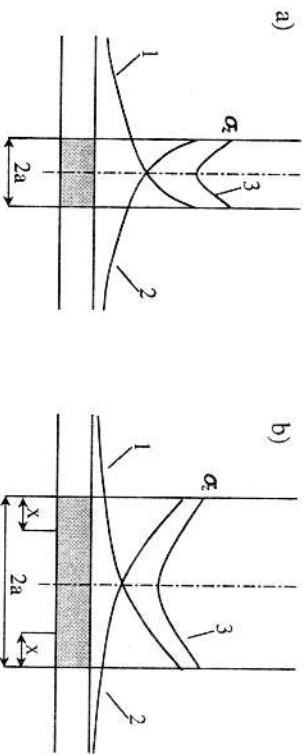


stępując na krawędzi filara, dochodzi tam bowiem do sumowania się wpływów z dwóch stron filara, natomiast w miarę oddalania się od krawędzi, wartość naprężenia pionowego maleje do  $p_2$ . Ślad w szeroki filarze może być rozgnieciona strefa boczna, a w filarze wąskim może być rozgnieciony cały filar ze względu na dużą koncentrację naprężeń. W każdym przypadku pozostawienie filarów w pokładzie węgla nie jest zjawiskiem korzystnym z punktu widzenia koncentracji naprężeń.



Rys. 15.2. Rozkład naprężeń pionowych: a) – w filarze wąskim ( $a \leq X$ ); b) – w filarze szerokim ( $a > X$ ); 1 – wpływ lewego wspornika; 2 – wpływ prawego wspornika; 3 – wypadkowa wykresu funkcji naprężeń

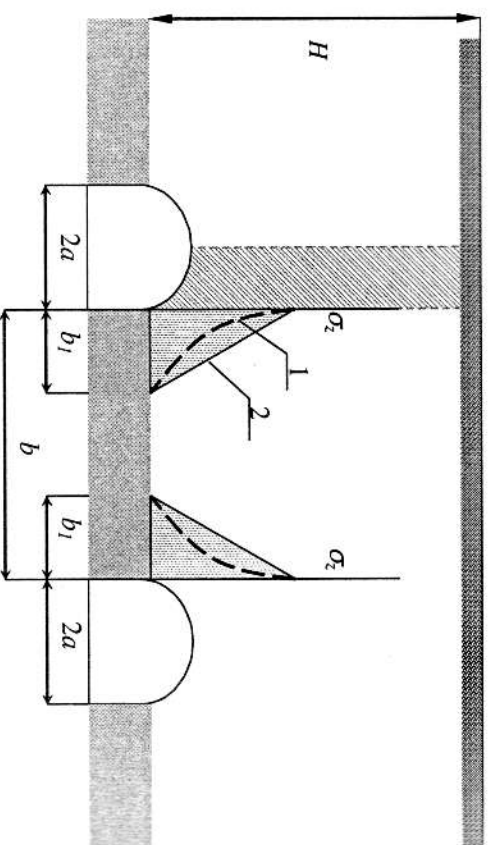
W stropie zalegającym nad filarem występuje moment zginający i siła po-przezna. W środku filara, czyli dla  $x = a$  siła poprzeczna osiąga wartość zero, natomiast moment zginający osiąga wartość dwa razy większą od tej wartości, jaka występowałaby w tym miejscu przy normalnym jednostronnym wybieraniu pokładu.

Przy dwustronnym wybieraniu filara zakładamy się stropu będzie następowało początkowo w pobliżu jednej i drugiej krawędzi pokładu, gdyż przy znacznej szerokości filara maksymalne momenty występują w tych miejscach. W filarze szerokim występuje więc korzystny rozkład momentu zginającego, natomiast w filarze wąskim występuje duża koncentracja momentu zginającego w stropie. Z chwilą gdy szerokość filara stanie się mniejsza od pewnej określonej wielkości, zakładamy się stropu nastąpi nad środkiem filara.

Pozostawienie zatem nie wybranych resztek pokładu jest niekorzystne zarówno z powodu nadmiernych naprężeń w samym pokładzie, jak i zbyt dużych wartości momentu zginającego w stropie pokładu.

## 15.1. Szerokość filara między dwoma wyrobiskami

Podczas prowadzenia wyrobisk przygotowawczych w pokładzie węgla może się zdarzyć, że dwa wyrobiska korytarzowe znajdują się blisko siebie, co powodu-



Rys. 15.3. Filary pomiędzy dwoma wyrobiskami: 1 – rzeczywisty wykres naprężeń; 2 – obliczeniowy wykres naprężeń

Zakładamy, że ciężar skal zalegających nad wyrobiskami jest zrównoważony poprzez przyrost naprężeń pionowych, powstających w całym filarze po obu stronach. Nad krawędzią powstaje wzmożone ciśnienie, które maleje ku środkowi filara do  $p_2$  w miarę oddalania się od krawędzi. Faktyczny krzywoliniowy wykres naprężeń można zastąpić wykresem prostoliniowym, co powoduje utworzenie trójkątnej powierzchni naprężeń. Z warunku równowagi sił na oś pionową wynika, ciężar połowy słupa skal leżących nad wyrobiskiem jest równy powierzchni trójkąta, czyli:

$$\gamma \cdot H \cdot a = \frac{1}{2} \sigma_2 b \quad (15)$$

gdzie:

$H$  – głębokość posadowienia wyrobiska, m,  
 $\gamma$  – ciężar objętościowy górotworu, MN/m<sup>3</sup>,  
 $a$  – połowa szerokości wyrobiska, m,

eksploatacyjne

abatement loading

$\sigma_z$  – ciśnienia dodatkowe w ociosach wyrobiska, MPa,  
 $b_1$  – szerokość strefy objętej zwiększonymi naprężeniami, m.

Nachylenie prostej rozkładu naprężeń zależne jest od wskaźnika zwięzłości skał  $f$  według zależności: im wskaźnik zwięzłości jest większy, tym kąt nachylenia jest też większy.

Z doświadczeń M. M. Protodiakonowa wynika, że:

$$\frac{\sigma_z}{b_1} = 0,745 f \quad (15.6)$$

przy czym wzór jest ważny, gdy  $\sigma_z$  jest w MPa i  $b_1$  w metrach, a wówczas:

$$\sigma_z = 0,745 f \cdot b_1 \quad (15.7)$$

Podstawiając wzór (15.7) do warunku równowagi (wzór 15.5) otrzymuje się:

$$\gamma \cdot H \cdot a = \frac{1}{2} 0,745 f \cdot b_1^2 \quad (15.8)$$

Z tego otrzymamy

$$b_1 = 1,638 \sqrt{\frac{\gamma \cdot H \cdot a}{f}} \quad (15.9)$$

gdzie:

- $b_1$  – szerokość strefy podwyższonych naprężeń, m,
- $\gamma$  – ciężar objętościowy, MN/m<sup>3</sup>,
- $H$  – głębokość, m,
- $a$  – połowa szerokości wyrobiska, m,
- $f$  – wskaźnik zwięzłości.

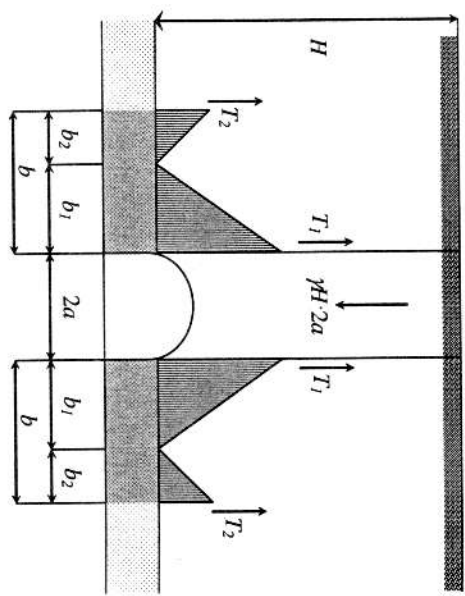
Szerokość filara pomiędzy dwoma równoległymi wyrobiskami korytarzowymi znajdującymi się w nienaruszonej całości powinna być równa podwójnej szerokości  $b_1$ , pomnożonej przez współczynnik bezpieczeństwa  $n$ , to znaczy

$$b = 2b_1 n = 0,33n \sqrt{\frac{\gamma \cdot H \cdot a}{f}} \quad (15.10)$$

gdzie:  $n$  – współczynnik bezpieczeństwa równy 1,5+2,0.

### 15.2. Szerokość filara między wyrobiskiem korytarzowym a wybraną częścią pokładu

Dla wyznaczenia szerokości filarów oporowych położonych pomiędzy wyrobiskiem korytarzowym, a wybraną częścią pokładu przyjęto, że wyrobisko o szerokości  $2a$  znajduje się na głębokości  $H$  w górotworze o ciężarze objętościowym  $\gamma$ . Do wyrobiska z dwóch stron przylegają filary oporowe o szerokości  $b$  (rys. 15.4).



Rys. 15.4. Filary pomiędzy wyrobiskiem a przestrzenią poeksploatacyjną

W wyniku oddziaływania ciężaru skał zalegających nad wyrobiskiem, w pionowych krogach pionowych poprowadzonych nad ociosami tego wyrobiska występują poprzeczne ścinające  $T_1$ , gdzie:

$$T_1 = \gamma \cdot H \cdot a \quad (15.11)$$

gdzie:

- $\gamma$  – ciężar objętościowy, MN/m<sup>3</sup>,
- $H$  – głębokość, m,
- $a$  – połowa szerokości wyrobiska, m.

Podstawiając zależność (15.11) do wzoru (15.9) na szerokość strefy objętej zwiększonymi naprężeniami otrzymuje się:

$$b_1 = 1,638 \sqrt{\frac{T_1}{f}} \quad (15.12)$$

gdzie:

$T_1$  – poprzeczna siła ściskająca, MN/m,  
 $f$  – wskaźnik zwieźłości.

Przy filarach oporowych, których zewnętrzne brzogi są granicami wybranych części pokładu czyli zrobów, występuje siła poprzeczna  $T_2$  (na granicy oddziaływania zroby – filar):

$$b_2 = 1,638 \sqrt{\frac{T_2}{f}} \quad (15.13)$$

Zgodnie z teorią fali ciśnień

$$T_2 = \frac{2L}{3\pi} p_z = 0,212 \cdot L \cdot p_z \quad (15.14)$$

gdzie:  $L$  – parametr, charakteryzujący właściwości pokładu i skąd stropu – długość półfali ciśnień, m.

Podstawiając wzór (15.14) do wzoru (15.13) otrzymamy zasięg wpływu eksploatacji w caliznie:

$$b_2 = 0,754 \sqrt{\frac{L \cdot p_z}{f}} \quad (15.15)$$

Do obliczonej w ten sposób wielkości  $b_2$  należy dodać szerokość zasięgu wpływu wyrobiska  $b_1$ , które chcemy chronić. Szerokość filara, czyli odstęp chodnika od krawędzi wybranej części pokładu, wynosi:

$$b = (b_1 + b_2) \cdot n \quad (15.16)$$

gdzie:  $n$  – współczynnik bezpieczeństwa,  $n=1,5 \div 2,0$ .

Szerokość filarów można także określić, wykorzystując analogię między ścisaniem próbki skalnej w maszynie wytrzymałościowej a ścisaniem filara w warunkach naturalnych. Obciążenie pionowe wywierane na próbkę unieszczonej między płytami prasy wywołuje dążenie próbki do rozszerzania się na boki na skutek czego w jej podstawach powstają siły tarcia. Siły te wywołują w próbce naprężenia poziome. Wpływ sił tarcia jest tym większy, im większa jest smukłość próbki, czyli stosunek wysokości do szerokości. Gdy zatem próbka jest płaska, naprężenia poziome zbliżają się swą wartością do naprężeń pionowych i zniszczenie próbki nastąpi dopiero przy bardzo dużych ciśnieniach pionowych. Gdy próbka jest smu-

kła, naprężenia poziome są nieznaczne i zniszczenie próbki nastąpi przy znacznie mniejszych naprężeniach pionowych.

Wykorzystując zjawisko zmiany wytrzymałości próbki skalnej przy zmianach jej wymiarów, tzn. stosunku wysokości do szerokości, można przyjąć, że dla próbki prostopadłościenniej o podstawie kwadratowej wzór na wytrzymałość przyjmijmy zależność:

$$R = R_c \left( A + B \frac{b}{h} \right) \quad (15.17)$$

gdzie:

- $R_c$  – wytrzymałość na ściskanie próbki o kształcie sześciangu, MPa,
- $R$  – wytrzymałość na ściskanie filara, MPa,
- $b$  – szerokość filara, m,
- $h$  – wysokość filara, m,
- $A, B$  – współczynniki (według Sałustowicza  $A=0,75, B=0,25$ ; według Bieniawskiego  $A=0,64, B=0,36$ ).

Im większa jest wartość stosunku  $b/h$ , tym wytrzymałość filara (próbki) jest większa.

Jeżeli wartość  $R$  podzielimy przez współczynnik bezpieczeństwa  $n$ , według Sałustowicza otrzymamy naprężenie dopuszczalne:

$$\sigma = \frac{R_c}{n} \left( 0,75 + 0,25 \frac{b}{h} \right) \quad (15.18)$$

Wartość naprężeń w filarze oporowym w sąsiedztwie zrobów można rozłożyć dla dwóch stref:

- 1) strefy przyociosowej wyrobiska o szerokości  $b_1$ ,
- 2) strefy na granicy oddziaływania zrobów i filara o szerokości  $b_2$ .

Strefa pierwsza:

$$\sigma_{z1} = \frac{\gamma \cdot H \cdot a}{b_1} = \frac{p_z \cdot a}{b_1} \quad (15.19)$$

Strefa druga:

$$\sigma_{z2} = \frac{T_2}{b_2} = \frac{2L p_z}{3\pi b_2} \quad (15.20)$$

gdzie:

- $\sigma_1, \sigma_2$  – naprężenia, MPa,
- $\gamma$  – ciężar objętościowy, MN/m<sup>3</sup>,
- $a$  – połowa szerokości wyrobiska, m,
- $b_1$  – strefa zwiększonych naprężeń od strony wyrobiska korytarzowego, m,
- $b_2$  – strefa zwiększonych naprężeń od strony wyrobiska ścianowego, m,
- $T_2$  – siła tnąca, MN/m,
- $L$  – parametr, charakteryzujący właściwości pokładu i skał stropu – długość półfali ciśnień, m,
- $p_z$  – ciśnienie pierwotne, MPa.

Średnia wartość naprężeń w filarze wynosi:

$$\sigma = p_z + \frac{p_z \cdot a}{2b_1} + \frac{2L}{3\pi} \frac{p_z}{2b_2} \quad (15.21)$$

Przyjmując, że  $2b_1 \approx 2b_2 = b$ , otrzymujemy:

$$\sigma = p_z + \frac{p_z \cdot a}{b} + \frac{2L}{3\pi} \frac{p_z}{b} \quad (15.22)$$

Ponieważ naprężenia średnie nie powinny przekraczać naprężeń dopuszczalnych, dlatego porównując wzory (15.18) i (15.22), obliczymy stosunek szerokości filara do grubości pokładu, a mianowicie:

$$\frac{b}{h} = \frac{2n \cdot p_z}{R_c} - 1,5 + \sqrt{\left(\frac{2n \cdot p_z}{R_c} - 1,5\right)^2 + \left(\frac{2L}{3\pi} + a\right) \frac{4n \cdot p_z}{h \cdot R_c}} \quad (15.23)$$

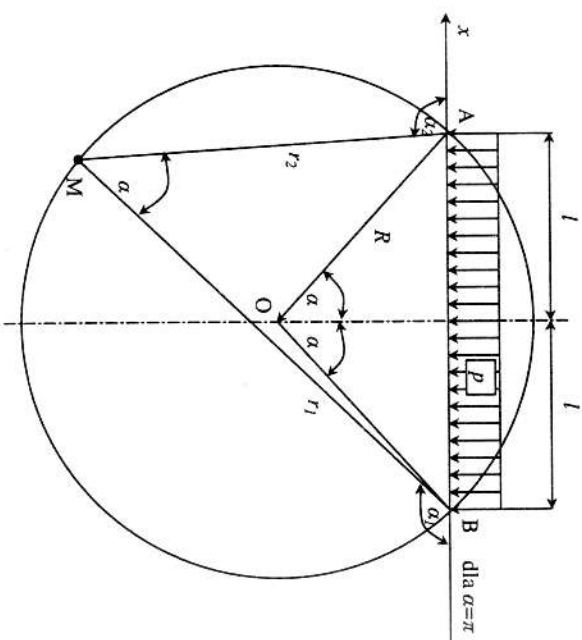
Ze wzoru (15.23) wynika, że szerokość filara uzależniona jest od miąższości pokładu, w którym filar pozostawiamy.

W obliczeniach praktycznych można posługiwać się zarówno wzorem (15.16), jak i wzorem (15.23), przy czym należy wybrać wartość szerokości filara  $b$ , tę która wypada większa.

### 15.3. Stan naprężenia górotworu pod pozostawionymi resztkami (filarami)

Pozostawione filary przenoszą wywierane na nie ciśnienie na leżące pod lub nad nimi części górotworu i powodują również tutaj niejednokrotnie nadmierny

wzrost ciśnienia. Dla określenia naprężeń w górotworze pod pozostawionym filarem przyjęto, że część górotworu leżąca poniżej wybranego pokładu i pozostawionego filara o szerokości  $2l$  uważamy za półplaszczynę obciążoną obciążeniem równomiernym  $p$  (rys. 15.5). Stan naprężenia w dowolnym punkcie M leżącym pod filarem określają naprężenia pionowe  $\sigma_z$ , poziome  $\sigma_x$  oraz styczne  $\tau$ .



Rys. 15.5. Schemat wyznaczania równych naprężeń pod filarem

Punkt M w układzie dwubiegunowym ma współrzędne  $r_1, r_2$  oraz kąty  $\alpha_1$ . W przyjętym układzie otrzymuje się następujące rozwiązania:

$$\sigma_z = -\frac{p}{\pi} \left[ \frac{1}{2} \sin 2\alpha_2 - \frac{1}{2} \sin 2\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_1 \right] \quad (15.24)$$

$$\sigma_x = -\frac{p}{\pi} \left[ -\frac{1}{2} \sin 2\alpha_2 + \frac{1}{2} \sin 2\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_1 \right] \quad (15.25)$$

$$\tau = -\frac{p}{\pi} \left[ \cos^2 \alpha_1 - \cos^2 \alpha_2 \right] \quad (15.26)$$

Wartość średnia naprężeń normalnych wynosi: