości  $m$ , wybieranego na zawał, nad którym zalegają warstwy stropowe o wytrzymałości  $Rcs$  i  $Rrs$  o gęstości przestrzennej  $\gamma_{sr}$ , określa stosunek [3], [4] (rys. 9 i 10).

$$\operatorname{tgz} = \frac{M_b}{\frac{L_z}{2}} \quad (13)$$

gdzie:

$M_b$  - odległość pionowa od spągu pokładu do warstwy ponad którą panuje względny stan równowagi pochodzący od ciśnienia  $p_z$ , na długości sklepienia parabolicznego  $L_z$ ,  
Według [3] i [4]  $M_b$  wynosi:

$$M_b = 3,5 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{P_z}{Rrs}} = 16 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{P_z}{Rcs}}, \quad m \quad (14)$$

$L_z$  - szerokość strefy zawałowej, przy której utrzymuje się względny stan równowagi obciążeń działających na sklepienie paraboliczne i na wspornik przedni po zaistnieniu zawału pełnego  $L_z$  wg [3], [4] wynosi:

$$L_z = 14 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{Rrs}{P_z}} = 3,1 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{Rcs}{P_z}}, \quad m \quad (15)$$

Po podstawieniu do równania (13) zależności (14) i (15) otrzymamy wartość kąta zasięgu deformacji warstw w postaci wzoru:

$$\operatorname{tgz} = \frac{3,5 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{P_z}{Rrs}}}{\frac{14}{2} \cdot m \cdot \sqrt{\frac{Rrs}{P_z}}} = 0,5 \cdot \frac{P_z}{Rrs} = \frac{0,5 H \cdot \gamma_{sr}}{Rrs} \quad (16)$$

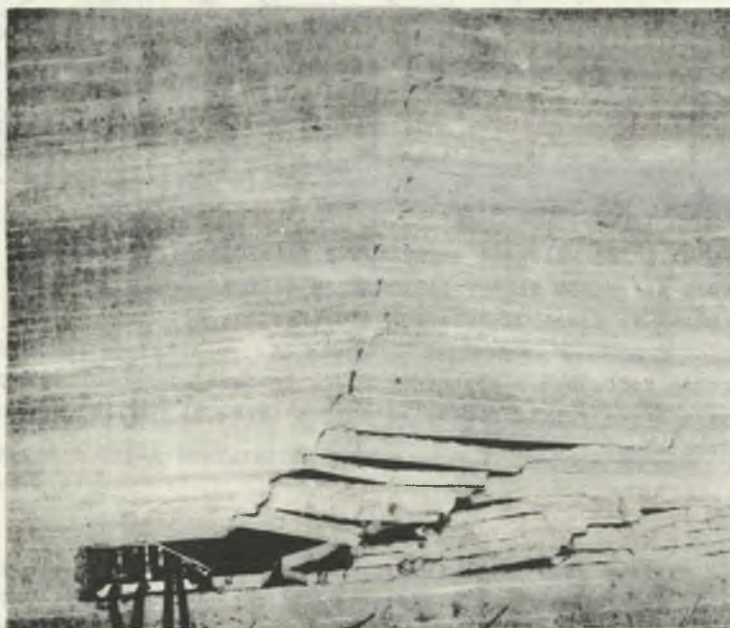
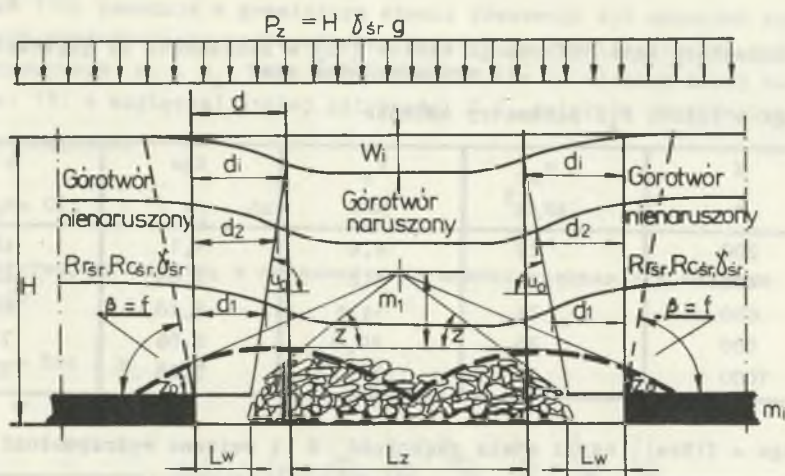
Uwzględniając proporcję wytrzymałości  $Rrs$  i  $Rcs$  skał karbońskich (4) zależność (16) przyjmuje postać:

$$\operatorname{tgz} = \frac{10 P_z}{Rcs} \quad (17)$$

Zmienność kąta deformacji (16) ilustrują wyniki liczbowe zestawione w tabelicy 2 dla zmiennych parametrów górotworu i głębokości oraz krzywe pokazane na rys. 12.

Zmienność kąta deformacji (17) obrazują fotografie z badań modelowych (rys. 4, 5, 6, 7, 8). Przebieg załamywania się poszczególnych warstw nie jest liniowy na co wskazuje wzór (17).





Rys. 12. Osiadanie warstw zdeformowanych nad wybraną częścią pokładu i odległości punktu przegięcia niecki w górotworze naruszonym  
 a - schemat do obliczeń, b - ilustracja z modelu

Tablica 2

Zmienność kąta deformacji warstw [13] w zależności od głębokości i wytrzymałości skał

a)  $tgz = f(Rrs, P_z)$  parametry zmienne

H m	$\bar{\nu}_{sr}$ kN/m <sup>3</sup>	$P_z$ MPa	tgz -	z o
200	22	4,4	1,1	48
400	23	9,2	1,85	62
600	24	14,4	2,40	68
800	25	20,0	2,86	71
1000	26	26,0	3,25	73

b)  $tgz = f(Rrs)$ , czyli stała głębokość H i zmienna wytrzymałość

Rrs		MPa			
$P_z$	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
MPa	tgz = f(Rrs)				
4,4	1,1	0,88	0,74	0,63	0,5
9,2	2,1	1,85	1,55	1,30	1,15
14,4	3,6	2,90	2,40	2,00	1,80
20,0	5,0	4,00	3,30	2,90	2,50
26,0	6,5	5,20	4,30	3,90	3,30

#### 4. ODLEGŁOŚĆ d OD KRAWĘDZI ZATRZYMANEJ EKSPLOATACJI PRZY KTÓREJ NASTĘPUJE ZAŁAMANIE WARSTW KARBOŃSKICH ZALEGAJĄCYCH NAD WYBRANĄ NA ZAWĄŁ CZĘŚCIĄ POKŁADU (Rys. 4, 8)

Na warstwę karbońską o grubości  $m_1$  i znacznej długości zalegającej nad powstałą przestrzenią poeksploatacyjną (rys. 5) [3], [4] działa obciążenie jednostajne:

$$q_i = P_z \cdot y_i, \quad \text{MN/m} \quad (18)$$

Obciążenie warstwy jako belki (szerokość  $y_i = 1$  m) i długości  $x_i$  rozkłada się na dwie podpory, tj. wspornik przedni przy krawędzi zatrzymanej eksploatacji w obrębie nienaruszonego górotworu oraz na sprasowanym rumużu skalnym w głębi zawału w odległości  $x_i$  (rys. 9 i 10)

$$\frac{Q_i}{2} = \frac{q_i \cdot x_i}{2} = \frac{P_z \cdot x_i \cdot y_i}{2}, \quad \text{MN} \quad (19)$$

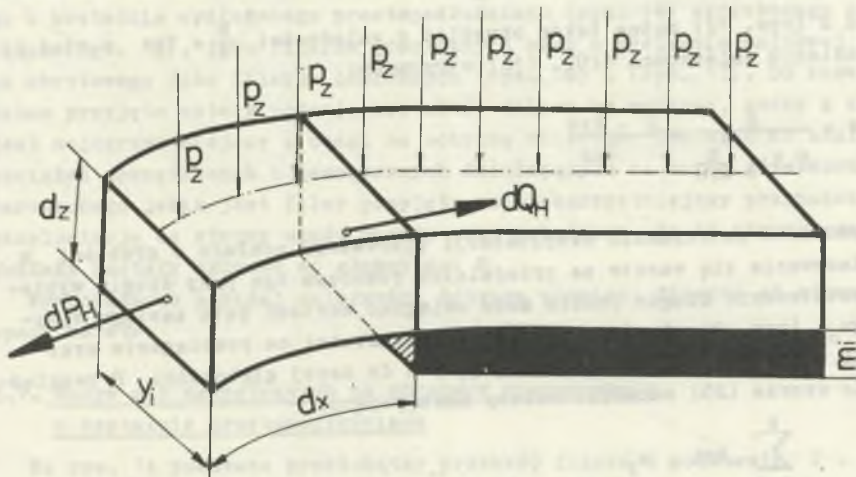
Obciążenie (19) powoduje w granicznym stanie równowagi sił naprężeń rozciągających przekroczenie wytrzymałości warstwy na rozciąganie  $R_{rs}$  w przekroju poprzecznym  $m_1$  i  $y_1$ . Stąd można przyjąć, że na element danej warstwy (rys. 13) o względnej stałej sztywności  $E \cdot J$  działają obciążenia:

- siła rozciągająca

$$dP_H = 0,5 \cdot P_z \cdot y_1 \cdot dx$$

- siła utrzymująca warstwę w równowadze do momentu zerwania w czynnym przekroju

$$dQ_H = R_{rs} \cdot y_1 \cdot dz$$



Rys. 13. Schemat obciążeń działających na pojedynczą warstwę karbońską

Równowagę obciążeń działających na warstwę w granicach od początku układu współrzędnych (spąg pokładu) do powierzchni (odległość  $H$ ) rys. 11 przedstawia równanie:

$$\frac{1}{2} \int_0^d dP_H = \int_0^H dQ_H$$

po wstawieniu do wzoru wartości za  $dQ_H$  i  $dP_H$ , otrzymamy

$$\frac{1}{2} \int_0^d p_z \cdot y_1 \cdot dx = \int_0^H R_{rs} \cdot y_1 \cdot dz$$

$$p_z \cdot \frac{d}{2} = Rrs \cdot H$$

gdzie:

$d$  - pozioma odległość załamania się warstw od krawędzi pokładu.

Po przekształceniach można obliczyć punkty przegięcia niecki osiadania na powierzchni przy wybieraniu na zawał - pierwszego pokładu ze wzoru

$$d = \frac{2 \cdot Rrs \cdot H}{p_z}$$

gdy do tego wzoru postawimy za  $p_z = H \cdot \gamma_{sr} \cdot q$  a  $Rrs$  wyrazimy w MPa, otrzymamy zależność (20)

$$d = \frac{2 \cdot Rrs}{\gamma_{sr}} \quad (20)$$

Wartość  $d$  (rys. 12) można także określić z zależności  $\frac{H}{d} = \operatorname{tg} \alpha$  a stąd po uwzględnieniu zależności (20), (16) otrzymamy:

$$d = \frac{H}{0,5 \cdot \frac{p_z}{Rrs}} = \frac{2 \cdot Rrs}{\gamma_{sr}}$$

Po zakończeniu zatrzymania eksploatacji pierwszego pokładu o grubości  $m$  kąt załamania się warstw za przedziałem roboczym  $\operatorname{tg} \alpha$  przy długim wybiegu i dostatecznie długim czasie może osiągnąć wartość kąta zasięgu wpływów  $\operatorname{tg} \alpha_0$  (rys. 9). Średnią wartość wytrzymałości na rozciąganie oraz gęstości przestrzennej warstw zalegających do danej głębokości  $H$  uwzględnioną we wzorze (20) określić należy następująco:

$$Rrs = \frac{\sum_{i=1}^n Rri \cdot m_i}{H} \cdot \text{MPa} \quad (21)$$

$$\gamma_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot m_i}{H}, \quad \text{kN/m}^3 \quad (22)$$

##### 5. WPŁYW SIŁ ROZCIĄGAJĄCYCH DZIAŁAJĄCYCH W WARSTWACH DEFORMOWANYCH NA FILAR OCHRONNY OBIEKTÓW POWIERZCHNIOWYCH I SZYBÓW STANOWIĄCY CZĘŚĆ GÓROTWORU PIERWOTNEGO

Jak wykazały badania modelowe ujęte np. w pracach [2] i [8] miejsce zatrzymanej eksploatacji w poszczególnych pokładach wybieranych na zawał decyduje o przebiegu deformacji warstw niewęglowych załamujących się w

odległościach  $d_1, d_2, d_3 \dots d_i$  (rys. 12) określonych dla kolejno, od góry wybieranego pokładu.

Zatem kształt konturu (poboczniczy), przy którym zatrzymywana jest eksploatacja w poszczególnych pokładach węgla do głębokości  $H$  posiada zasadniczy wpływ na końcowy przebieg deformacji górotworu w obrębie filara granicznego czy ochronnego jako brył górotworu nienaruszonego (rys. 14, 15, 16, 17). Wpływ kształtu poboczniczy filara jako granicy zatrzymanej eksploatacji na kierunek deformacji warstw w jej pobliżu, w odległościach  $d_1, d_2, d_3 \dots d_i$  pod kątem  $tgz_1, tgz_2, tgz_3 \dots tgz_i$ , np. (rys. 14) wynika z działania sił rozciągających  $p_H$  w warstwach deformowanych jako reakcji  $Q_1$  (rys. 9) oraz z działania sił utrzymujących warstwy zalegające w filarze w stanie pierwotnej równowagi  $Q_u$  (rys. 14).

Celem wykazania powyższej zależności rozpatrzono w następujących podrodziałach działania sił zewnętrznych  $p_H$  na bryłę górotworu nienaruszonego o kształcie wydłużonego prostopadłościanu (rys. 14) wydłużonego ostrosłupa (rys. 15), jako filarów granicznych oraz o kształcie walcowej i stożka obrotowego jako filarów ochronnych (rys. 16) i (rys. 17). Do rozważań zatem przyjęto cztery rodzaje kształtów filaru by wykazać, który z nich jest najkorzystniejszy z uwagi na ochronę obiektów. Tak więc do analizy obciążeń zewnętrznych i wewnętrznych działających na bryłę górotworu nienaruszonego jakim jest filar przyjęto najniekorzystniejszy przypadek, tj. eksploatację od strony upadu warstw przy założeniu, że od strony wzniosu pokłady zostały wybrane do głębokości  $H$ .

Wyprowadzone poniżej zależności dotyczą promieni filarów od strony upadu warstw.

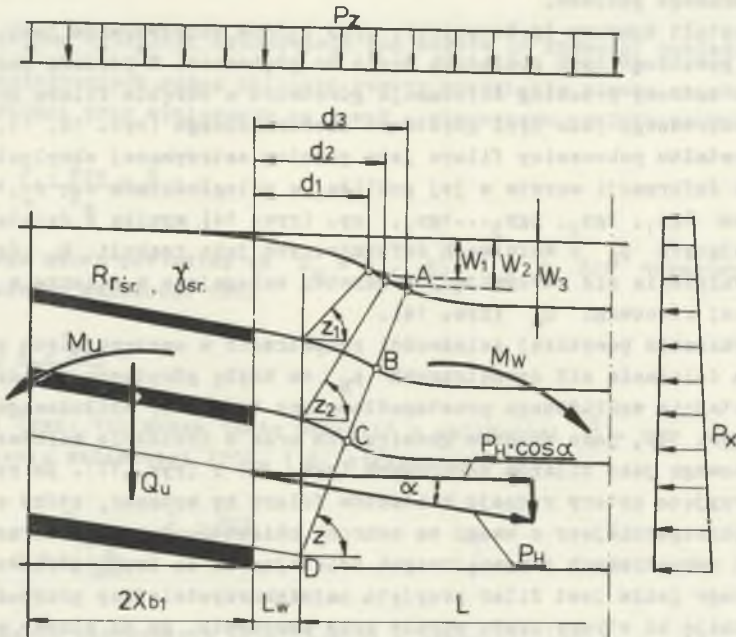
#### 5.1. Wpływ sił zewnętrznych na górotwór nienaruszony o kształcie prostopadłościanu

Na rys. 14 pokazano prostokątny przekrój filara o podstawie  $2 \cdot X_{b1}$  i wysokości  $H$  oraz długości  $y_1$ , na który działają siły zewnętrzne pochodzące od osiadania warstw i ich załamania się w odległości  $d_1$  od konturu filara oraz siły wewnętrzne utrzymujące filar w statecznej równowadze pochodzące od jego ciężaru. Wartość sił zewnętrznych działających na górotwór nienaruszony przy nachyleniu warstw pod kątem wynosi:

$$P_H = Rr_s \cdot H \cdot y_1 \cdot \cos \alpha \cdot MN \quad (23)$$

Wartość sił wewnętrznych pochodzi od ciężaru bryły górotworu nienaruszonego:

$$Q_u = 2 \cdot X_{b1} \cdot H \cdot \gamma_{sr} \cdot y_1 \cdot MN \quad (24)$$



Rys. 14. Obciążenia działające na warstwę karbońską zalegającą w górotworze n naruszoną o kształcie prostopadłościanu i pionowej granicy zatrzymanej eksploatacji pokładów z uwzględnieniem ich kąta nachylenia

Siły zewnętrzne (23) wywołują działanie momentu wywracającego

$$M_w = p_H \cdot \frac{H}{2} = R_{rs} \cdot H \cdot \frac{H}{2} \cdot \gamma_i \cdot \cos \alpha \quad \text{MN} \quad (25)$$

Siły wewnętrzne wywołują moment utrzymujący, który ma postać:

$$M_u = Q_u \cdot X_{b1} = 2 \cdot X_{b1} \cdot H \cdot \gamma_{sr} \cdot \gamma_i \cdot X_{b1} \quad \text{MN} \quad (26)$$

Równowaga momentów (25) i (26) pozwala na obliczenie szerokości filara wewnątrz górotworu  $X_{b1}$  będącego pod działaniem sił zewnętrznych pochodzących z jednostronnej eksploatacji, która wynosi:

$$2 \cdot X_{b1}^2 \cdot H \cdot \gamma_{sr} \cdot \gamma_i = R_{rs} \cdot \frac{H^2}{2} \cdot \gamma_i \cdot \cos \alpha$$

stąd:

$$X_{b1} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{R_{rs} \cdot H \cdot \cos \alpha}{\gamma_{sr}}}, \quad \text{m} \quad (27)$$

Przy dwustronnej eksploatacji w otoczeniu filara granicznego o przekroju prostokątnym jak wynika ze wzoru (27) jego szerokość wynosi:

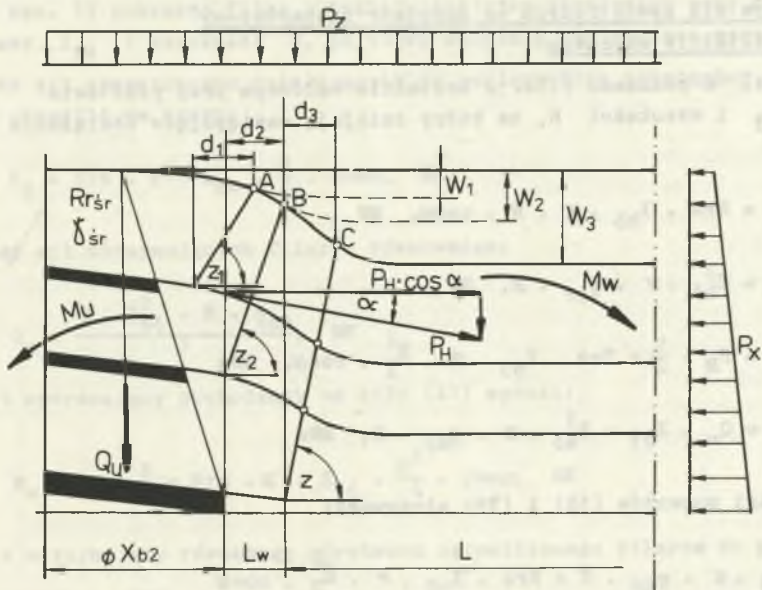
$$S_f = 2 \cdot X_{b1} = \sqrt{\frac{Rr_{sr} \cdot H \cdot \cos \alpha}{\delta_{sr}}}, \text{ m} \quad (28)$$

**5.2. Wpływ sił zewnętrznych na górotwór nienaruszony o kształcie wydłużonego ostrosłupa**

Na rys. 15 pokazano filar w kształcie ostrosłupa o podstawie  $2 \cdot X_{b1}$ , wysokości  $H$  i długości  $y_1$ , na który działają następujące siły i momenty:

$$P_H = Rr_{sr} \cdot y_1 \cdot C \cdot \cos \alpha = Rr_{sr} \cdot y_1 \cdot \frac{H \cdot \cos \alpha}{\sin z} \text{ MN} \quad (29)$$

Kąt nachylenia pobocznic  $C$  (linia  $AB$  rys.15) założono, że jest równy  $60^\circ$  z przedziału zasięgu deformacji warstw przy eksploatacji zawałowej  $60^\circ$  do  $78^\circ$  jako najkorzystniejszy ze względu na ochronę obiektu ponieważ daje najszerszą podstawę filara ochronnego. Przy zatrzymanym froncie i dostatecznie długim okresie czasu kąt ten osiąga wartości najpierw  $U_0$



Rys. 15. Obciążenie działające na warstwę węglową zalegającą w górotworze nienaruszonym o przekroju poprzecznym w kształcie trójkąta i skośnej granicy zatrzymanej eksploatacji pokładu nachylonego

(rys. 9) a następnie wartości kąta  $f$  (rys. 18). Przy tym założeniu wartość sił wewnętrznych jest równa:

$$P_H = Rr_s \cdot y_1 \cdot 1,15 H \cdot \cos \alpha \quad \text{MN} \quad (30)$$

$$Q_u = 2 \cdot X_{b2} \cdot \frac{H}{2} \cdot \gamma_{sr} = X_{b2} \cdot H \cdot \gamma_{sr} \quad \text{MN} \quad (31)$$

$$M_w = P_H \cdot \frac{H}{2} = Rr_s \cdot \frac{1,15 \cdot H^2}{2} \cdot y_1 \cdot \cos \alpha \quad \text{MNm} \quad (32)$$

$$M_u = Q_u \cdot X_{b2} = X_{b2}^2 \cdot H \cdot \gamma_{sr} \quad \text{MNm} \quad (33)$$

Z momentów (32), (33) otrzymamy wartość  $X_{b2}$  w postaci:

$$X_{b2} = 0,76 \cdot \sqrt{\frac{Rr_s \cdot H \cdot \cos \alpha}{\gamma_{sr}}} \quad \text{m} \quad (34)$$

Szerokość podstawy filara przy eksploatacji dwustronnej, np. filara w górnotworze dla szybika wynosi

$$S_{f2} = 2 \cdot X_{b2} \quad (35)$$

### 5.3. Wpływ sił zewnętrznych na górnotwór nienaruszony o kształcie walcowym

Na rys. 16 pokazano filar o kształcie walcowym przy podstawie  $\emptyset 2 \cdot X_{b3}$  i wysokości  $H$ , na który działają następujące obciążenia i momenty:

$$P_H = Rr_s \cdot X_{b3} \cdot \pi \cdot H \cdot \cos \alpha \quad \text{MN} \quad (36)$$

$$Q_u = X_{b3}^2 \cdot \pi \cdot \gamma_{sr} \cdot H \quad \text{MN} \quad (37)$$

$$M_w = P_H \cdot \frac{H}{2} = Rr_s \cdot X_{b3} \cdot \pi \cdot \frac{H^2}{2} \cdot \cos \alpha \quad \text{MNm} \quad (38)$$

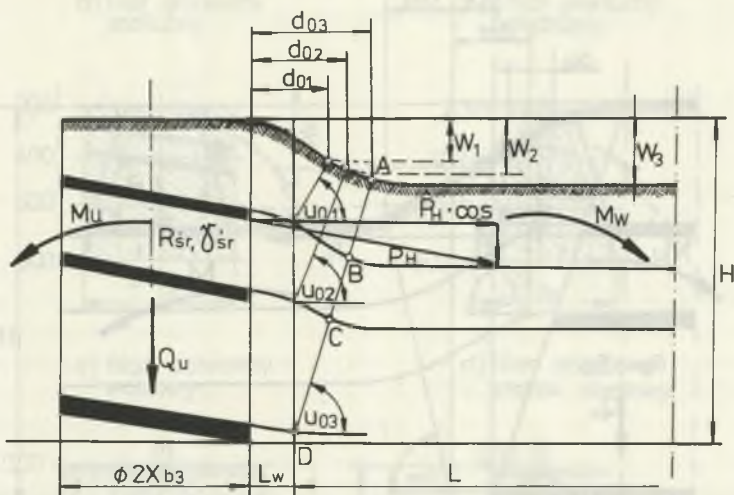
$$M_u = Q_u \cdot X_{b3} = X_{b3}^3 \cdot \pi \cdot \gamma_{sr} \cdot H \quad \text{MNm} \quad (39)$$

Z równowagi momentów (38) i (39) otrzymamy:

$$X_{b3}^3 \cdot \pi \cdot \gamma_{sr} \cdot H = Rr_s \cdot X_{b3} \cdot \pi \cdot \frac{H^2}{2} \cdot \cos \alpha$$

$$X_{b3} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{Rr_s \cdot H \cdot \cos \alpha}{\gamma_{sr}}} \quad \text{m} \quad (40)$$





Rys. 16. Obciążenia działające na filar ochronny obiektu na powierzchni o kształcie walcowym

#### 5.4. Wpływ zatrzymanej eksploatacji pokładów i sił zewnętrznych na filar ochronny o kształcie stożka obrotowego

Na rys. 17 pokazano filar o kształcie stożka obrotowego przy promieniu podstawy  $X_{b4}$  i wysokości  $H$ , na który działają następujące momenty: Wartość sił zewnętrznych działających na powierzchnię pobocznicę stożka można określić ze wzoru:

$$P_H = Rr_s \cdot \pi \cdot X_{b4} \cdot \frac{H}{2} \cdot \cos \alpha, \text{ MN} \quad (41)$$

Wartość sił utrzymujących filar w równowadze:

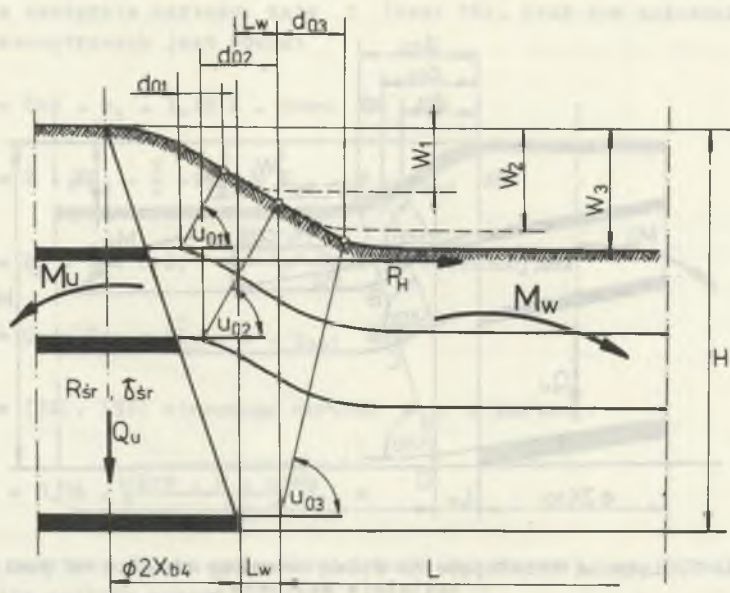
$$Q_u = \frac{\pi \cdot X_{b4}^2 \cdot H \cdot \gamma_{sr}}{3}, \text{ MN} \quad (42)$$

Moment wywracający pochodzący od siły (41) wynosi:

$$M_w = P_H \cdot \frac{H}{2} = Rr_s \cdot \pi \cdot X_{b4} \cdot \frac{H^2}{4} \cdot \cos \alpha, \text{ MN} \quad (43)$$

Moment utrzymujący równowagę górotworu ograniczonego filarem ma postać:

$$M_u = Q_u \cdot X_{b4} = \frac{\pi \cdot X_{b4}^3 \cdot H}{3} \cdot \gamma_{sr}, \text{ MNm} \quad (44)$$



Rys. 17. Obciążenia działające na filar ochronny dla obiektu na powierzchni w kształcie stożka obrotowego

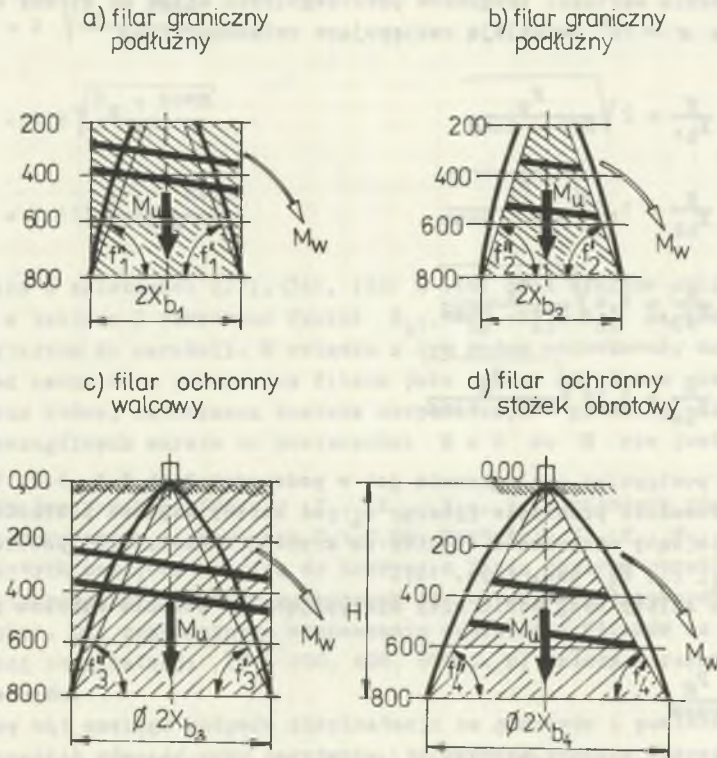
Z równowagi momentów (43) i (44) otrzymamy potrzebny promień filara:

$$X_{b4} = 0,86 \cdot \sqrt{\frac{Rr_s \cdot H \cdot \cos \alpha}{\delta_{sr}}}, \text{ m} \quad (45)$$

W przypadku eksploatacji po upadzie warstw i zatrzymania jej przy granicy filara o kształtach (rys. 14, 15, 16, 17) wartość sił zewnętrznych osiadających i załamujących się warstw jest większe o  $(\cos \alpha)^{-1}$  [12] dlatego też wielkości (27), (34), (40) i (45) osiągają wartości powiększone o  $(\cos \alpha)^{-1}$ . Zależności (27), (34), (40) i (45) wskazują, że współpraca górotworu naruszonego eksploatacją górniczą z pozostawioną częścią górotworu nienaruszonego w formie filarów granicznych czy też ochronnych nie przebiega liniowo. Zasięg eksploatacji czyli deformacji warstw w kierunku nienaruszonej części karbonu w zależności od jej kształtu pokazano na rys. 18 dla czterech rozpatrywanych przypadków (tablica 3).

## 6. WPŁYW KĄTA ZASIĘGU DEFORMACJI WARSTW NA GÓROTWÓR NIENARUSZONY

Kąt zasięgu deformacji warstw na górotwór nienaruszony i powierzchnię  $f_1, f_2, f_3, f_4$  dla omawianych kształtów filarów jest zawarty pomiędzy cięciwą krzywej (27), (34), (40) i (45) i linią poziomą (rys. 18). Przy



Rys. 18. Wpływ zasięgu deformacji warstw na górotwór nienaruszony jako granica zatrzymanej eksploatacji pokładów

a) granica pionowa - filar graniczny podłużny, b) granica skośna - filar graniczny podłużny, c) granica pionowa - filar ochronny walcowy, d) granica skośna - filar ochronny stożkowy

Tablica 3

Szerokości filara ochronnego dla czterech przypadków jego kształtu w zależności od głębokości i gęstości przestrzennej

H m	$\sigma_{sr}$ KN/m <sup>3</sup>	$P_z$ MPa	$R_r$ MPa	$X_{b1}$ m	$X_{b2}$ m	$X_{b3}$ m	$X_{b4}$ m
200	22	4,4	2,0	68	103	95	118
400	23	9,2	2,5	204	159	146	180
600	24	14,4	3,0	135	205	190	232
800	25	20,0	3,5	168	256	236	290
1000	26	26,0	4,0	195	297	274	336

tym założeniu wartości tangensów poszczególnych kątów od strony upadu warstw dla  $\alpha > 10^\circ$  określają następujące zależności:

$$\operatorname{tg} f_1 = \frac{H}{x_{b1}} = 2 \sqrt{\frac{P_z}{Rr_s \cdot \cos \alpha}} \quad (46)$$

$$\operatorname{tg} f_2 = \frac{H}{x_{b2}} = 1,3 \sqrt{\frac{P_z}{Rr_s \cdot \cos \alpha}} \quad (47)$$

$$\operatorname{tg} f_3 = \frac{H}{x_{b3}} = 1,4 \sqrt{\frac{P_z}{Rr_s \cdot \cos \alpha}} \quad (48)$$

$$\operatorname{tg} f_4 = \frac{H}{x_{b4}} = 1,15 \sqrt{\frac{P_z}{Rr_s \cdot \cos \alpha}} \quad (49)$$

Natomiast postępując analogicznie jak w podrozdziałach 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 można wyprowadzić promienie filaru  $x_b$  od strony wzniosu pokładów oraz odpowiednie kąty nachylenia cięciwy do krzywej określającej pobocznice filaru  $f_1, f_2, f_3$ , tzn. (rys. 18).

W tym celu należy uwzględnić siły występujące po stronie wzniosu pokładów tj.

$$P_{Hw} = \frac{P \cdot H}{\cos \alpha}$$

Odpowiednio do wzorów (27), (34), (40) i (45) związki dla obliczania promieni filarów od strony wzniosu warstw są następujące:

$$x_{bw1} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{H \cdot Rr_s}{\gamma_{sr} \cdot \cos \alpha}}; \text{ m}$$

$$x_{bw2} = 0,76 \cdot \sqrt{\frac{H \cdot Rr_s}{\gamma_{sr} \cdot \cos \alpha}}; \text{ m}$$

$$x_{bw3} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{H \cdot Rr_s}{\gamma_{sr} \cdot \cos \alpha}}; \text{ m}$$

$$x_{bw4} = 0,86 \cdot \sqrt{\frac{H \cdot Rr_s}{\gamma_{sr} \cdot \cos \alpha}}; \text{ m}$$

Kąty nachylenia pobocznic filarów od strony wzniosu warstw przedstawiają zależności:

$$\operatorname{tg} f_1'' = 2 \sqrt{\frac{P_z \cdot \cos \alpha}{Rr_s}}$$

$$t''_{gf2} = 2 \sqrt{\frac{P_z \cdot \cos \alpha}{Rrs}}$$

$$t''_{gf3} = 1,4 \sqrt{\frac{P_z \cdot \cos \alpha}{Rrs}}$$

$$t''_{gf4} = 1,115 \sqrt{\frac{P_z \cdot \cos \alpha}{Rrs}}$$

Jak wynika z zależności (27), (34), (40) i (45) oraz wyników obliczeń zawartych w tablicy 3 wykresami funkcji  $X_{b1}$ ,  $X_{b2}$ ,  $X_{b3}$ ,  $X_{b4}$  są krzywe zbliżone kształtem do paraboli. W związku z tym można wnioskować, że niezależnie od nachylenia pobocznicy filara jako części górotworu nienaruszonego, przy której zatrzymana została eksploatacja - przebieg załamania się poszczególnych warstw od powierzchni  $H = 0$  do  $H$  nie jest prostopadłościowy.

Określają ten przebieg funkcje  $X_{b1}$ ,  $X_{b2}$ ,  $X_{b3}$ ,  $X_{b4}$  różniące się współczynnikiem zawartym w granicach 0,5-0,86. Wartości  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$  (rys. 18) zawartych pomiędzy cięciwą do krzywej a linią poziomą określają kąt nachylenia pobocznic filarów ochronnych dla obiektów podziemnych i na powierzchni. Dla praktycznego wyznaczania szerokości filarów na danej głębokości eksploatacji ( $H = 200, 400, 800 \dots$  m) należy korzystać z podanych wzorów.

Ogólny kąt zasięgu wpływów eksploatacji na górotwór i powierzchnię można określić również przy założeniu, że wybrane zostaną wszystkie pokłady węgla zalegające do głębokości  $H$  o łącznej grubości  $0,1 \cdot H$  (3). Wówczas korzystając z zależności (15) pełna strefa zawałowa (rys. 11) dla  $m = 0,1 \cdot H$ , wyniesie:

$$L_{z0} = 14 \cdot 0,1 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{Rrs}{P_z}} \cdot m \quad (50)$$

Kąt zasięgu wpływów  $tgU_0$  do powierzchni w górotworze naruszonym (rys. 9), tj. po wybraniu warstw węglowych o grubości  $0,1 \cdot H$  jako stosunek głębokości i połowy pełnej strefy zawałowej  $L_{z0}$  wyniesie:

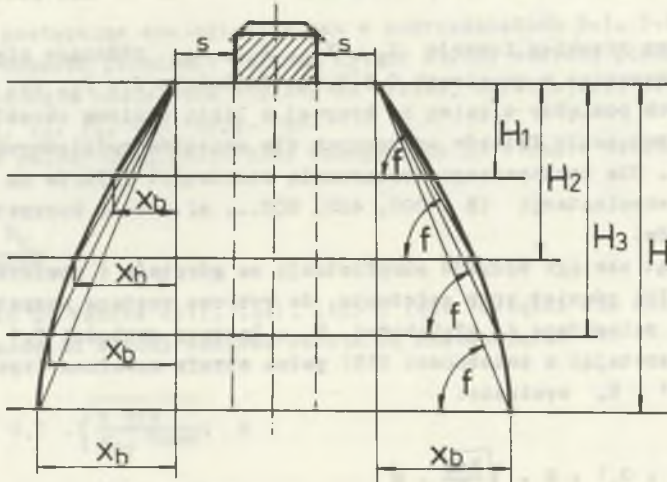
$$tgU_0 = \frac{H}{\frac{L_{z0}}{2}} = \frac{H}{0,2 \cdot H \sqrt{\frac{Rrs}{P_z}}} = 1,4 \sqrt{\frac{P_z}{Rrs}} \quad (51)$$

W tablicy 4 zestawione zostały wyniki obliczeń wartości kątów za pomocą wzorów (46), (47), (48), (49) i (51). Z danych liczbowych kątów zasięgu wpływów eksploatacji wynika, że największy stopień pewności posiada kąt  $tgf_4$  (49), którego wartości zbliżone są do wartości kątów zasięgu dotychczas stosowanych dla odpowiedniej kategorii ochrony obiektów.

Tablica 4

Wartości kątów zasięgu wpływu eksploatacji w górotworze nienaruszonym wg wzorów podanych w pracy [46], [47], [48], [49] zależne od głębokości i wytrzymałości skał

H m	$P_z$ MPa	Rrs MPa	$\text{tg}f_1$	$f_1$ o	$\text{tg}f_2$	$f_2$ o	$\text{tg}f_3$	$f_3$ o	$\text{tg}f_4$	$f_4$ o
200	4,4	2,0	3,0	71	1,94	63	2,1	65	1,71	60
400	9,2	2,5	3,84	75	2,50	68	2,7	70	2,20	65
600	14,4	3,0	4,30	77	2,84	70	3,0	71	2,50	68
800	20,0	3,5	4,75	78	3,10	72	3,3	73	2,74	70
1000	26,0	4,0	5,10	79	3,30	73	3,6	74	2,93	71



Rys. 19. Schemat do wyznaczania strefy ochronnej dla obiektu chronionego filarem

Analizując omawiane najczęściej spotkane przykłady zatrzymania eksploatacji górniczej (wyznaczania filarów ochronnych) (rys. 19), jak również wyniki badań modelowych w zakresie deformacji warstw można przyjąć do wyznaczania filarów ochronnych wartość kąta zasięgu wpływu górotworu naruszonego na filar (górotwór nienaruszony) pokłady o nachyleniu  $\alpha < 10^\circ$  wg wzoru:

$$\text{tg}f = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{P_z}{Rrs}} = 5,2 \cdot \sqrt{\frac{P_z}{Rcs}} \quad (52)$$

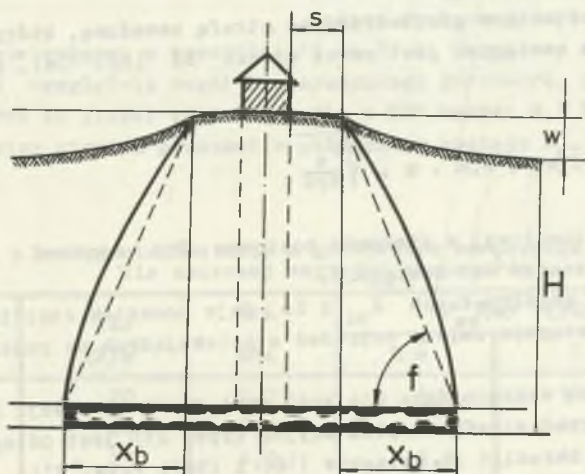
Kąt  $\alpha$  uwzględnia (jak wykazano) deformację skał niewęglowych o wyższej wytrzymałości  $R_{rs}$ ,  $R_{cs}$  od pozostawionych pokładów.

## 7. WIELKOŚĆ PASA OCHRONNEGO NA POWIERZCHNI PRZY CHRONIONYM OBIEKTCIE FILAREM JAKO GRANICY ZATRZYMANEJ EKSPLOATACJI

Zasady wyznaczania filarów ochronnych dla obiektów powierzchniowych przewidują określenie pasa ochronnego o szerokości  $S$ , od której prowadzi się pobocznice filaru ochronnego. Wielkość  $S$  (rys. 20) czyli odległość obiektu od granic filaru wpływa na odległość punktu przegięcia niecki osiadania w stosunku do chronionego obiektu. Im ta strefa jest szersza tym punkt przegięcia i początek niecki osiadania jest bardziej oddalony od obiektu. Stanowi ona w dotychczasowym rozumieniu wpływ eksploatacji pewien stopień pewności dla uniknięcia szczytkowych wpływów eksploatacji. Uwzględniając działanie sił zewnętrznych na filar oraz zależności określające jego minimalny promień (40) i maksymalny (45) można przyjąć, że szerokość pasa ochronnego (rys. 20) jest równa:

$$S = X_{b4} - X_{b3} = (0,86 - 0,7) \cdot \sqrt{\frac{R_{rs} \cdot H \cdot \cos \alpha}{\gamma_{sr}}} \quad (53)$$

$$S = 0,16 \cdot \sqrt{\frac{R_{rs} \cdot H \cdot \cos \alpha}{\gamma_{sr}}}$$



Rys. 20. Schemat wyznaczania filaru ochronnego obiektu powierzchniowego przy eksploatacji pierwszego pokładu

Szerokość  $S$  należy wyznaczyć dla prognozowanej najgłębszej eksploatacji i najdłuższego okresu ochrony obiektów zlokalizowanych na filarze o największym stopniu jego stateczności, gdy filar posiada największą powierzchnię podstawy obliczoną wzorem (45). Umożliwia to minimalizację wielkości filara a w szczególności minimalizację zasobów objętych jego granicami.

#### 8. ZALEŻNOŚĆ ZASIĘGU EKSPLOATACJI NA GÓROTWÓR NIENARUSZONY OD NATURALNYCH PARAMETRÓW GÓROTWORU

Zmienność parametru  $n$  (na górotwór nienaruszony) jako wykładnika potęgowego wzoru (1) potwierdzono wielokrotnie [2], [5]. Jeżeli w zależności (1) wykorzystany zostanie kąt wpływów eksploatacji dla warunków w GZW (51), to wówczas parametr  $n$  określa wzór:

$$n = \sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 = 3,5 \cdot \sqrt{\frac{P_z}{RrS}} \quad (54)$$

Wobec czego wzór (1) podający zasięg eksploatacji po uwzględnieniu (54) przyjmuje postać:

$$r(z) = 0,86 \cdot \sqrt{\frac{H \cdot RrS}{\gamma_{sr}}} \left(\frac{z}{H}\right)^{3,5} \sqrt{\frac{P_z}{RrS}}, \quad m \quad (55)$$

Podstawiając do wzoru (55) wartości ekstremalne:  $z = H$ , otrzymuje się  $r(H) = X_b$ .

Zasięg wpływu eksploatacji zawałowej obejmuje strefę górotworu w otoczeniu prowadzonej eksploatacji.

Współrzedną pionową punktu w górotworze nad strefą zawałową, który objęty jest bezpośrednim zasięgiem jest zawał wysoki  $S_0$  (np. 10a), który jest równy:

$$S_0 = Z_p + 0,5 \cdot m_1 = 2,6 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{P_z}{RrS}} \quad (56)$$

Zasięg eksploatacji zawałowej w kierunku poziomym  $X_{ni}$  zgodnym z kierunkiem biegu ściany wyznacza kąt zasięgu  $Z$ .

Punkt w górotworze o współrzędnych  $X_{ui}$  i  $S_0$  daje początek strefie spękań stropu, gdzie następuje zmiana naprężeń z ściskających na rozciągające.

Współrzedną poziomą wyznaczającą wielkość zasięgu eksploatacji na punkt w górotworze przed strefą eksploatacyjną (rys. 21) jest odległość pozioma, którą można określić ze związków (16) i (56), (rys. 21).

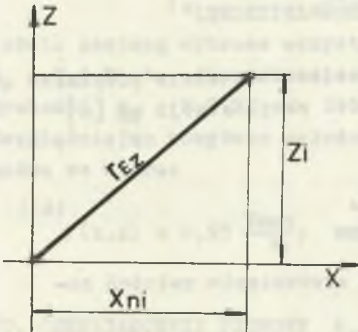


$$X_{ni} = \frac{S_0}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{2,6 \text{ m} \sqrt{\frac{P_z}{Rr_s}}}{0,5 \frac{P_z}{Rr_s}}$$

Po przekształceniu i uporządkowaniu wyrazów odległość poziomu  $X_{ni}$  wynosi:

$$X_{ni} = 5,2 \cdot m \sqrt{\frac{Rr_s}{P_z}} \quad (57)$$

Wykorzystując zależność (57) i (56) można określić zasięg eksploatacji zawałowej  $r_{EZ}$  w górotworze naruszonym przy wybieraniu pokładu o grubości  $m$  na głębokości  $H$ :



Rys. 21. Schemat do obliczeń

$$r_{EZ} = \sqrt{S_0^2 + X_{ni}^2}; \quad m$$

$$r_{EZ} = m \cdot \sqrt{7 \frac{P_z}{Rr_s} + 27 \frac{Rr_s}{P_z}}; \quad m \quad (58)$$

W tabelicy 5 zestawiono obliczone wzorem (58) wartości zasięgu wpływów eksploatacji w górotworze  $r_{EZ}$  dla zmiennych parametrów górotworu.

Wyniki zawarte w tabelicy 5 są zbliżone z obserwacjami na dole kopalń w szczególności w ROW, gdzie pełne wydzielanie metanu zruszonego wyżej zalegającego

górotwór stwierdzono w wysokości 15 do 20 m. Określony zasięg (55) dla  $z(\max) = H$  uwzględnia część nienaruszonego górotworu, ponieważ stosunek skał płonych do ilości pokładów węgla w GZW wynosi 0,9 H do 0,1 H. Stąd wynika pewien stopień pewności w obliczeniu zasięgu  $r_{EZ}$  (58).

Tabelica 5

Zasięg eksploatacji w górotworze naruszonym [58] dla zmiennej wartości parametrów

H m	$\vartheta_{sr}$ kN/m <sup>3</sup>	Rr <sub>s</sub> MPa	$r_{ez}$ (m) (58) rys. 21		
			m = 1	2	3
200	20	2,0	5,2	10,4	15,6
400	24	3,0	5,6	11,2	16,8
600	25	4,0	5,8	11,6	17,4
800	26	5,0	6,0	12,0	18,0
1000	27	6,0	6,2	12,4	18,6

Zasięg  $r_{EZ}$  (58) określa na każdej głębokości  $H$  przy odpowiedniej  $Rr_s$  i  $\gamma_{sr}$  oraz na ograniczoną przestrzeń zruszonego górotworu, co wynika z zależności:

$$L_s = 36 \cdot m^2 \cdot \frac{1}{z_p}; \quad m \quad (59)$$

$$V_{zg} = \frac{1}{2} \cdot L_s \cdot z_p = 18 \cdot m^2 \cdot \frac{1}{z_p} \cdot z_p = 56 \cdot m^2 \cdot y_1 \quad (60)$$

Razem krzywe (60) i (59) obejmują pewien obszar zruszonego górotworu w czasie eksploatacji pokładu na danej głębokości i określonych warunkach geotechnicznych i objętości  $V_{zg}$  (60).

#### 9. ODKSZTAŁCENIE PIONOWE TERENU NA POWIERZCHNI WYNIKAJĄCE Z EKSPLOATACJI ZAWAŁOWEJ W PRZESTRZENI NIEOGRANICZONEJ<sup>x)</sup>

Odształcenie pionowe  $(x, z)$  przy eksploatacji o kształcie półpłaszczyzny dla punktu odległego o  $x$  i  $z$  od krawędzi eksploatacji wg [6] określa zależność:

$$\varepsilon(x, z) = \frac{W_{max}}{r} \cdot \frac{dr}{dz} \cdot \frac{x}{r} \cdot e^{-\frac{\gamma x^2}{r^2}} \quad (61)$$

gdzie:

$r$  - poziomy zasięg eksploatacji zawałowej w rozumieniu założeń niniejszej pracy wynosi:

$$r = \frac{H}{\sqrt{\gamma I}} = 0,86 \sqrt{\frac{H \cdot Rr_s}{\gamma_{sr}}} = x_b$$

$\frac{dr}{dz}$  - przyrost funkcji  $r = f(z)$

$$\frac{dr}{dz} = 0,43 \frac{Rr_s}{z \cdot \gamma_{sr}} \quad \text{dla } z = H \quad \frac{dr}{dz} = 0,43 \sqrt{\frac{Rr_s}{P z}}$$

$$\frac{x_0}{r} = \frac{5,2 \cdot m \sqrt{\frac{Rr_s}{P z}}}{0,86 \sqrt{\frac{H \cdot Rr_s}{\gamma_{sr}}}} = 6 \cdot m \cdot \frac{1}{H}$$

Podstawiając do funkcji (61) podane wyżej parametry otrzymaną dla  $z = H$  następującą postać funkcji odkształceń pionowych terenu na powierzchni przy eksploatacji zawałowej w obszarze nieograniczonym.

<sup>x)</sup> W rozdziale tym i następnych podano próbę określenia wskaźników deformacji terenu na powierzchni wykorzystując teorię W. Budryka - St. Knothego. Nową funkcję wpływów i jej pochodne podano w odrębnej pracy.

$$\xi(x, z) = \frac{W_{\max}}{0,86 \sqrt{\frac{H \cdot R r s}{T s r}}} \cdot 0,43 \sqrt{\frac{R r s}{P_z}} \cdot \frac{6 \cdot m}{H} e^{-A} \quad (62)$$

gdzie przez  $e^{-A}$  oznaczono wyrażenie:

$$e^{-A} = \frac{1}{e^A} = \frac{1}{e^{3,14} \cdot \left(\frac{6m}{H}\right)^2}$$

wyrażenie  $e^{-A}$  dla  $m = 0,1 H$  osiąga wartość  $e^{-A} = 0,35$ . Przy tej wartości  $e^{-A}$  funkcja (62) ostatecznie przyjmie postać:

$$\xi(x, z) = 1,05 W_{\max} \cdot \frac{m}{H}, \quad \text{mm/m}$$

Jeżeli zostaną wybrane wszystkie pokłady węgla o grubości maksymalnej  $m_w = 0,1 H$  to odkształcenie  $\xi(x, z)$  nastąpi w warstwach niewęglowych o grubości  $m_g = 0,9 H$ .

Uwzględniając powyższe założenie wartość odkształcenia pionowego określić można ze wzoru:

$$\xi(x, z) = 0,95 \frac{W_{\max}}{H}; \quad \text{mm/m} \quad (63)$$

#### 10. ODKSZTAŁCENIE PIONOWE $\xi_z$ NA POWIERZCHNI TERENU CHRONIONEGO

Eksploatacja pokładu przeprowadzona na głębokości  $H$  na zewnątrz koła o promieniu  $R$  i środka o współrzędnych  $x = x = 0$ , wywoła na horyzoncie w punkcie  $P(0,0,z)$  ujemne (ściskające) odkształcenie pionowe  $\xi_z$ , którego wielkość określa funkcja W. Budryka, S. Knothego:

$$-\xi_z = 2 \cdot W_{\max} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{dx}{dz} \cdot \rho^2 \cdot e^{-\rho^2} \quad (64)$$

gdzie:

$$W_{\max} = s \cdot m$$

$$\rho = \frac{R}{r} \cdot \sqrt{x}$$

Jeżeli za promień  $R = X_b$  wg (45), to wtedy

$$\rho = \frac{X_b}{H} \cdot \sqrt{\pi} = \frac{0,86 \sqrt{\frac{H \cdot Rrs}{\gamma_{\acute{s}r} \pi}}}{H} = \sqrt{\pi} \cdot \frac{0,86}{1,15 \sqrt{\frac{P_z}{Rrs}}}$$

Po wstawieniu do funkcji (64) podanych wyżej wartości wyrazów otrzymamy:

$$-\epsilon_z = \frac{2 W_{max}}{0,86 \sqrt{\frac{H \cdot Rrs}{\gamma_{\acute{s}r} \pi}}} \cdot 0,43 \sqrt{\frac{Rrs}{H \cdot \gamma_{\acute{s}r}}} \cdot 3,14 \cdot e^{-3,14} \quad (65)$$

Po uporządkowaniu wyrazów wzór końcowy na obliczenie odkształcenia pionowego na powierzchni terenu chronionego filarem o promieniu  $X_b$  (45) wynosi:

$$-\epsilon_z = 0,15 \cdot \frac{W_{max}}{H}, \quad \text{mm/m} \quad (66)$$

Odształcenie pionowe  $-\epsilon_z$  na powierzchni terenu chronionego filarem o promieniu  $X_b$  dla  $H = 1000$  m i  $W_{max} = 9$  m (IV kateg.) osiąga wartość  $-\epsilon_z = 1,3$  mm/m.

#### 11. ODSZTAŁCENIE POZIOME DLA POJEDYŃCZEGO OBIEKTU I SZYBU (FILAR SYMETRYCZNY O PROMIENIU $X_b$ )

Warunkiem równoczesnej ochrony szybu i obiektów na powierzchni jest aby zasięg eksploatacji  $r(z) = R = X_b$ . Wówczas zachodzi zgodność pochodnych funkcji  $(z, x)$  i funkcji  $(Z, R = \text{const})$  zaś dla symetrycznej kołowej powierzchni filara, na zewnątrz którego prowadzona będzie eksploatacja zawałowa można za pracą [17] napisać:

$$\epsilon_x + \epsilon_y + \sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \text{tgf}_4 \cdot \epsilon_z = 0 \quad (67)$$

Ponieważ odkształcenie poziome na terenie chronionym  $\epsilon_x = \epsilon_y$ , w związku z tym wykorzystując zależność  $\text{tgf}_4$  (49) (dla  $\alpha = 0$ ) z równania (67) otrzymamy wartość odkształcenia poziomego  $\epsilon_{xf}$ :

$$2\epsilon_{xf} = -\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \text{tgf}_4 \cdot \epsilon_z;$$

$$\epsilon_{xf} = -1,4 \cdot \epsilon_z \sqrt{\frac{P_z}{Rrs}}, \quad \text{mm/m} \quad (68)$$

lub

$$\varepsilon_{xf} = -6,3 \cdot \varepsilon_z \sqrt{\frac{P_z}{Rcs}}, \quad \text{mm/m} \quad (69)$$

Jeżeli we wzorze (68) uwzględnimy wartości  $-\varepsilon_z$  (66), to wówczas odkształcenie poziome  $\varepsilon_x$  określi zależność:

$$\varepsilon_{xf} = 1,4 \cdot 0,15 \cdot \frac{W_{max}}{H} \cdot \sqrt{\frac{P_z}{Rrs}} \quad (70)$$

$$\varepsilon_{xf} = 0,21 \cdot \frac{W_{max}}{H} \sqrt{\frac{P_z}{Rrs}}; \quad \text{mm/m} \quad (71)$$

lub

$$\varepsilon_{xf} = 0,21 \cdot a \cdot m \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{sr}}{H \cdot Rrs}}; \quad \text{mm/m} \quad (72)$$

$$\varepsilon_{xf} = a \cdot m \cdot \sqrt{\frac{\varphi_{sr}}{H \cdot Rcs}}; \quad \text{mm/m} \quad (73)$$

Dla eksploatacji zawałowej  $a = 0,7$  odkształcenie poziome:

$$\varepsilon_{xz} = 0,15 \cdot m \sqrt{\frac{\varphi_{sr}}{H \cdot Rrs}}; \quad \text{mm/m} \quad (74)$$

Dla eksploatacji na podsadzkę płynną:

$$\varepsilon_{xp} = 0,03 \cdot m \sqrt{\frac{\varphi_{sr}}{H \cdot Rrs}}; \quad \text{mm/m} \quad (75)$$

Podane wzory (63), (66) wywodzące się z funkcji W. Budryka - St. Knothego dowodzą, że odkształcenie pionowe  $\varepsilon_z$  jako wynik deformacji warstw zależne jest jedynie od obniżenia terenu (dla warunków wytrzymałościowych skał górotworu w GZW)  $W_{max} = a \cdot m$  oraz od systemu eksploatacji ( $a$ ) i grubości pokładu ( $m$ ).

Odształcenie poziome  $\varepsilon_{xf}$  (71), (72) jest funkcją wytrzymałości warstw i ciśnienia pionowego  $P_z$ . Im wytrzymałość na rozciąganie warstw  $Rrs$  jest większa tym odkształcenie poziome  $\varepsilon_{xf}$  jest mniejsze, również ze wzrostem głębokości  $H$  i rosnącym ciśnieniem  $P_z$  odkształcenie  $\varepsilon_{xf}$  ulega zmniejszeniu.

Wzór (79) wskazuje na to, że odkształcenia poziome są mniejsze przy eksploatacji systemu na podsadzkę płynną. Stosunek wzorów (75) : (76) jest następujący:

$$\frac{\varepsilon_{xz}}{\varepsilon_{xp}} = \frac{0,15 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{sr}}{H \cdot Rrs}}}{0,03 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{sr}}{H \cdot Rrs}}} = 5 \text{ krotnie} \quad (76)$$

Stosowanie podsadzki płynnej w eksploatacji pokładów w szczególności pod obiektami chronionymi jest konieczne.

## 12. NACHYLENIE TERENU $T_{max}$ i $T_f$

Nachylenie terenu  $T_{max} = \frac{W_{max}}{r}$ . Wykorzystując (58) otrzymamy:

$$T_{max} = \frac{W_{max}}{2 \frac{Rrs}{\gamma_{sr}}} = \frac{0,5 W_{max} \cdot \gamma_{sr}}{Rrs}; \text{ mm/m} \quad (77)$$

Nachylenie terenu chronionego filarem o promieniu  $X_b$  lub o kształcie poboczniczy wyrażonej funkcją  $X_b$  (45) wynosi:

$$T_f = \frac{W_{max}}{X_b} = \frac{W_{max}}{0,86 \sqrt{\frac{H \cdot Rrs}{\gamma_{sr}}}}$$

$$T_f = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{sr}}{H \cdot Rrs}} \cdot W_{max}; \text{ mm/m} \quad (78)$$

Jak wynika ze wzorów (77) i (78) nachylenie terenu przy eksploatacji w obszarze nieograniczonym  $T_{max}$  osiąga wartości większe od nachylenia terenu chronionego filarem  $T_f$ .

## 13. WNIOSKI

1. Przeprowadzona analiza wpływu górotworu naruszonego na górotwór nie-naruszony za pomocą działania obciążeń zewnętrznych i wewnętrznych na filar ochronny lub graniczny oraz różnych jego kształtach - wykazała możliwość zoptymalizowania wielkości filara ochronnego w zależności od naturalnych parametrów skał karbońskich i ciśnienia.

Podane wzory wyprowadzono dla najniekorzystniejszego warunku stateczności filara, tj. jednostronnej eksploatacji przy założeniu wcześniejszego wybrania wszystkich warstw węglowych po drugiej stronie filara zalegającego do głębokości  $H$ .

2. Wpływ górotworu naruszonego na część górotworu nienaruszonego przedstawionego w formie filara granicznego lub ochronnego, przy których zatrzymana została eksploatacja przejawia się w postaci sił rozciągających działających w poszczególnych warstwach osiadających nad wybraną częścią pokładu.

Zależności (23), (30), (36), (41) wskazują, że wpływ ten zależy od kształtu konturu pobocznic granicy eksploatacyjnej, czyli od ciężaru bryły górotworu nienaruszonego określonego tym filarem. Jak wynika z danych liczbowych (tablica 3) ogólny kształt pobocznic filara (rys. 18) przebiega według krzywej parabolicznej, zaś różnicę wykazują stałe parametry w podanych wzorach, zależne od kształtu filara.

3. Kształt filara granicznego, ochronnego przy zaleganiu warstwy nadkładu zależy od grubości i wytrzymałości tej warstwy i oddzielnie od wytrzymałości i grubości karbońskiej (LZW). Strefa ochronna na powierzchni wyznaczona jako obwiednia wokół obiektów odpowiedniej kategorii posiada znaczący wpływ na zasięg eksploatacji na te obiekty, powoduje bowiem oddalenie punktu przegięcia niecki osiadania. Podana zależność na określenie strefy ochronnej  $S$ , od której należy wyznaczyć filar wynika z różnicy maksymalnego i minimalnego zasięgu poziomego górotworu naruszonego na nienaruszony.

4. Punkt przegięcia krzywej osiadania terenu nie przebiega nad krawędzią zatrzymanej eksploatacji  $a$  w odległości  $d_0$  (rys. 2, 4, 8) i jest funkcyjnie zależny od wytrzymałości skał karbońskich i ciśnienia pionowego, zaś dla warunków z grubą warstwą wytrzymałego nadkładu również zależny od jego grubości i wytrzymałości. Im warstwy zalegające do głębokości  $H$  posiadają większą wytrzymałość  $R_{cs}$ ,  $R_{rs}$  i  $T_{sr}$ , tym zasięg eksploatacji z głębokości  $H$  na powierzchnię jest większy. Warstwy górotworu o niskiej wytrzymałości  $R_{cs}$ ,  $R_{rs}$  zalegające nad eksploatacją pokładów zmniejszają zasięg tej eksploatacji na powierzchnię.

5. Zasięg deformacji warstw zalegających ponad wybraną częścią pokładu na zawał przbiega krzywoliniowo pod kątem zależnym od naturalnych parametrów skał i ciśnienia na danej głębokości eksploatacji. Kąt zasięgu deformacji zawałowej (12) przy uwzględnieniu zruszonego górotworu wcześniejszą eksploatacją na wyższych poziomach w wyniku pomniejszenia wytrzymałości tych warstw osiąga wartości większe. Ponieważ zasięg eksploatacji jest zmienny w czasie i współzależny od oddziaływania górotworu nienaruszonego - podano ogólny kąt  $U_0$  - zasięgu wpływów eksploatacji, który może służyć do prognozowania w GZW wpływów eksploatacji na powierzchnię w obszarze górniczym nieograniczonym. Kąt  $U_0$  po dostatecznie długim okresie zatrzymanej lub zakończonej eksploatacji osiąga wartość kąta  $f$  określonego dla wyznaczania filaru ochronnego.

Zasięg wpływów w warunkach, gdzie zalega gruba warstwa nadkładu o znacznej wytrzymałości (LZW) będzie większy od zasięgu w warunkach GZW, co wyni-

ka z uginania się warstwy nadkładu nad powstałą przestrzenią po eksploatacji pokładów na zawał.

## LITERATURA

- [1] Chudek M.: Mechanika górotworu. Wyd. Politechniki Śląskiej w Gliwicach 1981.
- [2] Chudek M., Iwaszczenko W.: Badania modelowe nad wpływem głębokości na odkształcenia skał i naprężeń w otoczeniu wyrobisk ścianowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. Górnictwo z. 109, Gliwice 1981.
- [3] Chudek M., Stefański L.: Obciążenia i naprężenia występujące w otoczeniu wyrobiska ścianowego oraz nacisk stropu na obudowę funkcjami własności geotechnicznych górotworu i głębokości. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Górnictwo z. 128, Gliwice 1983.
- [4] Chudek M., Stefański L.: Loads and stress occurring in the orogen in the vicinity of wall headings, remains of coal seams and barrier pillars in underground mines. Wyd. PAN, w druku.
- [5] Drzęźła B.: Zmienność zasięgu wpływów eksploatacji w górotworze. Przegląd Górniczy, 1975.
- [6] Knothe St.: Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum górnictwa i hutnictwa. t. I, z. 1, 1963.
- [7] Kidybiński A.: Mechaniczne własności skał karbońskich Zagłębia Górnośląskiego. Przegląd Górniczy, 1969.
- [8] Majcherczyk T., Ryncarz T.: Badania modelowe wpływu rodzaju warstw stropowych na wielkość obciążenia obudowy zmechanizowanej w ścianowym systemie eksploatacji pokładów węgla. Zeszyty Problemowe Górnictwa, PAN, 1979.
- [9] Praca zbiorowa: Ochrona powierzchni przed uszkodzeniami górnictwymi. Wyd. Śląsk, Katowice 1982.
- [10] Popiołek E., Ostrowski J.: Próba ustalenia głównych przyczyn rozbieżności prognozowanych i obserwowanych poeksploatacyjnych wskaźników deformacji. Ochrona terenów górniczych. 1981.
- [11] Staroń T.: Wyznaczanie niezbędnej odległości między pokładem podbieranym i podbierającym w warunkach eksploatacji zawałowej. Praca GIG, Kom. 701, Katowice 1978.
- [12] Stefański L.: Zasięg promienia filaru ochronnego funkcją parametrów górotworu i ochrony powierzchni. Ochrona Terenów Górniczych, WUG, 1983.
- [13] Skinderowicz B.: Równanie pełnej nieustalonej niecki osiadania. Przegląd Górniczy, Katowice 1977.
- [14] Borecki M.: Warunki współpracy z górotworem i zasady obliczania obudowy ścianowej. Prace GIG, Kom. Katowice 1975.
- [15] Szuścik W.: Wytrzymałość materiałów. Skrypt Uczelniany 1153 Pol. Śl., Gliwice 1983.
- [16] Jacobi O. Praxis der Gebirgsbeherrschung. 2 Auflage Verlag Gluckauf GmbH. Essen 1981.
- [17] Łojas J. i inni: Metoda GIG wyznaczania filarów ochronnych dla szybów. Dokumentacja prac GIG. Katowice 1977.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Bronisław Skinderowicz

Wpłynęło do Redakcji we wrześniu 1984 r.



ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ ВЫСТУПАЮЩЕЙ НАД ЗАВАЛОВЫМ ПРОСТРАНСТВОМ  
НА ПОВЕДЕНИЕ ГОРООБРАЗОВАНИЯ И ПОВЕРХНОСТИ

## Р е з ю м е

На основании модельных испытаний проведённых в Институте Проектирования, Строительства Шахт и Защиты Поверхности Силезского Политехнического Института в Гливицах 2 и разработанного метода прогнозирования нагрузки [3], [4] выступающей над заваловым пространством с учётом естественных геотехнических параметров карбоновых пород и слоистого характера горообразования, определено влияние эксплуатации на выше положенные слои а также влияние растягивающихся сил, действующих в деформируемых слоях, на нетронутое горообразование, которое является границей задержанного горного фронта.

Определена величина угла  $Z_n$  разрушения слоёв потолка. Определён полный угол  $Z_p$  (рис. 3-9), угол  $Z$  - радиуса деформации слоёв при эксплуатации с завалом рис. 9 и 10а, угол  $\alpha_1$  (рис. 9) деформации слоёв лежащих над залежами с завалом в связи с увеличением угла  $U_0$ . Процесс деформации слоёв с углом  $Z$  перемещается постепенно за продвигающимся фронтом - углом радиуса влияния эксплуатации на нетронутое горообразование после длительного времени задержки эксплуатации.

Приведены формулы для определения формы и величины защитных целиков поверхностных и подземных объектов а также формулы для расчёта показателей вертикальных и горизонтальных деформаций горного пространства и его наклона.

THE INFLUENCE OF STRESSES OCCURING OVER A CAVING SPACE  
ON THE BEHAVIOUR OF A ROCK AND A SURFACE

## S u m m a r y

On the basis of model studies carried out in the Institute of Mine Designing and Building, and Surface Protection, the Silesian Technical University, Gliwice [2], and of a method of prognosing the loads occuring over the caving space, the influence of exploitation on the upper layers within the limits of this exploitation, as well as the influence of the spreading forces acting in the layers being deformed, on the untouched rock being the limits of the stopped working face, have been described, taking into consideration natural geotechnical parameters of carbon rocks and layer structure of the rock.

The following angles have been defined: an angle  $Z_n$  of the damage of the indirect roof layers coming into partial caving, and full  $Z_p$  (Fig. 3 to 9); an angle  $Z$  form the range of layer deformation during the caving exploitation reaching the upper part of safety scaffold  $\alpha_1$  carrying the

time loading balance in the surrounding of the caving space (Fig. 9 and 10); an angle  $U_0$  (Fig. 9) of the deformation of the layers over the seam chosen for a caving caused by the increase of the angle  $Z$  up to the earth surface after a long period of time.

The process of the layer deformation at the angle  $U_0$  shifts successively with the moving working face; of the angle  $f$  of the range of exploitation influences on the untouched rock after the time long enough at the stopped exploitation. The formulae allowing to define the shape and size of the protecting pillars in the surface and underground structures, as well as the formulae for calculating the rate of vertical and horizontal ground deformation and ground slope have been derivated.