ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1976

Seria: GÓRNICTWO z. 69 Nr kol. 468

Stanisław OLEKSY, Marek KWAŚNIEWSKI

NAUKOWE METODY WYZNACZANIA FILARÓW OCHRONNYCH W KONFRONTACJI Z OBOWIAZUJĄCĄ AKTUALNIE INSTRUKCJĄ

Streszczenie. W pracy podano przegląd naukowych metod wyznaczania filarów ochronnych dla obiektów powierzchniowych i szybów. Przedyskutowano metody następujących polskich badaczy - Budryka, Sałustowicza, Szpetkowskiego, Skinderowicza oraz Knothego i Filcka - w konfrontacji z obowiązującą aktualnie instrukcją [21]. Niektóre z nich zilustrowano nomogramami pozwalającymi wyznaczyć wielkość filarów ochronnych w zależności od dopuszczalnych odkształceń obiektów chronionych, głębokości prowadzenia eksploatacji i grubości eksploatowanego pokładu oraz sposobu kierowania stropem (zawał, podsadzka).

1. WPROWADZENIE

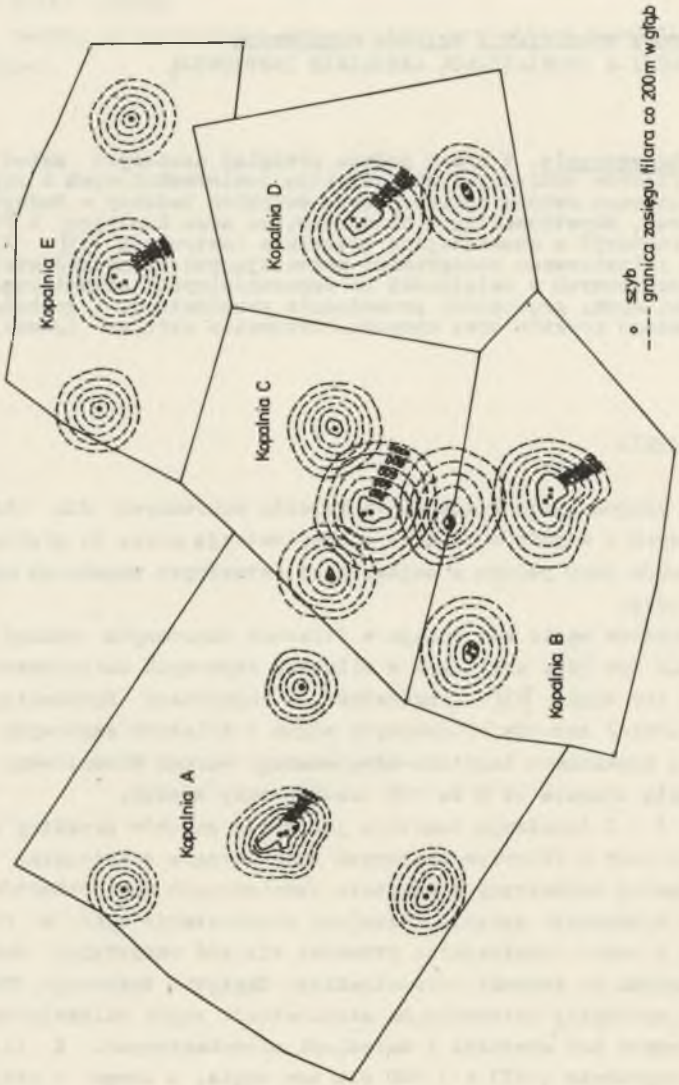
Problem racjonalnego wyznaczania filarów ochronnych dla obiektów powierzchniowych i szybów w związku z eksploatacją coraz to głębiej zalegających zasobów jest jednym z najbardziej aktualnych zagadnień nauki i praktyki górniczej.

Ilość zasobów węgla kamiennego w filarach ochronnych szacuje się na około 11 mld ton [8], przy czym w filarach szybowych uwięzionych jest około 3,5 mld ton węgla [13]. Przykładowo, w kopalniach Rybnickiego Okręgu Węglowego udział zasobów bilansowych węgla w filarach szybowych sięga do 25% [16]; w kopalniach Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego filary szybowe obejmują obecnie od 8 do 20% zasobów rudy miedzi.

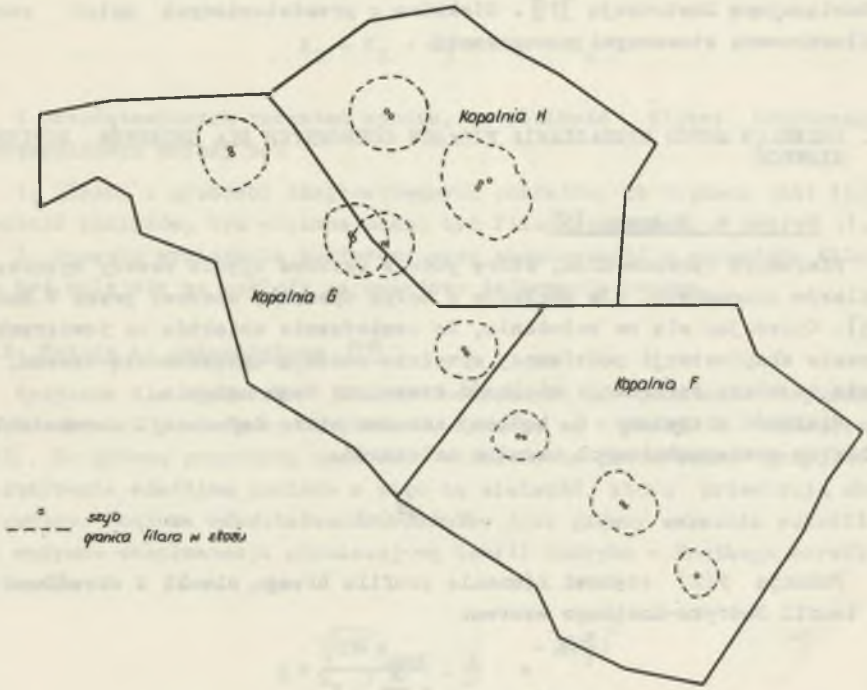
Rysunki 1 i 2 ilustrują dobitnie jak wiele zasobów kopaliny użytecznej uwięzionych jest w filarach szybowych tych okręgów górniczych.

Stały postęp techniczny w zakresie bezpiecznych dla obiektów chronionych metod wybierania sprzyja rozwojowi eksploatacji złóż w filarach ochronnych. Obecnie eksploatację prowadzi się pod wszystkimi dużymi miastami położonymi na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wiele kopalń opiera swe wydobycie wyłącznie na eksploatacji węgla zalegającego w filarach ochronnych pod miastami i osiedlami mieszkaniowymi. Z filarów tych wydobyto dotychczas (1973 r.) 900 mln ton węgla, z czego - przykładowo - do 1939 r. uzyskano około 50 mln ton, a w latach 1966-1970 - 276 mln ton [15].

Od roku 1962 prowadzi się również planową eksploatację pokładów w filarach szybowych. Pomimo tego, że jak dotychczas wybierano filary szybów - w większości pomocniczych - kopalń o kończących się zasobach, na małych



Rys. 1. Filary ochronne dla szybów kopalń węgla kamiennego ROW



Rys. 2. Filary ochronne dla szybów kopalń rudy miedzi LGOM

i średnich głębokościach [1, 2, 3, 4, 11, 12, 14, 16, 20] należy oczekiwać, że wobec coraz to doskonalszych rozwiązań w zakresie zabezpieczania konstrukcji obudowy i wyposażenia szybów przed wpływami robót górniczych oraz nowych, naukowych metod prowadzenia eksploatacji w filarach szybowych (por. przykładowo [22]) wybieranie zasobów w obrębie filarów stanie się już w niedalekiej przyszłości powszechne.

Błędem byłoby wszelako sądzić, że w związku z tym kwestia wyznaczania filarów ochronnych traci na znaczeniu i przestaje być zagadnieniem aktualnym i ważnym. Oczywistym jest przecież, że prowadzenie robót wybierkowych w obrębie filarów związane jest z określonymi rygorami tak pod względem techniki i technologii samej eksploatacji jak i zabezpieczenia obiektów chronionych, a więc znajomość granic, od których rygory te - najczęściej pracochłonne i kosztowne - powinny być spełnione, nie jest rzeczą obojętną.

Problemowi dotyczącemu kryteriów, zasad i sposobów wyznaczania filarów ochronnych poświęcono dużą ilość opracowań.

W artykule niniejszym autorzy dokonują krótkiego przeglądu polskich naukowych metod wyznaczania filarów ochronnych w konfrontacji z aktualnie obowiązującą instrukcją [21]. Niektóre z przedstawionych metod zostały zilustrowane stosownymi nomogramami.

2. PRZEGLĄD METOD WYZNACZANIA FILARÓW OCHRONNYCH DLA OBIEKTÓW POWIERZCHNIOWYCH

2.1. Metoda W. Budryka [5]

Pierwszym opracowaniem, które podaje naukowe ujęcie zasady wyznaczania filarów ochronnych, dla pokładów o małym upadzie, stanowi praca W.Budryka [5]. Opierając się na założeniu, że uszkodzenia obiektów na powierzchni w czasie eksploatacji podziemnej wywołane zostają ugięciem się terenu, przyjęto za miarę deformacji wielkość krzywizny tego ugięcia.

Wielkość krzywizny K, będącej zarazem miarą deformacji uszkodzeń obiektów powierzchniowych określa zależność:

$$K = F''(x) \tag{1}$$

Funkcja F(x) stanowi równanie profilu brzegu niecki i określona jest w teorii Budryka-Knothego wzorem:

$$F(x) = \int \frac{w_{max}}{r} \cdot e^{-\frac{\pi}{r^2} \cdot x^2} \cdot dx, \tag{2}$$

gdzie:

w_{max} - największe możliwe obniżenie terenu na skutek eksploatacji pokładu,

r - zasięg głównych wpływów eksploatacji na powierzchni, którego wielkość wynosi:

$$r = \frac{H}{tg\beta}, \tag{3}$$

gdzie:

H - głębokość zalegania eksploatowanego pokładu,

β - kąt zasięgu wpływów głównych.

Znając dla chronionego terenu dopuszczalną wartość K (K_b) możemy z równania (1) wyznaczyć bezpieczną odległość jego granicy od krawędzi eksploatowanego pokładu. Wyznaczanie filarów ochronnych na podstawie dopuszczalnej wartości krzywizn przedstawia rys. 3. Przy wyznaczaniu filara w kilku pokładach należy mieć na uwadze, ażeby suma deformacji wywołanych wy-

braniem każdego z tych pokładów nie przekraczała deformacji dopuszczalnej dla chronionego terenu, a więc musi być zachowany warunek:

$$K_1 + K_2 + K_3 + \ldots = K_b$$

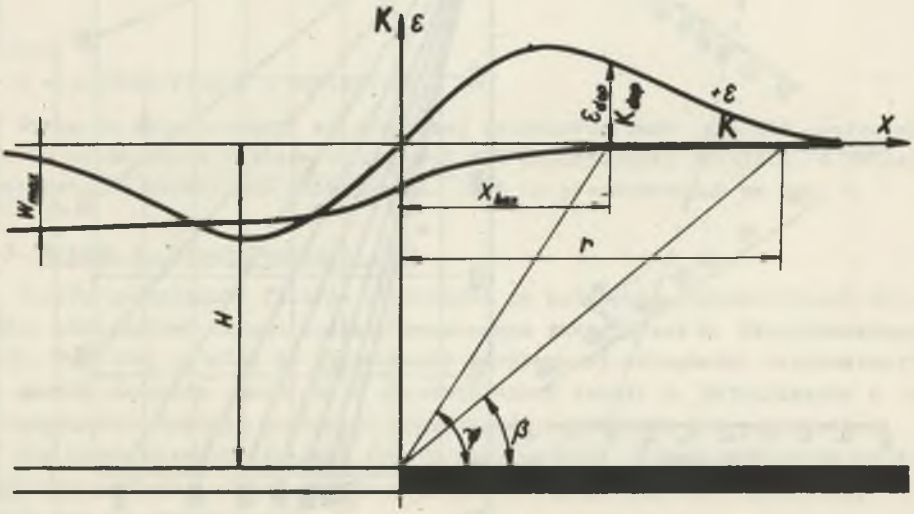
Z przedstawionych rozważań wynika, że wielkość filara ochronnego w szczególności zależy od:

1. Ilości i grubości eksploatowanych pokładów; im większa jest ilość i grubość pokładów, tym większe muszą być filary ochronne.
2. Sposobu wybierania pokładów; przy eksploatacji z podsadzką filar może być mniejszy ze względu na mniejsze deformacje terenu.

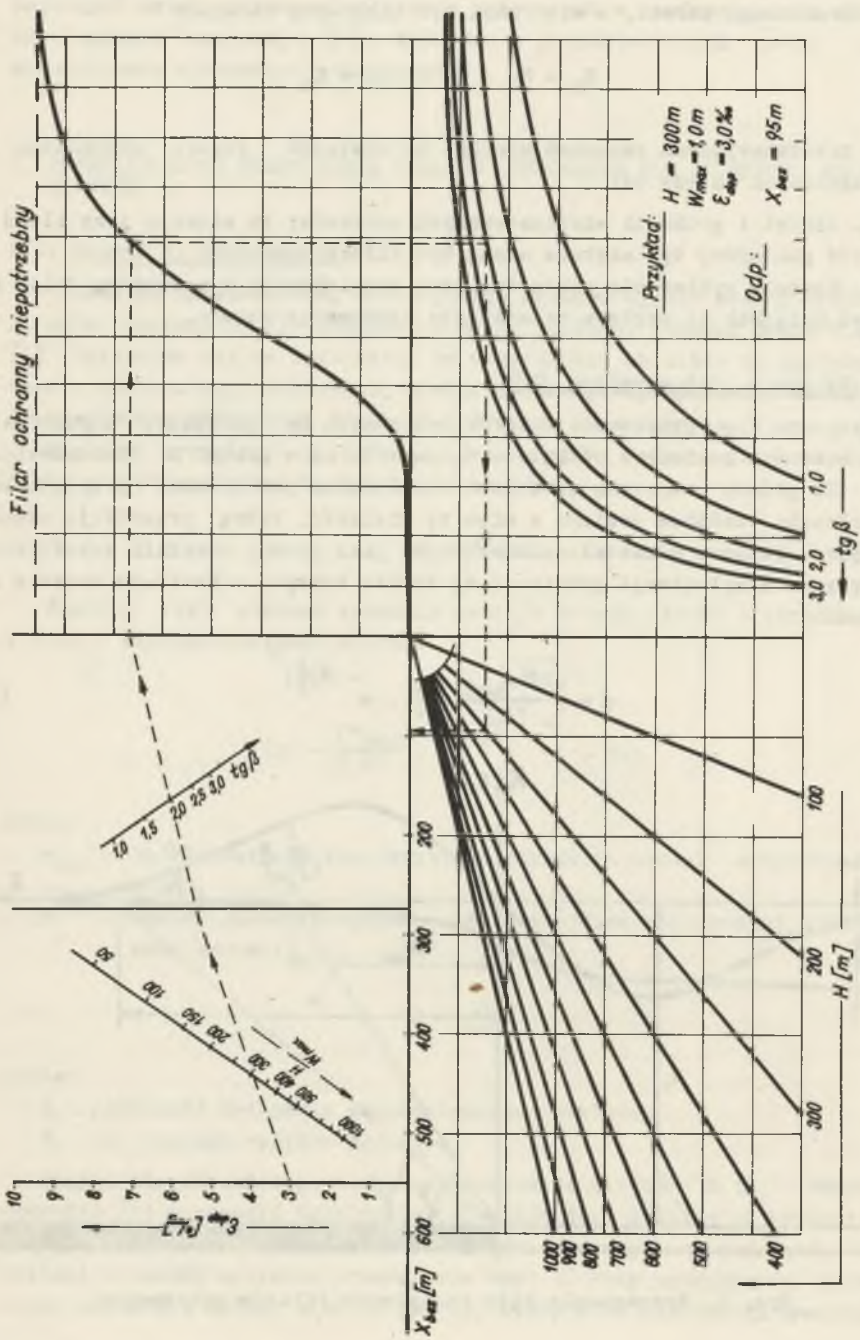
2.2. Metoda A. Sałustowicza [17]

Wytyczne dla wyznaczania filarów ochronnych na podstawie dopuszczalnych wartości poziomych odkształceń, zawarte są w pracy A. Sałustowicza [17]. Za główną przyczynę uszkodzeń obiektów na powierzchni przyjęto odkształcenia właściwe poziome a więc tę wielkość, którą przewidują obecne przepisy. Poziome odkształcenia właściwe jako główny wskaźnik szkodliwości wpływów eksploatacji górniczej wg teorii Budryka - Knothego określa zależność:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{2\pi}\, w_{max}}{r} \cdot \frac{x}{r} \cdot e^{-\pi\left(\frac{x}{r}\right)^2} \qquad (4)$$



Rys. 3. Wyznaczanie kąta nachylenia filarów ochronnych



Rys. 4. Wyznaczenie filarów ochronnych na podstawie dopuszczalnej wielkości deformacji terenu wg teorii W. Budryka - S. Knothego

Znając dla danej powierzchni chronionej ε_b możemy na podstawie zależności (4) wyznaczyć bezpieczną odległość obiektu od krawędzi pokładu, wyrażoną w ułamku zasięgu wpływów $\frac{x_b}{r}$.

Wyznaczenie filarów ochronnych na podstawie dopuszczalnej wartości poziomych odkształceń przedstawia rys. 3.

W oparciu o zależność (4) sporządzono nomogram dla wyznaczania filarów ochronnych na podstawie ε_{dop} (rys. 4). Wykorzystując ten nomogram, wyznaczone zostały wartości x_b dla II kategorii ochrony (ε_{dop} = 3‰). Na podstawie otrzymanych wyników sporządzono wykres wielkości x_b, jako funkcji H dla w_{max} równych 1 m, 2 m, 3 m, 4 m i 5 m (rys. 7a).

Z rys. 7a wynika, że wymiary filara ochronnego wzrastają wraz z głębokością ale tylko do pewnej granicy, a następnie zmniejszają się aż do zera. Wynika to stąd, że po przekroczeniu pewnej głębokości odkształcenia są tak małe, że filar ochronny jest niepotrzebny. Z porównania szerokości filara obliczonej na podstawie dopuszczalnej wielkości deformacji terenu z szerokością wyznaczoną wg obowiązującej instrukcji wynika, że dotychczasowe normy dają filary zbyt duże (za wyjątkiem małych głębokości). Powyższe rozważania dotyczyły filarów ochronnych dla powierzchni chronionych o znacznych rozmiarach. Do projektowania filarów ochronnych dla pojedynczych obiektów na powierzchni można wykorzystać zależność na odkształcenia poziome nad środkiem kołowego filara [6]. Oblicza się je ze wzoru

$$\varepsilon = \pi\sqrt{2\pi}\,\frac{w_{max}}{r^4}\cdot R^2\cdot e^{-\frac{\pi}{r^2}\cdot R^2}, \qquad (5)$$

gdzie:

R - promień filara w pokładzie.

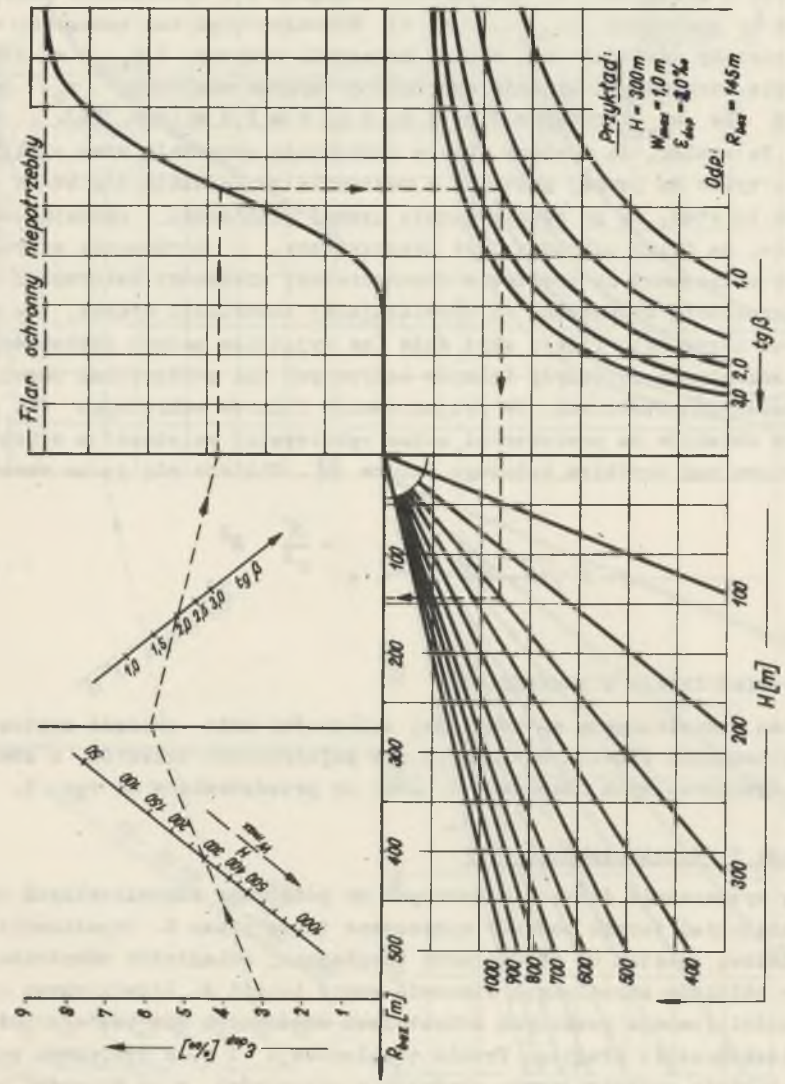
Nomogram skonstruowany wg powyższej zależności może znaleźć zastosowanie do wyznaczania filarów ochronnych dla pojedynczych obiektów o znanej wartości dopuszczalnych odkształceń. Jest on przedstawiony na rys. 5.

2.3. Metoda S. Szpetkowskiego [19]

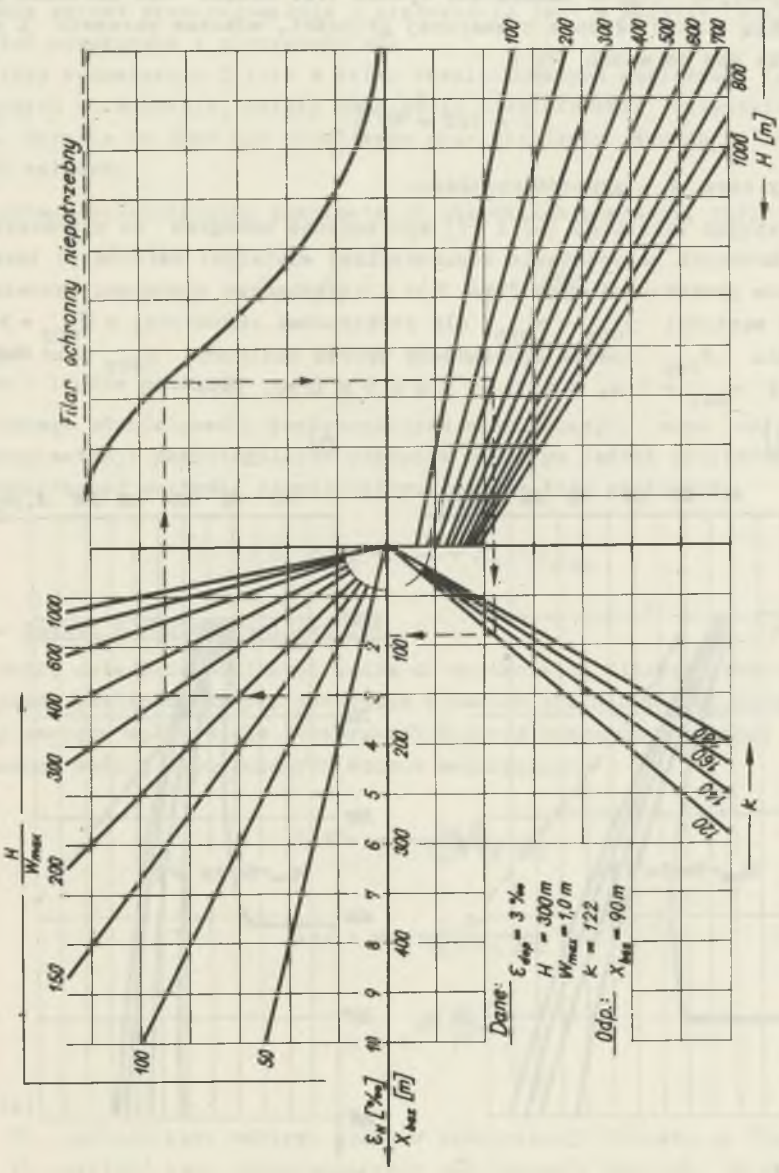
Zasady wyznaczania filarów ochronnych na podstawie dopuszczalnych wartości odkształceń terenu zostały opracowane także przez S. Szpetkowskiego [19]. Podstawę ustaleń do wyznaczania bezpiecznej odległości eksploatacji od granic obiektów chronionych stanowią wzory teorii J. Litwiniszyna a w szczególności funkcja poziomych odkształceń właściwych dla powierzchni.

Dla nieskończenie długiego frontu eksploatacji i pola wybranego pojedynczego pokładu, odkształcenia właściwe w odległości x od krawędzi, oblicza się za pomocą wzoru:

$$\varepsilon = 5\, w_{max}\, k\cdot H^{-\frac{3}{2}}\cdot x\cdot e^{-\frac{\pi k^2}{10^6 H}x^2}, \qquad (6)$$



Rys. 5. Wyznaczanie filarów ochronnych dla pojedynczych obiektów na podstawie dopuszczalnej wielkości deformacji terenu wg teorii W. Budryka - S. Knothego



Rys. 5. Wyznaczanie filarów ochronnych na podstawie dopuszczalnej wielkości deformacji terenu wg teorii J. Litwiniszyna

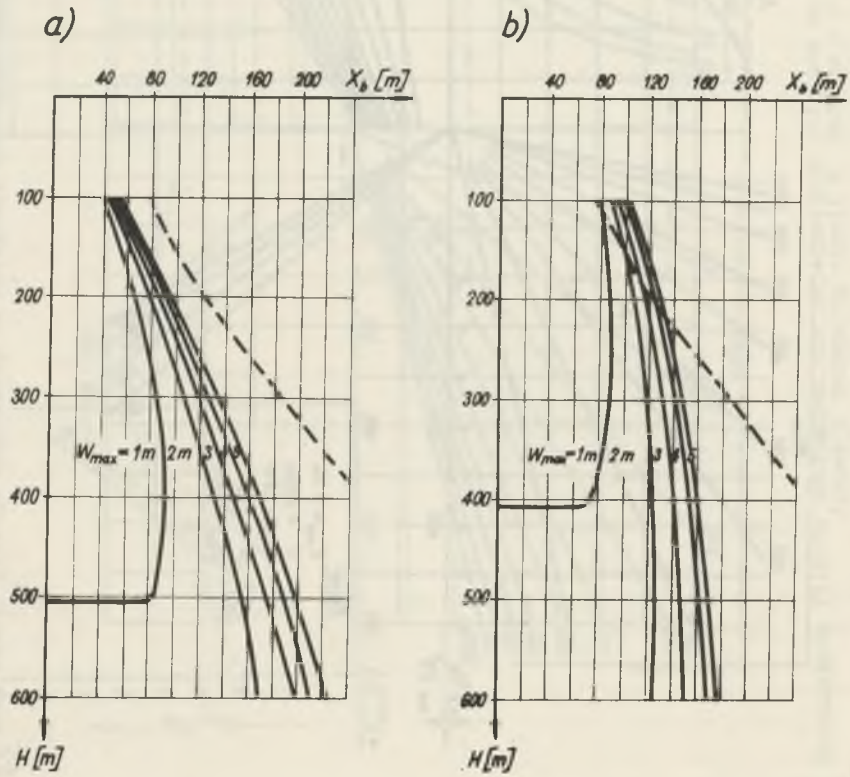
gdzie:

k - parametr górotworu wyrażający własności mechaniczne skał. Wartość jego, w przypadku gdy utwory karbońskie dochodzą do powierzchni lub są pokryte cienkim nadkładem, wynosi 122. Jeżeli nad karbonem zalegają utwory młodsze o znacznej grubości, wówczas parametr k oblicza się ze wzoru [19]:

$$k = 122 + 55\,\frac{h}{H} \tag{7}$$

przy czym h - grubość nadkładu.

Wykorzystując zależność (6) i (7) sporządzono nomogram do wyznaczania filarów ochronnych na podstawie dopuszczalnej wielkości deformacji terenu dla obiektów powierzchniowych (rys. 6). Z otrzymanego nomogramu wyznaczone zostały wartości $x_{dop} = x_{min}$ dla powierzchni chronionej o $\varepsilon_{dop} = 3‰$. Dla wartości ε_{dop} został sporządzony wykres wielkości x_{dop} jako funkcja H dla w_{max} = 1 m, 2 m, 3 m, 4 m i 5 m (rys. 7b).



Rys. 7. Rozkład dopuszczalnych odległości eksploatacji od obiektów dla II kategorii ochrony skonstruowany na podstawie teorii

a) W. Budryka - S. Knothego, b) J. Litwiniszyna

Bezpośrednio z rys. 7b wynika, że obowiązująca instrukcja wyznaczania filarów ochronnych (omówiona w rozdz. 4) podaje wymiary filarów za duże, z wyjątkiem głębokości do ok. 200 m. Przyjmowanie, że wielkość filarów rośnie wprost proporcjonalnie z głębokością jest w świetle powyższych ustaleń niesłuszne i nieuzasadnione.

Przy wyznaczaniu filara w kilku eksploatowanych pokładach lub przewidzianych do wybrania, należy uwzględnić oddziaływanie wszystkich pokładów. Zadanie to może być rozwiązane przy przyjęciu jednego z następujących założeń:

- równego oddziaływania eksploatacji wszystkich pokładów, czyli

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \ldots = \varepsilon_n = \frac{\varepsilon_{dop}}{n}, \tag{8}$$

gdzie:

n - liczba pokładów

- różnego oddziaływania poszczególnych eksploatacji; suma oddziaływania eksploatacji poszczególnych pokładów w każdym jednak przypadku nie może przekraczać wartości dopuszczalnych odkształceń poziomych

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \ldots + \varepsilon_n = \varepsilon_{dop} \tag{9}$$

2.4. Metoda B. Skinderowicza [18]

Próbę ustalenia wielkości kątów do wyznaczania filarów ochronnych dla obiektów powierzchniowych podejmuje w swoich pracach B. Skinderowicz [18]. Kąty zasięgu wpływów dla konstrukcji filarów ochronnych powinny być wyznaczone według następujących wzorów empirycznych

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{\operatorname{tg}\beta}{1 + \operatorname{tg}\beta \operatorname{tg} k\alpha}, \tag{10a}$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\operatorname{tg}\beta}{1 - \operatorname{tg}\beta \operatorname{tg} k\alpha}, \tag{10b}$$

$$k = e^{-\pi\left(\frac{\alpha}{90}\right)^2}, \tag{11}$$

gdzie:

β - wartość kąta zasięgu wpływów eksploatacji pokładu po rozciągłości

φ - wartość kąta zasięgu wpływów eksploatacji pokładu od strony upadu,

ψ - wartość kąta zasięgu wpływów eksploatacji pokładu od strony wychodni,

α - kąt nachylenia pokładu,

$k\alpha$ - kąt odchylenia linii przenoszenia się wpływów eksploatacji od pionu w kierunku upadu pokładu.

Należy powrócić do ustalenia jednego kąta wpływów, bez względu na kategorię chronionego obiektu.

Kategorię chronionych obiektów uwzględnia się przy wyznaczaniu granic powierzchni chronionej. Granice jej ustala się w ten sposób, że od obiektów wyznacza się pas o szerokości względnie promieniu od 0-70 m w zależności od czułości, wartości i przeznaczenia obiektu. Szerokość pasa ochrony powinna być ustalona w granicach, dla:

I kat. - 50 ÷ 70 m

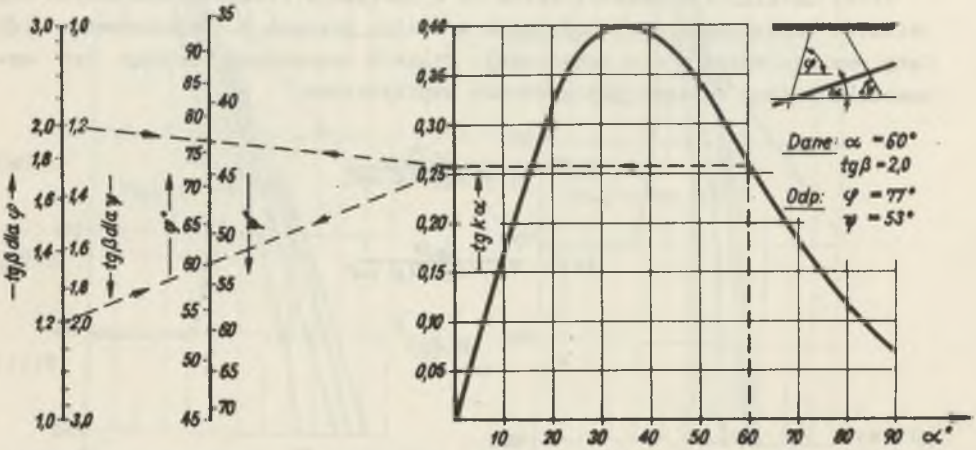
II kat. - 30 ÷ 50 m

III kat. - 0 ÷ 30 m

Ze względu na przyjęcie zasady eksploatacji filarów ochronnych, należy odstąpić od konstrukcji filarów o kształcie koła czy elipsy - nadając im kształt kwadratu, prostokąta lub trapezu.

Porównując wielkości kątów φ i ψ wyznaczonych według zależności (10a) i (10b) z wielkością tych kątów wyznaczonych w oparciu o obowiązującą w resorcie górnictwa instrukcję, stwierdzić należy, że dla pokładów o nachyleniu mniejszym od 40° istnieje duża ich zgodność.

Na podstawie zależności (10a) i (10b) zbudowano nomogram służący do wyznaczania kątów φ i ψ w zależności od kąta α (rys. 8).



Rys. 8. Wyznaczanie filarów ochronnych dla obiektów powierzchniowych wg metody B. Skinderowicza

3. METODY WYZNACZANIA SZYBOWYCH FILARÓW OCHRONNYCH

3.1. Metoda S. Knothego [10]

Podstawowe opracowania, które podają naukowe ujęcie zasady wyznaczania filarów szybowych stanowią prace S. Knothego [9, 10]. Za podstawę ustaleń rozmiarów filara szybowego przyjęto kryterium dopuszczalnych odkształceń pionowych górotworu w bezpośrednim sąsiedztwie obudowy szybu. Pozostawiając filary ochronne dla szybu, mamy zwykle do czynienia z wybieraniem pokładu wokół szybu poza filarem.

Dla nieskończenie długiego pola wybranego, pojedynczego poziomego pokładu odkształcenia pionowe ε_z w osi filara szybowego na poziomie z wyniosą:

$$\varepsilon_z = -\pi w_{max} \frac{d}{dz}\left(\frac{1}{r_z^2}\right) \cdot R^2 \cdot e^{-\frac{R^2}{r_z^2}}, \tag{12}$$

gdzie:

r_z - zasięg wpływów głównych na poziomie z.

Wielkość r_z podana przez W. Budryka wynosi:

$$r_z = r\left(\frac{z}{H}\right)^n. \tag{13}$$

Wartość wykładnika n zależy od rodzaju górotworu. Uwzględniając we wzorze (12) wartość r_z ze wzoru (13) otrzymujemy:

$$\varepsilon_z = -2\pi n\, w_{max} \frac{H^{2n}}{z^{2n+1}} \cdot \frac{R^2}{r^2} \cdot e^{-\frac{H^{2n}}{z^{2n}} \cdot \frac{R^2}{r^2}} \tag{14}$$

Maksymalne odkształcenia pionowe ε_z w osi filara szybowego o promieniu R wystąpią na poziomie z_m, określonym zależnością

$$z_m = \sqrt[2n]{\frac{2\pi n}{2n+1}} \cdot \sqrt[n]{\frac{R}{r}} \cdot H \tag{15}$$

Dla $z = z_m$ otrzymujemy ze wzoru (14) $\varepsilon_z = \varepsilon_{z(R)max}$

$$\varepsilon_{z(R)max} = w_{max} \cdot \frac{2n+1}{z_m} \cdot e^{-\frac{2n+1}{2n}} \tag{16}$$

Przyjmując w granicznym przypadku $\varepsilon_{z(R)max} = \varepsilon_{z\ dop}$ określimy z równania (16) z_m jako funkcję $\varepsilon_{z\ dop}$

$$z_m = (2n + 1) \cdot \frac{w_{max}}{\varepsilon_{z\ dop}} \cdot e^{-\frac{2n+1}{2n}} \tag{17}$$

Uwzględniając, że $tg\beta = \frac{H}{r}$ z przekształcenia zależności (15) otrzymujemy wielkość promienia filara szybowego w osi, którego $\varepsilon_z \leqslant \varepsilon_{z\ dop}$

$$R_b = \frac{z_m^n}{tg\beta\, H^{n-1}} \sqrt{\frac{2n+1}{2n}}. \tag{18}$$

W przypadku, gdy dla ustalonej wielkości $\varepsilon_{z\ dop}$, z_m wypadnie większe od głębokości zalegania rozpatrywanego pokładu, wtedy promień filara należy określić z zależności (14).

Przy założeniu we wzorze (15), że $n = 1$, maksymalne odkształcenia pionowe w osi filara szybowego wystąpią na poziomie z_m, określonym zależnością:

$$z_m = 1{,}447\, \frac{R}{r} \cdot H \tag{19}$$

dla $z = z_m$

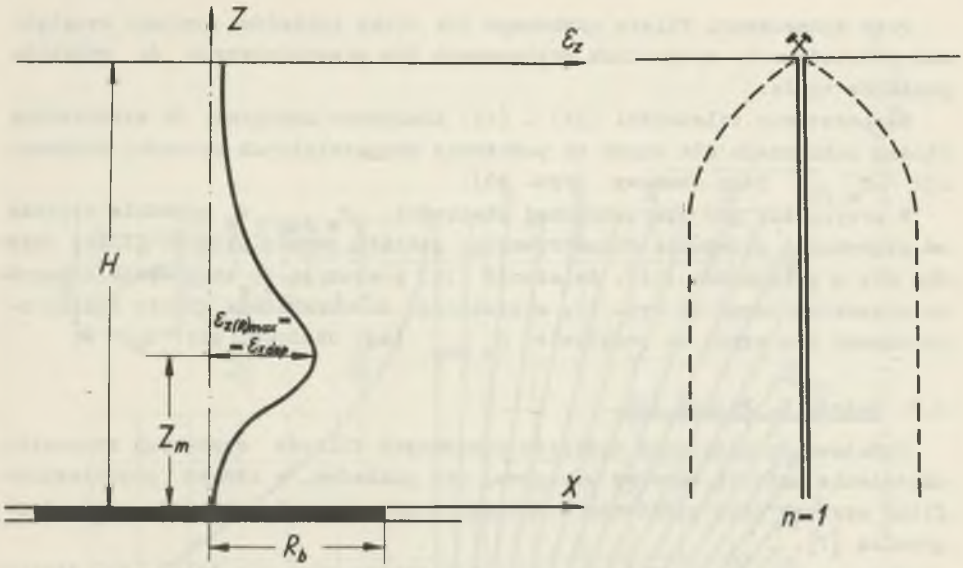
$$\varepsilon_z = \varepsilon_{z(R)max} = 0{,}462\, w_{max} \cdot \frac{r}{R \cdot H} \tag{20}$$

Odpowiednio więc, w granicznym przypadku, gdy $\varepsilon_{z(R)max} = \varepsilon_{z\ dop}$ oraz uwzględniając, że $tg\beta = \frac{H}{r}$ z zależności (19) i (20) otrzymujemy:

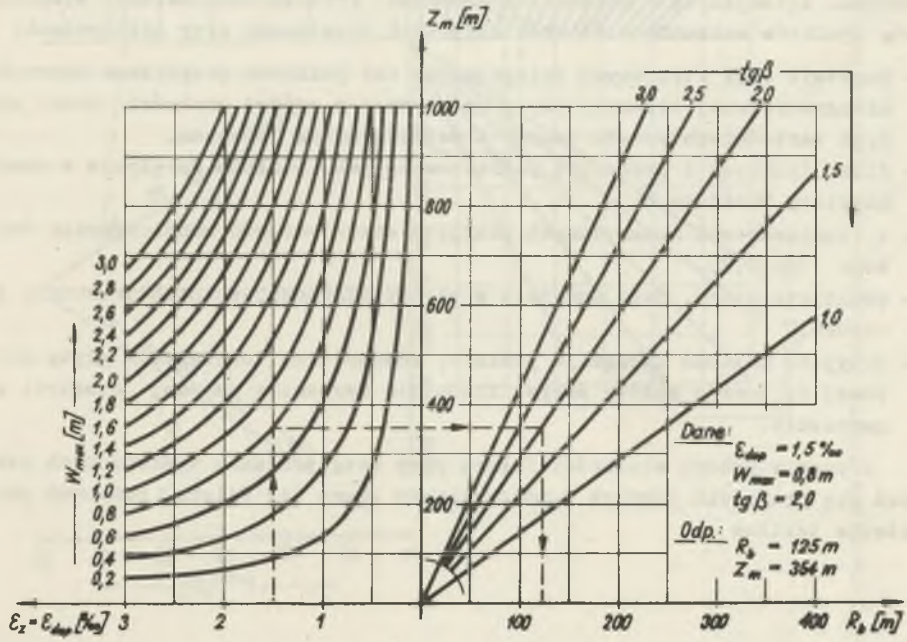
$$z_{max} = 0{,}669\, \frac{w_{max}}{\varepsilon_{z\ dop}}, \tag{21}$$

$$R_b = 0{,}689\, \frac{z_m}{tg\beta}. \tag{22}$$

Rozważania teoretyczne wykazują, że począwszy od pewnej głębokości zalegania pokładu, jego wybieranie wokół filara szybowego o promieniu R powoduje odkształcenia pionowe w osi szybu, których maximum nie przekracza pewnej wartości dopuszczalnej, z tym, że zmienia się jedynie miejsce, w którym te maksymalne odkształcenia występują (rys. 9). Tak więc przy założeniu liniowego rozkładu wpływów głównych w górotworze ($n = 1$) okazuje się, że począwszy od pewnej głębokości zalegania pokładu nie jest potrzebne już powiększenie filara szybowego (rys. 9).



Rys. 9. Wyznaczanie filara szybowego ze względu na dopuszczalne pionowe odkształcenia obudowy szybu



Rys. 10. Wyznaczanie filara ochronnego dla szybu na podstawie dopuszczalnych wielkości deformacji ($\varepsilon_{z\ dop}$) jego obudowy

Przy wyznaczaniu filara szybowego dla kilku pokładów, należy uwzględnić oddziaływanie wszystkich wybieranych lub przewidzianych do wybrania pokładów węgla.

Na podstawie zależności (21) i (22) zbudowano nomogram do wyznaczania filara ochronnego dla szybu na podstawie dopuszczalnych wartości deformacji $\varepsilon_{z\ dop}$ jego obudowy (rys. 10).

W przypadku, gdy dla ustalonej wielkości $\varepsilon_{z\ dop}$, z_m wypadnie większe od głębokości zalegania rozpatrywanego pokładu, wtedy promień filara określa się z zależności (14). Zależność (14) posłużyła do zbudowania nomogramu przedstawionego na rys. 11, a służącego do określenia granic filara ochronnego dla szybu na podstawie $\varepsilon_{z\ dop}$ jego obudowy, gdy $z_m > H$.

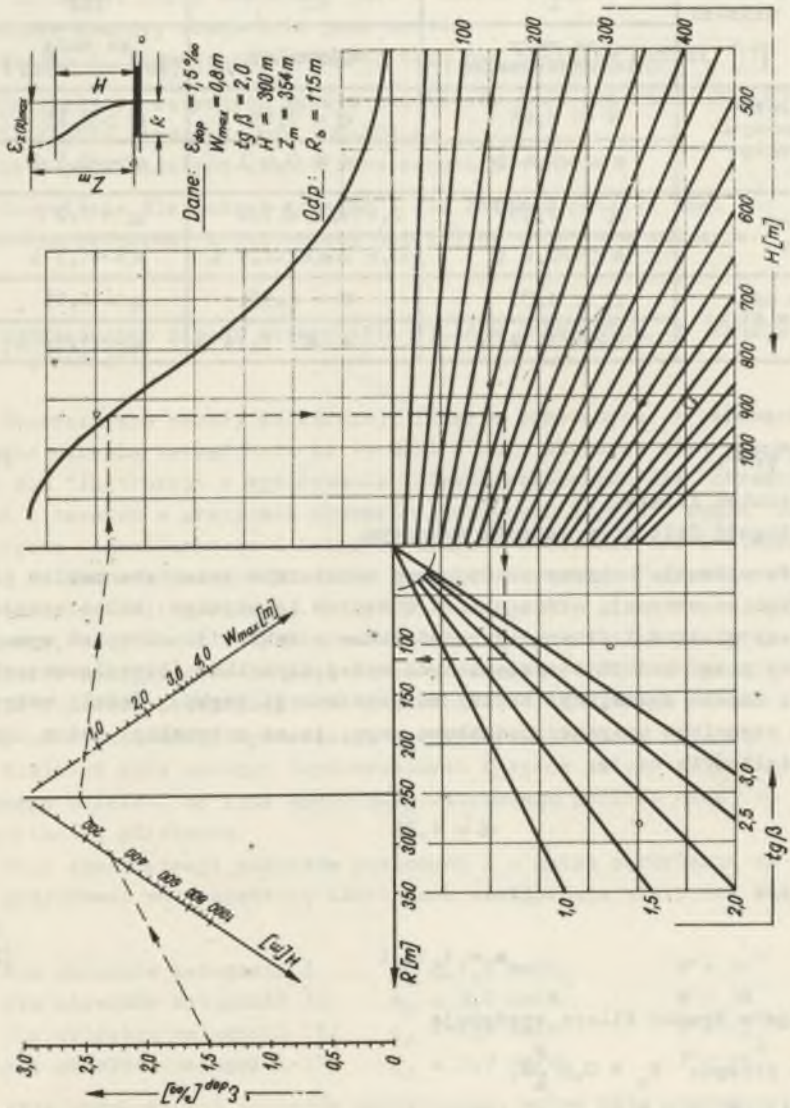
3.2. Metoda H. Filcka [7]

Podstawę do ustalenia wymiarów ochronnych filarów szybowych stanowiło określenie ugięcia warstwy stropowej nad pokładem, w którym pozostawiono filar szybowy oraz ciśnienie w filarze i przestrzeni wybranej poza jego granicą [7].

Zasady wyznaczania filarów szybowych oparto więc nie tylko na kryterium przemieszczeń (odkształceń), ale uwzględniono także ciśnienie oraz naprężenia wywołane powstającymi w uginającej się warstwie stropowej momentami zginającymi i siłami poprzecznymi. Problem racjonalnego wyznaczania wymiarów ochronnych filarów szybowych rozwiązano przy założeniach:

- warstwie skał stropowych zalegających nad pokładem przypisano własności nieograniczonej cienkiej płyty sprężystej o stałej grubości oraz stałych wartościach modułu Younga i współczynnika Poissona,
- filar (pokład) i podsadzkę potraktowano jako podłoże sprężyste w sensie hipotezy Winklera,
- w rozwiązaniach numerycznych przyjęto stałą wartość współczynnika Poissona $\nu = 0,25$,
- pominięto otwór, jaki powstaje w płycie stropowej wskutek przebicia jej szybem,
- przyjęto poziome zaleganie pokładu, równomierne obciążenie płyty stropowej (p_z) oraz kołowy zarys filara dla uzyskania osiowej symetrii zagadnienia.

Kryteria wyboru wielkości filara przy uwzględnieniu wymienionych założeń dla przypadku równych współczynników oporu (k) filara i podsadzki przedstawia tablica 1.



Rys. 11. Wyznaczanie filara ochronnego dla szybu na podstawie dopuszczalnych wielkości deformacji ($\varepsilon_{z\,dop}$) jako obudowy przy $Z_m > H$

Tablica 1

Kryteria doboru rozmiarów filara ochronnego dla szybu wg H. Filcka

Z uwagi na ochronę przed nadmiernym	Wielkość filara		
	I	II	III
	za mały (niedopuszczalny)	optymalny	za duży (dopuszczalny)
przemieszczeniem pionowym stropu (ugięciem)	$\alpha < 2,65$	$\alpha = 2,65$	$\alpha > 2,65$
	$a < \sim 0,6\ L$	$a \cong 0,6\ L$	$a > \sim 0,6\ L$
ciśnieniem w filarze	$\alpha < 2,65$	$2,65 \leqslant \alpha \leqslant 7,2$	$\alpha > 7,2$
	$a < \sim 0,6\ L$	$\sim 0,6\ L \leqslant a \leqslant \sim 1,7\ L$	$a > \sim 1,7\ L$
momentem zginającym w stropie	$\alpha < 4,95$	$\alpha = 4,95$	$\alpha > 4,95$
	$a < \sim 1,14\ L$	$a \cong 1,14\ L$	$a > \sim 1,14\ L$

gdzie:

$$\alpha = \pi\sqrt{2}\,\frac{a}{L}, \tag{23}$$

a - promień filara,

2L - długość fali przy zgięciu walcowym.

Z punktu widzenia ochrony szybu przed nadmiernym przemieszczeniem pionowym (ugięciem stropu), ciśnieniem i momentem zginającym można wyróżnić trzy zakresy wielkości filara (przedstawione w tabl. 1). Stopień wymaganej ochrony przed każdym z wymienionych wyżej czynników (przemieszczenie, ciśnienie, moment zginający) zależy od konstrukcji szybu. Jeżeli wszystkim trzem czynnikom przyznać jednakową wagę, to za optymalny można uznać filar o wielkości:

$$\alpha = 4,95$$

co odpowiada

$$a = 1,14\ L \tag{24}$$

dla którego w środku filara występuje

- ugięcie stropu: $W_o \cong 0,8\,\frac{p_z}{k}$,
- ciśnienie $\sigma_o = 0,8\ p_z$,
- moment zginający $M_o \cong \tilde{M}_o \cong 0$,

gdzie:

M_o - moment zginający radialny,

$\tilde{M}_o$ - moment zginający obwodowy.

Optymalna wielkość filara jest więc funkcją długości fali przy zgięciu walcowym. Długość fali zależna jest od własności skał stropowych i spągowych. Gdy w stropie zalegają grube warstwy skał o dużym współczynniku sprężystości E, a pokład i spąg są bardzo podatne, wtedy fala jest długa. Gdy natomiast strop utworzony jest z warstw o małej sztywności a spąg jest wybitnie twardy, wtedy fala jest krótka.

Według A. Sałustowicza długość fali nad pokładem wynosi [17]

- dla grubych, sztywnych warstw piaskowców jest ona rzędu 200-400 m,
- dla łupków piaszczystych 100-200 m,
- dla łupków ilastych cienko uławiconych 50-100 m.

Oczywiście dla każdej kopalni i dla każdego pokładu jest to wielkość charakterystyczna, którą należy ustalić na podstawie pomiarów.

4. OBOWIĄZUJĄCE ZASADY WYZNACZANIA FILARÓW OCHRONNYCH W ZAGŁĘBIU GÓRNOŚLĄSKIM [21]

Obowiązujące zasady konstrukcji filarów ochronnych i wyznaczania ich granic określa zarządzenie nr 19 MGiE z dnia 23 marca 1961 r. w załączonej doń "Instrukcji o wyznaczaniu filarów ochronnych dla obiektów, urządzeń i terenów w granicach obszarów górniczych kopalni węgla kamiennego Zagłębia Górnośląskiego i Dolnośląskiego". Stosownie do instrukcji wielkość filara ochronnego określona jest kątem zasięgu ψ dopuszczalnych wpływów eksploatacji górniczej. Kąty ψ stosuje się przez całą grubość górotworu, od pokładu do powierzchni terenu, wykreślając je przy tym dla pokładów zalegających na głębokości większej od 180 m od granic obiektu, a dla pokładów zalegających na głębokościach mniejszych od 180 m - od granicy pasa ochronnego wynoszącego na powierzchni 30 m.

Wielkość kąta zasięgu dopuszczalnych wpływów zależy od kategorii chronionego obiektu, od kąta upadu eksploatowanego pokładu oraz od rodzaju i właściwości górotworu.

Przy eksploatacji pokładów poziomych i o małym nachyleniu do 10° należy przyjmować we wszystkich kierunkach następujące wielkości kątów zasięgu:

dla obiektów kategorii I	$\varepsilon_d \leqslant 1{,}5$ mm/m	$\psi = 54^{\circ}$
dla obiektów kategorii II	$\varepsilon_d \leqslant 3{,}0$ mm/m	$\psi = 58^{\circ}$
dla obiektów kategorii III	$\varepsilon_d \leqslant 6{,}0$ mm/m	$\psi = 62^{\circ}$
dla obiektów kategorii IV	$\varepsilon_d \leqslant 9{,}0$ mm/m	$\psi = 66^{\circ}$

Przy eksploatacji pokładów nachylonych, wpływ kąta nachylenia pokładu (α) uwzględnia się w ten sposób, że najpierw wyznacza się według wyżej podanych kątów punkty graniczne filara dla pokładu poziomego (po rozciągłości) a następnie te punkty przesuwa się w kierunku wzniosu o wielkości:

$$P_1 = H_k \cdot \mathrm{tg}\,(k\alpha) \quad \text{dla} \quad \alpha \leqslant 45^{\circ} \tag{25}$$

lub

$$P_2 = H_k \cdot tg\left[k(90^o - \alpha)\right] \text{ dla } \alpha \geqslant 45^o \tag{26}$$

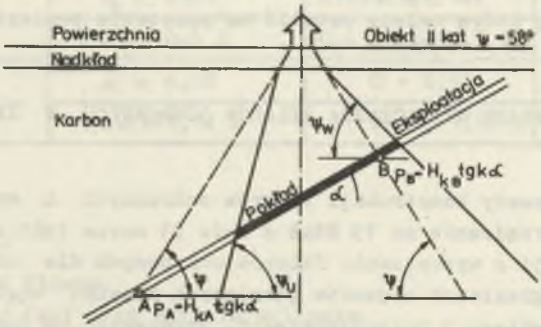
Oznaczenia

α - kąt upadu pokładu,

H_k - miąższość nadległych warstw karbońskich w metrach,

k - współczynnik, którego wartość wynosi 0,7.

Przykład konstrukcji filara ochronnego przy eksploatacji pokładu nachylonego wskazuje rys. 12.



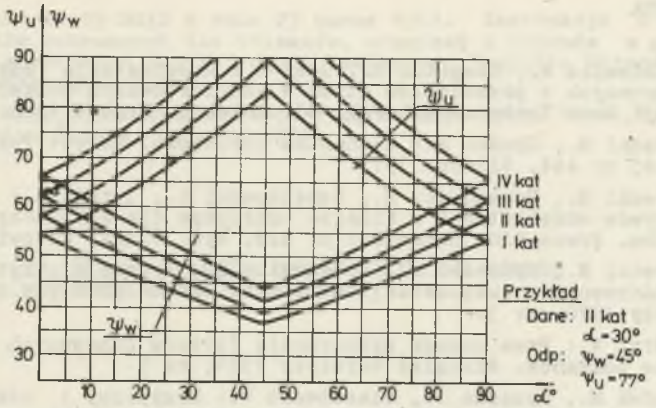
Rys. 12. Wyznaczanie filara ochronnego wg instrukcji [21]

W oparciu o rys. 12 wyprowadzono zależności funkcyjne pomiędzy kątami zasięgu filara ochronnego w kierunku upadu (ψ_u) oraz wychodni (ψ_w) pokładu, a kątem zasięgu po rozciągłości i kątem nachylenia pokładu. Zależności te przedstawiają się następująco:

$$tg\psi_u = \frac{tg\,\psi}{1 - tg\psi\ tg\ k\alpha} \tag{27}$$

$$tg\psi_w = \frac{tg\,\psi}{1 + tg\psi\ tg\ k\alpha} \tag{28}$$

Dla $\alpha > 45^o$ we wzorach (27) i (28) zamiast $k\alpha$ należy podstawiać $k(90 - \alpha)$. Według powyższych wzorów sporządzono wykres zależności ψ_w i ψ_u od α i ψ (rys. 13).



Rys. 13. Przebieg ψ_u oraz ψ_w w zależności od α

5. WNIOSKI

1. Na podstawie przeglądu zagadnień dotyczących zasad wyznaczania filarów ochronnych stwierdzono, że obowiązująca aktualnie instrukcja [21] nie znajduje uzasadnienia w żadnym z opracowanych dotychczas rozwiązań ściśle naukowych.

2. W związku ze stale postępującym wzrostem głębokości robót eksploatacyjnych należy zauważyć, że zdaniem badaczy wyznaczanie filarów ochronnych według obowiązujących norm - szczególnie na większych głębokościach - daje filary zbyt duże tak dla obiektów powierzchniowych [17, 19] jak i szybów [7, 9, 10].

3. Z drugiej strony warto zaznaczyć, że naukowe metody wyznaczania filarów ochronnych obowiązują ściśle jedynie dla złóż jednopokładowych. Stosowanie zasady superpozycji prostej (sumowania się prostego wpływów) jak w metodzie Buryka, Sałustowicza, Szpetkowskiego i Knothego wydaje się być co najmniej dyskusyjne. W przypadku wyznaczania filara w wiązce pokładów zgodnie z tą zasadą otrzymuje się jego rozmiary większe aniżeli te uzyskiwane na podstawie obowiązujących norm [21].

4. W większości omawianych powyżej naukowych metod wyznaczania filarów ochronnych za podstawę ustaleń rozmiarów filara przyjmuje się tylko kryterium dopuszczalnych odkształceń. Jedynie metoda H. Fileka [7] uwzględnia również kryterium naprężeń.

5. Daje się zauważyć brak precyzyjnego i jednoznacznego określenia wartości np. odkształceń dopuszczalnych dla obiektów szybowych, co nie pozwala na ścisłe wykorzystanie omawianych metod w konkretnych obliczeniach inżynierskich.

LITERATURA

[1] Batkiewicz W., Dżegniuk B., Greń K.: Eksploatacja szybowych filarów ochronnych z przecięciem szybu w eksploatowanym pokładzie. Prace Komisji Nauk Technicznych PAN, Górnictwo 3, Kraków 1966.

[2] Borecki M., Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 444, Gliwice 1973.

[3] Borecki M., Romanowicz E., Szpetkowski S., Tyrała A.: Wyniki badań wpływów eksploatacji w filarze ochronnym dla szybu Szymon kopalni Halemba. Prace GIG, Komunikat nr 428, Wyd. Śląsk, Katowice 1967.

[4] Borecki M., Rymarski W., Romanowicz E., Rycerz M., Pytlarz T.: Doświadczenie z eksploatacji w filarze ochronnym szybu. Przegląd Górniczy 1970, nr 3.

[5] Budryk W.: Nowa metoda wyznaczania filarów ochronnych przy małym upadzie pokładów. Przegląd Górniczy 1951, nr 9.

[6] Chudek M., Drzęźla B., Olaszowski W.: Krzywizny i odkształcenia poziome nad środkiem filara kołowego. Projekty-Problemy 1970, nr 4.

[7] Filcek H.: Ugięcie stropu i ciśnienie w rejonie filara szybowego w świetle teorii zgięcia płyt na niejednorodnym podłożu sprężystym. Zeszyty Naukowe AGH, Rozprawy nr 50, Kraków 1965.

[8] Haligowski J., Makowski A., Pytlarz T.: Ogólne zasady eksploatacji pod miastami. Konferencja naukowo-techniczna pt. "Wybrane problemy eksploatacji filarów ochronnych", Katowice 1973.

[9] Knothe S.: Odkształcenia pionowe górotworu przy kołowo-symetrycznym wybieraniu filarów szybowych. Archiwum Górnictwa 1956, t. I, z. 2.

[10] Knothe S.: Neue Anschauungen über das Problem der Bestimmung von Schachtsicherheitspfeilern, Archiwum Górnictwa 1961. t. VI, z. 2.

[11] Kołodziej M., Kowalski A., Tyrała A.: Deformacje górotworu i powierzchni przy eksploatacji pokładu w filarze ochronnym dla szybu VII kop. Polska. Prace GIG 1974 (w druku).

[12] Kowalczyk Z., Janusz W., Pielok J.: Analiza wpływów i skutków eksploatacji górniczej w filarach szybowych niektórych kopalń. Ochrona Terenów Górniczych 1970, nr 11.

[13] Kowalczyk Z., Skinderowicz B., Pytlarz T., Buchner W.: Rozwój i wyniki polskich badań w zakresie eksploatacji filarów ochronnych dla szybów. IV Sitzung des Presidiums des Internationalen Komitees der Symposien für Markscheidewesen, Katowice - Świerklaniec 6-9.VI.1973.

[14] Kowalski A., Wolany J.: Przykład analizy eksploatacji w filarze szybowym w świetle wyników obserwacji geodezyjnych. Przegląd Górniczy 1972, nr 12.

[15] Krawczyk W.: Efekty ekonomiczne eksploatacji filaru ochronnego dla śródmieścia Katowic. Konferencja naukowo-techniczna pt. "Wybrane problemy eksploatacji filarów ochronnych", Katowice 1973.

[16] Oleksy S.: Wpływ modelu kopalni i zasobności złoża na ilość zasobów uwięzionych w filarach szybowych. Praca doktorska. AGH Kraków 1974.

[17] Sałustowicz A.: Zarys mechaniki górotworu. Wyd. Śląsk, Katowice 1965.

[18] Skinderowicz B.: Zasady wyznaczania filarów ochronnych dla obiektów na powierzchni. Wiadomości Górnicze 1972, nr 7.

[19] Szpetkowski S.: Wyznaczanie filarów ochronnych na podstawie dopuszczalnych wielkości deformacji terenu. Ochrona Terenów Górniczych 1970 nr 12.

[20] Termiński J., Masialski M.: Zawałowa eksploatacja pod czynnym szybem kopalnianym. Przegląd Górniczy 1972, nr 6.

[21] Zarządzenie nr 19 MGiE z dnia 23 marca 1961. Instrukcja o wyznaczaniu filarów ochronnych dla obiektów, urządzeń i terenów w granicach obszarów górniczych kopalni węgla kamiennego Zagłębia Górnośląskiego i Dolnośląskiego.

[22] Zych J.: Bezpieczna eksploatacja filarów szybowych. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1972.

НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОХРАННЫХ ЦЕЛИКОВ В СОПОСТАВЛЕНИИ С ОБЯЗЫВАЮЩЕЙ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ИНСТРУКЦИЕЙ

Р е з ю м е

В работе рассматриваются научные методы определения охранных целиков для наземных объектов и стволов. Обсуждаются методы таких польских исследователей, как Будрык, Салустович, Шпетковски, Скиндерович, а также Кноте и Фильцек в сопоставлении с обязывающей в настоящее время инструкцией [21]. Некоторые из них проиллюстрированы номограммами, позволяющими определить величину охранных целиков, в зависимости от допускаемых деформаций охраняемых объектов, глубины проведения очистных работ и толщины разработываемого пласта, а также от способа управления кровлей (обрушение, закладка).

SCIENTIFIC METHODS OF DETERMINING PROTECTIVE PILLARS IN CONFRONTATION WITH THE NOW OBLIGATORY INSTRUCTION

S u m m a r y

A review of scientific methods of determining protective pillars for surface objects and shafts is given in the elaboration. The methods used by the following Polish research workers - Budryk, Sałustowicz, Szpetkowski, Skinderowicz, as well as Knothe and Filcek have been discussed in confrontation with the now obligatory directions [21] Some of them have been illustrated with nomograms making it possible to determine the size of protective pillars depending on the permissible deformations of the protected objects, the depth of the conducted exploitation and the thickness of the mined coal layer as well as the method of managing the roof (breaking dawn, filling).