

## Eksploracja pokładów cienkich metodą zwiercania

### Exploitation of thin deposits by means of rotary drilling method



*Dr inż. Zbigniew Rak*\*)



*Mgr inż. Krzysztof Skrzypkowski* \*)



*Dr inż. Jerzy Stasica*\*)

**Treść:** W artykule przedstawiono rozwiązania w dziedzinie wyierki pokładów cienkich z zastosowaniem metody zwiercania eksploatacyjnego. Zaprezentowano najnowsze rozwiązania stosowane w górnictwie ukraińskim oraz czeskim. Obok charakterystyki technologii oraz systemów mechanizacji przedstawiono również, stosowaną w górnictwie ukraińskim, metodę wyznaczania filarów w polu eksploatacyjnym w tym systemie.

**Abstract:** This paper presents solutions in the field of exploitation of thin deposits by use of the rotary drilling method. In this study, the state of the art technical and technological solutions used in Ukrainian and Czech mining industry were defined. Apart from the characteristics of process engineering and mechanization systems, this paper presents a design method to determine dimensions of pillars by use of the rotary drilling method Ukrainian mining industry.

#### **Słowa kluczowe:**

*eksploatacja węgla kamiennego, eksploatacja pokładów cienkich, eksploatacja pokładów silnie nachylonych, zwiercanie eksploatacyjne, wiercenia wielkośrednicowe, maszyna zwiercająca, filar, bezpieczeństwo robót*

#### **Key words:**

*hard coal exploitation, exploitation of thin deposits, exploitation of strongly steep deposits, exploitation rotary drilling, large diameter boreholes, drilling machine, pillar, safety in mine workings*

### **1. Wprowadzenie**

Prezentowany artykuł jest pierwszym z serii poświęconych zmechanizowanym systemom wybierania cienkich pokładów węgla ze szczególnym uwzględnieniem systemów pozwalających na eksploatację pokładów stromo zalegających. Proces eksploatacji pokładów węgla i związany z nim dobór technologii uzależniony jest między innymi od miąższości pokładu, jego nachylenia, właściwości fizykomechanicznych skał, zaburzeń geologicznych, wymogów ochrony powierzchni oraz od występujących zagrożeń naturalnych [6]. Z punktu widzenia procesu mechanizacji jednym z najtrudniejszych zadań inżynierskich jest zmechanizowana wyierka pokładów cienkich, a szczególnie pokładów cienkich i stromo zalegających. Z drugiej strony mamy świadomość, że eksploatacja pokładów cienkich stanowi realną szansę

istotnego zwiększenia bazy zasobowej węgla kamiennego w naszym kraju. Proces powrotu do eksploatacji pokładów cienkich już się rozpoczął. Kopalnia LW „Bogdanka” S.A. oraz Kopalnie JSW S.A. („Zofiówka” i „Jas-Mos”) od kilku lat z powodzeniem prowadzą eksploatację cienkich pokładów nowoczesnymi systemami strugowymi. Systemy te nie są jednak jedyną formą zmechanizowanej wyierki pokładów cienkich. W artykule przedstawiono najnowsze rozwiązania w zakresie eksploatacji pokładów, także o miąższości nawet poniżej 0,7 m, z wykorzystaniem techniki zwiercania eksploatacyjnego. Metoda ta od lat stosowana jest w górnictwie ukraińskim, a ostatnio także w Republice Czeskiej w Kopani „Paskov”. Chociaż traktowana jest głównie jako metoda dla wyierki złóż reszkowych, to na Ukrainie w wielu przypadkach stanowi podstawową metodę eksploatacji w bardzo trudnych warunkach górnictwo-geologicznych [1, 2, 3]. Zdaniem autorów, eksploatacyjne zwiercanie cienkich pokładów węgla stanowi szczególnie interesującą alternatywę dla

\*) AGH w Krakowie

wyberki cienkich pokładów stromo zalegających. Pierwsze oznaki ponownego zainteresowania złożami dolnośląskimi dają asumpt do potraktowania tej technologii, jako jednej z niewielu, która przy pełnej mechanizacji robót daje szansę rentownej eksploatacji tych złóż.

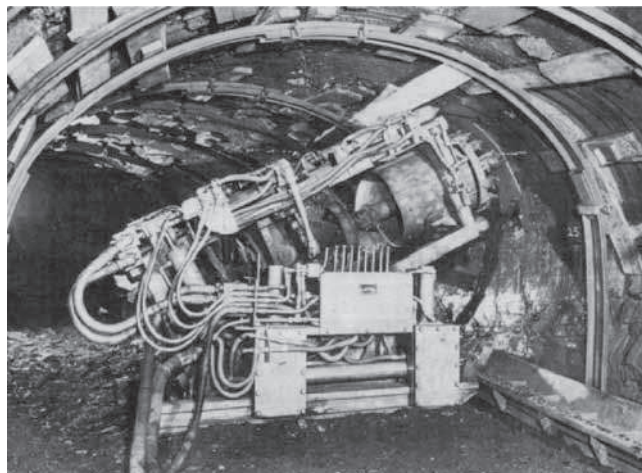
## 2. Zwiercanie eksploacyjne

Przygotowanie parceli eksploacyjnej w systemie zwiercania jest stosunkowo proste i wymaga jednego wyrobiska przygotowawczego o wymiarach niezbędnych dla zainstalowania maszyny wiercącej wraz z układem zasilania i sterowania. W zależności od stosowanego wyposażenia oraz nachylenia wybieranego pokładu, wystarczającym z punktu widzenia gabarytów są wyrobiska w obudowie już od ŁP8. Niewielkie rozmiary chodnika przygotowawczego są szczególnie istotne, jeśli wziąć pod uwagę niewielką miąższość wybieranych pokładów, a co za tym idzie znaczne koszty robót przygotowawczych - w rzeczywistości są to bowiem chodniki praktycznie kamienne. Eksploatacja polega na selektywnej wywierce przygotowanej parceli otworami wielkośrednicowymi o długości dochodzącej do 120 m, wierconymi w ociosie lub stropie wyrobiska (w zależności od nachylenia pokładu). Pomiędzy otworami pozostawiane są niewielkich rozmiarów filary, których zadaniem jest ochrona stropu w rejonie prowadzenia wyierki. Podstawowym narzędziem urabiającym w czole przodka jest układ koronek wiertniczych. Urobek z przestrzeni roboczej jest transportowany przez żerdzie wiertnicze ślimakowe w kierunku do wyrobiska przygotowawczego, gdzie odbierany jest przez przenośnik zgrzeblowy. Po odwierceniu każdorazowo odcinka równego długością odcinkowi żerdzi wiertniczej następuje rozsprzęgnięcie żerdzi z napędem i zainstalowanie następnego segmentu żerdzi.

Jednym z pierwszych przykładów zastosowania maszyny zwiercącej do eksploatacji silnie nachylonego pokładu, może być kopalnia antracytu „Germantown” w Pensylwanii, w której prowadzono eksploatację w latach 50. ubiegłego wieku [4]. Złoże zalegało na głębokości 450 m i było nachylone pod kątem do 65°. Rejon pokładu, w którym zastosowano zwiercanie charakteryzował się kątem upadu w zakresie od 15° do 45° oraz znaczną miąższością wynoszącą powyżej 7 m. Proces eksploatacji węgla obejmował trzy etapy: drażenie chodnika za pomocą kombajnu chodnikowego, wykonywanie otworów wielkośrednicowych w odstępach około 18 m oraz przybijanie tak wytyczonych filarów za pomocą długich otworów strzałowych. Zwiercanie nie miało więc charakteru podstawowego, a stanowiło jedynie czynność pomocniczą przy wywierce stromego pokładu. Maszyna wiercąca (rys. 1) wykonywała otwory o średnicy 0,6 m oraz średniej długości około 9 m, stąd wydobywiec z jednego otworu było stosunkowo niewielkie i wynosiło około 5 Mg. Zastosowana technika wiercenia stała się jednak przyczynkiem do poszukiwania rozwiązań aplikacji metody zwiercania dla wyierki pokładów cienkich.

Współczesnym przykładem maszyny do zwiercania węgla może być model VS SEAL-625 w wersji P1 oraz P2, której widok od strony narzędzi urabiających przedstawiono na rysunku 2. Prezentowaną maszynę zastosowano w podziemnej kopalni węgla kamiennego „Paskov” w Republice Czeskiej. Jej pierwowzorem był system BSK-2DM pochodzący z ukraińskiej fabryki „Malyshev Factory”.

Maszyna ta jest przeznaczona do eksploatacji pokładów węgla o miąższości wynoszącej od 0,6 m do około 0,8 m przy oporach skrawania dochodzących do 350 kN/m. Maszyna może urabiać komorę o szerokości 2,005 ÷ 2,105 m oraz wysokości w zakresie 0,625 ÷ 0,825 m, odpowiednio do



Rys. 1. Widok maszyny zwiercącej w chodniku odstawkowym [4]

Fig. 1. View of drilling machine in haulage gateroad [4]



Rys. 2. Widok maszyny zwiercącej VS-SEAL-625625 [5]

Fig. 2. View of drilling machine VS-SEAL-625625 [5]

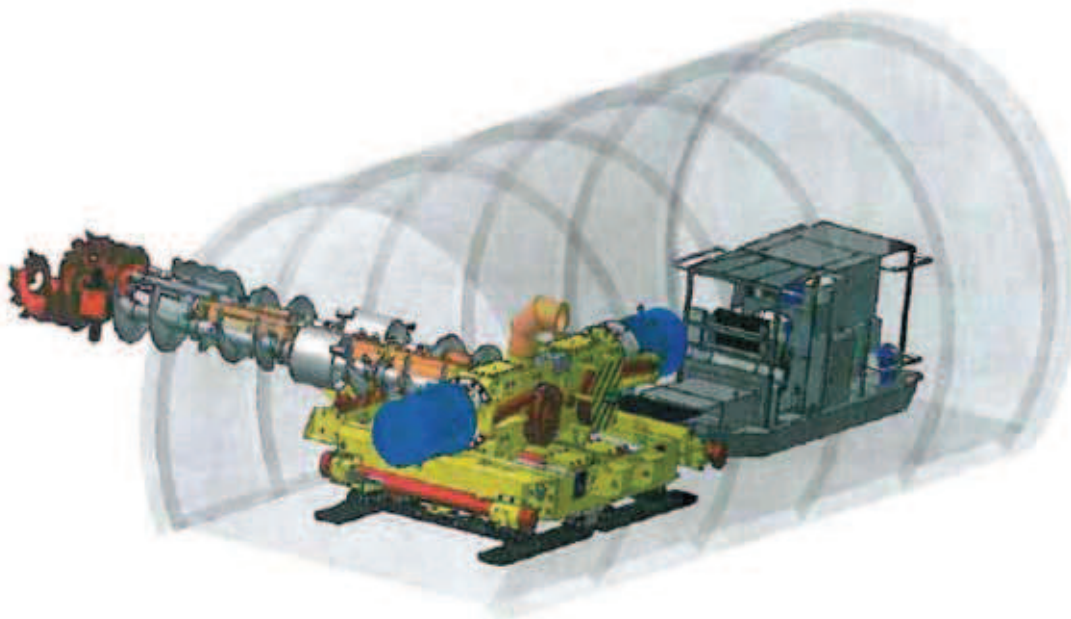
zastosowanej średnicy głowicy wiercącej. Ponieważ drażone komory pozbawione są obudowy, pozostawia się między nimi filary o szerokości adekwatnej do lokalnych warunków górniczo-geologicznych (zazwyczaj w zakresie od 0,8 m do 2,0 m). Wiercenie odbywa się z ociosu chodnika o przekroju odpowiadającym w polskim typoszeregu obudowie ŁP8 lub ŁP9. W przypadku pokładów zagrożonych metanem, maszyna jest wyposażona w wentylację oraz wysokociśnieniową instalację zraszającą. Podczas eksploatacji czoło wierzonego przodka jest w sposób ciągły monitorowane z uwzględnieniem: stężenia metanu, wydatku strumienia powietrza (zazwyczaj około 200 m<sup>3</sup>/godzinę) oraz wydatku strumienia wody w dyszach zraszających (zazwyczaj około 30 l/min). W przypadku przekroczenia lub spadku zmierzonych parametrów poza nastawioną wartość progową, następuje automatyczne zatrzymanie maszyny. Podstawowe parametry przedmiotowej maszyny przedstawiono w tablicy 1.

Cały zespół roboczy wraz z aparaturą zasilającą oraz panelem kontrolno-sterującym w kabinie operatora, ma budowę kompaktową i jest posadowiony na spągu wyrobiska (rys. 3, rys. 4), a jego przemieszczanie wzdłuż osi wyrobiska realizowane jest poprzez mechanizm przekładkowy.

Tablica 1. Charakterystyka techniczna maszyny VS SEAL-625 P1,P2 [5]

Table 1. Technical characteristics of drilling machine VS-SEAL-625 P1,P2 [5]

Parametr	Jednostka	Wartość (wersja)
Wydobycie przy oporach skrawania: a) do 200 kN/m b) do 350 kN/m	t/min	2 1,5
Średnica głowicy wierzącej	mm	625 lub 725
Liczba koronek wiertniczych	[/]	3
Prędkość obrotowa koronki	l/min	50
Prędkość wiercenia - robocza	m/min	0 ÷ 1,8
Prędkość wiercenia - manewrując	m/min	0 ÷ 3,7
Długość odcinka żerdzi (wierćła wielkośrednicowego)	mm	1540 (P1) 1136 (P2)
Napór koronki wierzącej	kN	490
Napór przy zmianie kierunku	kN	290
Średnica żerdzi	mm	480
Odległość pomiędzy koronkami wierzącymi	mm	640
Moc wyjściowa koronek wiertniczych	kW	2 x 90
Moc całkowita	kW	220
Wymiary: długość szerokość wysokość	mm	11800 (P1, P2) 3450 (P1), 2950 (P2) 1870 (P1, P2)
Masa	t	54, 2 (P1) 49,5 (P2)



Rys. 3. Widok ogólny maszyny VS-SEAL-625 [5]

Fig. 3. General view of machine VS-SEAL-625 [5]

Jednostka wierząca posadowiona jest na ramie. Za pośrednictwem układu siłowników hydraulicznych możliwe jest utrzymanie, zarówno odpowiedniego nachylenia maszyny, jak i jej stabilizację poprzez rozparcie w ociosie chodnika (rys. 5). Rama maszyny jest zamontowana na saniach, za pomocą których następuje przesuwanie po spągu chodnika poprzez ww. układ przekładkowy. Część wierząca tego systemu składa się z silników elektrycznych oraz ze skrzyń przekładniowych, które zapewniają obroty zarówno głowicy wierzącej, jak i ruch spiralnych wiertel wielkośrednicowych.

Zwiercanie calizny realizowane jest przez trzy głowice wierzące o średnicy 625 mm lub 725 mm, które

drażą komory w caliznie węglowej (rys. 6). Urobek z przestrzeni roboczej jest odstawiany poprzez dwa spiralne wiertła wielkośrednicowe o średnicy 480 mm, które służą również jako prowadzenie dla głowic wierzących. Następnie węgiel jest odbierany przez przenośnik zgrzeblowy zabudowany przy ociosie wyrobiska. Ważną cechą spiralnych wiertel wielkośrednicowych jest ich przeciwny ruch obrotu (rys. 7). W celu odstawy węgla z drażonej komory używana jest tylko lewa żerdź, dlatego prawa część komory nie jest wypełniona urobkiem i w trakcie urabiania może być użyta jako odprowadzenie zużytego powietrza. Pomiędzy dwoma wiertłami wielkośrednicowymi znajduje





Rys. 4. Kabina operatora [5]  
Fig. 4. Cab of miner operator [5]



Rys. 6. Widok głowic zwiercających przy ociosie węglowym [5]  
Fig. 6. View of drilling heads by the coal sidewall [5]

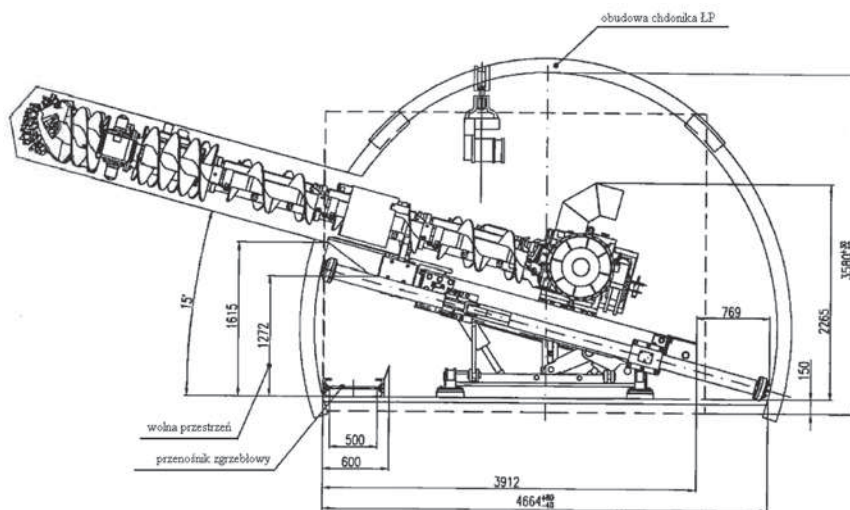


Rys. 7. Widok wiertel wielkośrednicowych wraz z przewodem do doprowadzenia świeżego powietrze [5]  
Fig. 7. View of large diameter boreholes with the supply conduit of fresh air [5]

się mechanizm prowadzący, który jednocześnie służy do wentylacji komory. Komora jest wietrzona za pomocą wentylatora elektrycznego oraz elastycznego przewodu, przez który świeże powietrze jest dostarczane do jednostki wiercącej, gdzie jest on połączony z mechanizmem prowadzącym (rury o średnicy 300 mm). Oprócz tego jest on także wyposażony w mechanizm zraszania wodą czoła drążonej komory.

Całe wyposażenie technologiczne (pociąg aparaturowy, urządzenia zasilające, przenośnik zgrzeblowy) jest zainstalowane i ustawione w chodniku odstawczym. Panel kontrolny całego systemu zwierceniowego znajduje się w odległości około 10 m przed wierconą komorą (rys. 8, rys. 9). Żerdzie do pogłębienia otworu są dostarczane środkami transportu dołowego, zazwyczaj spalinową kolejką podwieszaną i kolejką

manewrową w bezpośrednie sąsiedztwo zespołu urabiającego. Przesuwanie oraz wyciąganie żerdzi z otworu jest realizowane przez urządzenie wciągnikowe, które tworzy wraz z jednostką wierzącą jedną całość.

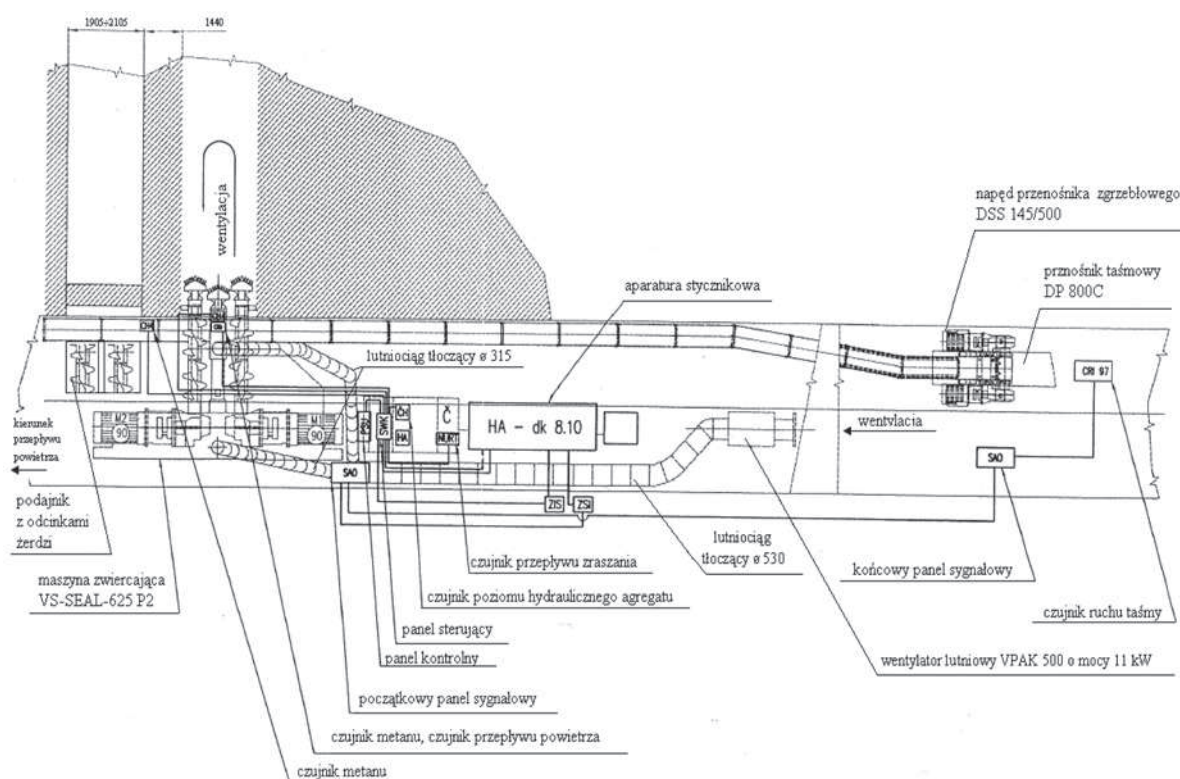


Rys. 5. Rozparcie maszyny zwiercającej w chodniku odstawczym [5]  
Fig. 5. Sprag of drilling machine in haulage gateroad [5]



Rys. 8. Widok zespołu zwierającego wraz z przenośnikiem zgrzeblowym [5]

Fig. 8. View of drilling machine with the armoured conveyor [5]



Rys. 9. Schemat rozmieszczenia maszyn i urządzeń w chodniku odstawkowym [5]

Fig. 9. Spacing scheme of machines and mining devices in haulage gateroad [5]

Powstała komora o szerokości około 2,1 m i długości zazwyczaj do około 80 m po zakończeniu drążenia oraz wyciągnięciu przewodów jest zamykana korkiem wykonanym ze spoiwa mineralnego lub ilowego.

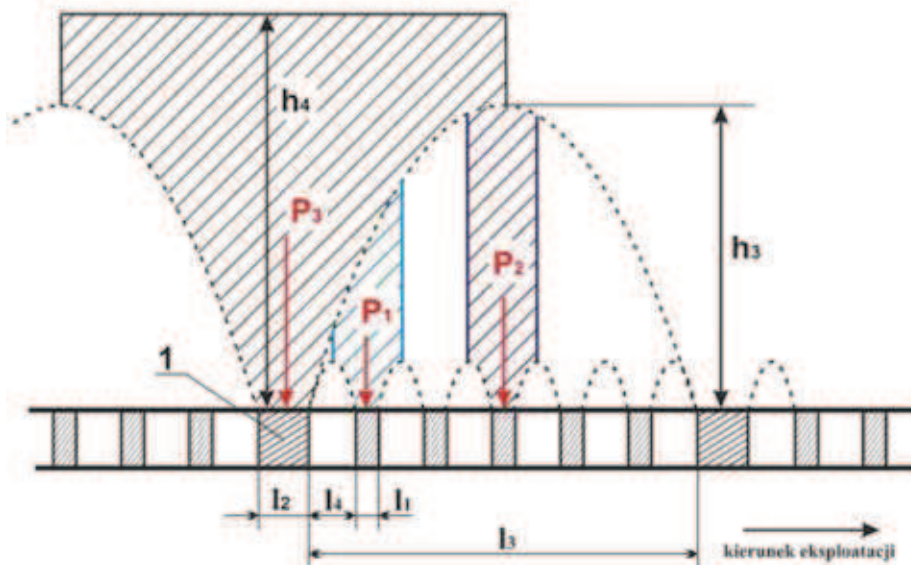
### 3. Dobór filarów w systemie zwierania eksploatacyjnego

Jednym z podstawowych zagadnień podczas eksploatacji pokładów węgla kamiennego z zastosowaniem technologii zwierania jest optymalizacja filarów międzykomorowych dla ograniczenia strat złoża. Optymalizacja rozwiązania systemu zwierania pod względem, zarówno analitycznym, jak i praktycznym została przeprowadzona w kopalni „Dobropolska” na Ukrainie [3].

Podczas procesu eksploatacji powstają filary o małej szerokości  $l_1$  (rys. 10). Pozostawione filary spełniają dwie

podstawowe funkcje. Pierwsza to przejmowanie obciążenia pochodzącego z ciężaru objętościowego skał stropowych (skały znajdujące się wewnątrz parabolicznego sklepienia). Druga funkcja to redukcja naprężeń dopuszczalnych w filarze. Podczas drążenia kolejnych otworów wielkośrednicowych wzrasta obciążenie filara, jest on niszczone przez ciężar skał stropowych. Obciążenie skał nadległych w sklepieniu jest przenoszone na spąg wyrobiska. Redukcja naprężeń w części pokładu poniżej wybierania pomaga zabezpieczyć wiertła oraz głowice wierzące przed zaciskaniem. Po wydrążeniu kilku otworów wielkośrednicowych wzdłuż długości  $l_3$ , pozostawia się filar podstawowy (1) o szerokości  $l_2$ . Główne zadania tego filara odnoszą się do stworzenia sklepienia pomiędzy dwoma podstawowymi filarami, redukcji obciążenia na filarach o szerokości  $l_1$  oraz do ochrony wyrobisk przygotowawczych. Obciążenie  $P$ , jakie jest wywierane na poszczególne filary, zależy od odległości pomiędzy filarami





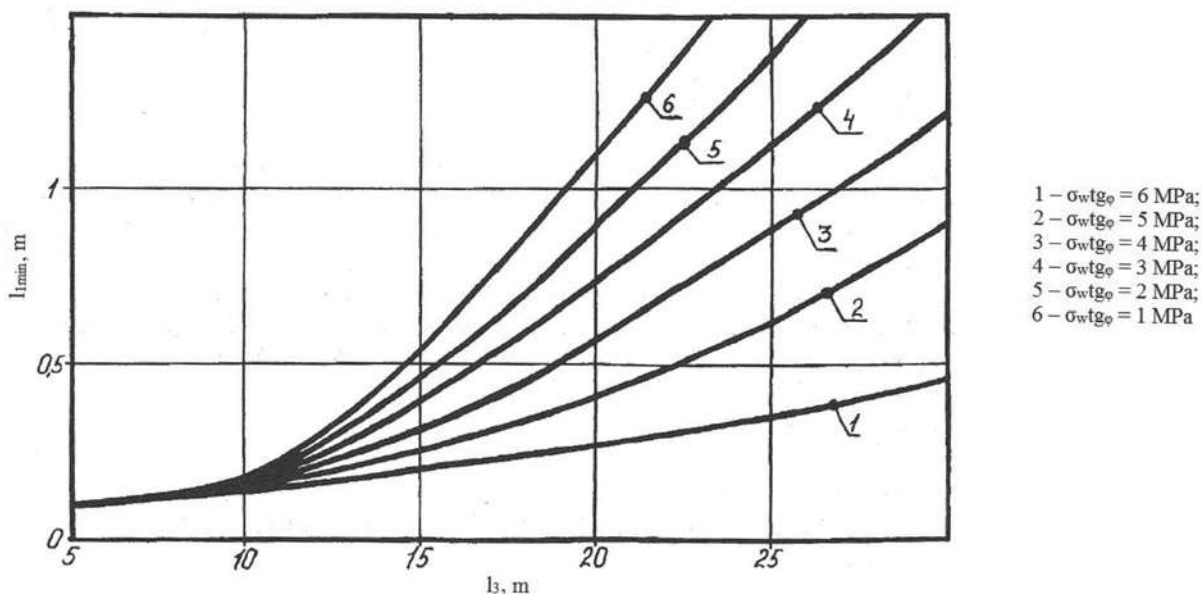
Rys. 10. Schemat rozmieszczenia komór oraz filarów w procesie zwiercania [3]  
 Fig. 10. Spacing scheme of rooms and pillars in the process of rotary drilling [3]

podstawowymi. Minimalne obciążenia  $P_1$  filara o szerokości  $l_1$ , będzie miało miejsce w sytuacji, kiedy znajduje się on blisko filara podstawowego. Natomiast maksymalne obciążenie  $P_2$ , występuje w sytuacji, gdy filar o szerokości  $l_1$ , znajduje się w środku, pomiędzy dwoma filarami podstawowymi. W rozważaniu analitycznym przyjęto, że w stropie wyrobiska tworzy się strefa spękań o kształcie paraboli zgodnie z teorią M.M. Protodiakonowa. Rozwiązanie analityczne problemu pozwoliło na wyznaczenie optymalnych rozmiarów filarów międzykomorowych małych i podstawowych.

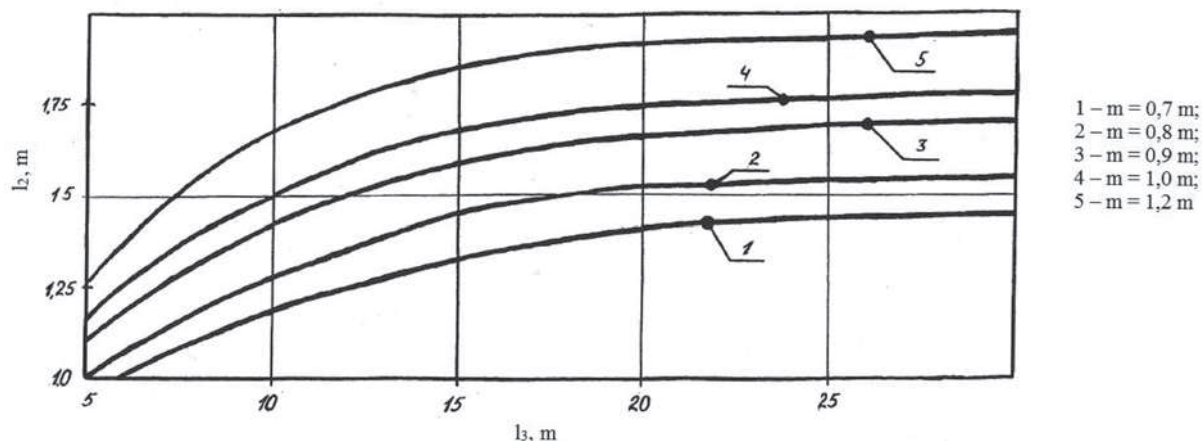
Minimalna szerokość filara  $l_{\min}$  zmienia się, zależnie od odległości pomiędzy filarami podstawowymi  $l_3$ . Dla  $l_3 \leq 20$  m, minimalna szerokość filara  $l_{\min}$  zmienia się w zakresie

od 0,55 m do 1,1 m dla parametru  $\sigma_w \text{tg} \phi \leq 4$  MPa, gdzie  $\sigma_w$  – resztkowa wytrzymałość węgla na jednoosiowe ściskanie, a  $\text{tg} \phi$  - kąt tarcia wewnętrznych skał stropowych, (rys. 11). Wzrost odległości pomiędzy filarami podstawowymi  $l_3$ , prowadzi do strat węgla w filarach o szerokości  $l_1$ . Z tego punktu widzenia, można przyjąć, że optymalna odległość pomiędzy filarami podstawowymi mieści się w zakresie od 18 m do 20 m, co odpowiada 9 ÷ 10 otworom wielkośrednicowym.

Na rysunku 12 przedstawiono zależność najmniejszej dopuszczalnej szerokości filara podstawowego  $l_2$  od odległości pomiędzy tymi filarami. Przyjęto zmienną miąższość pokładu. Połączenie szerokości  $l_2$  i  $l_3$  miało charakter nieliniowy. Dla warunku  $5 \text{ m} \leq l_3 \leq 15 \text{ m}$  był zauważalny wyraźny wzrost



Rys. 11. Zależność minimalnej szerokości filara  $l_{\min}$  od odległości pomiędzy filarami podstawowymi  $l_3$  [3]  
 Fig. 11. Dependence of minimal width of pillar  $l_{\min}$  from distance between the basic pillars  $l_3$  [3]



Rys. 12. Zależność najmniejszej dopuszczalnej szerokości filara podstawowego  $l_2$  od odległości pomiędzy tymi filarami [3]

Fig. 12. Dependence the smallest permissible width of basic pillar  $l_2$  from distance between these pillars [3]

wymaganej szerokości filara podstawowego  $l_2$  (od 0,95 m do 1,3 m przy  $l_3 = 5$  m do 1,3 ÷ 1,85 m przy  $l_3 = 15$  m dla zmiennej miąższości pokładu od 0,7 m do 1,2 m).

Ze wzrostem szerokości filara podstawowego  $l_2$ , wzrasta jego nośność. Intensywność wzrostu szerokości filara podstawowego  $l_2$  w odległości  $l_3$ , zależy od mechanicznych właściwości węgla oraz skał stropowych. Racjonalna wartość odległości pomiędzy filarami podstawowymi zmienia się w zakresie od 10 m do 20 m.

#### 4. Podsumowanie

Zdaniem autorów prezentowana metoda stanowi jedną z bardziej interesujących metod zmechanizowanej wybiórki pokładów o miąższości poniżej 1 m. Zasadniczą jej zaletą jest duży poziom bezpieczeństwa załogi obsługującej urządzenie podczas procesu eksploatacji. Zespół obsługujący przodek pracuje w chodniku w stosunkowo komfortowych warunkach bez kontaktu z bezpośrednim czołem przodka. Odpowiednie usytuowanie stanowisk pracy załogi w stosunku do prądu świeżego powietrza oraz wydajne systemy zraszania przodka, silnie redukują ekspozycję na pyły szkodliwe dla zdrowia. W porównaniu z tradycyjnymi ścianami strugowymi można stwierdzić, że stopień narażenia załogi na czynniki niebezpieczne i szkodliwe jest niewielki. Poziom ryzyka zawodowego jest raczej porównywalny z tym, jaki występuje podczas typowych robót pomocniczych w wyrobiskach korytarzowych (realizacja transportu, wykonywanie wierceń, skręcanie rurociągów itp.). Kolejne, technologiczne zalety metody wiercenia eksploatacyjnego to stosunkowo mało skomplikowana mechanizacja robót, niewielka obsada przodka - zazwyczaj trzy osoby, prąd elektryczny jako jedyne medium zasilające. Od strony ekonomicznej jako zalety wymienić należy stosunkowo niewielkie zaangażowanie inwestycyjne dla uzbrojenia pojedynczego przodka, mała ilość wyrobisk przygotowawczych oraz ich niewielkie przekroje, a także stosunkowo wysoki poziom przodkowej wydajności pracy. Szczególnie ten drugi element zasługuje na uwagę,

w warunkach górnictwa ukraińskiego, brygady trzyosobowe w systemie czterozmianowym uzyskują wydobyć na poziomie średnim ponad 300 Mg na dobę.

Oczywiście metoda nie jest pozbawiona słabych stron, do których należy przede wszystkim wybieranie selektywne. Pozostawiane filary, oprócz strat złoża, generują również pewne zagrożenie pożarami endogenicznymi, które jednak poprzez staranną izolację komór eksploatacyjnych oraz właściwą likwidację chodników eksploatacyjnych, jest skutecznie ograniczane. Problemów nastroczają także zaburzenia tektoniczne i sedymentacyjne (szczególnie lokalne scienienia złoża), te jednak są poważną przeszkodą we wszystkich metodach i systemach eksploatacji pokładów węgla, szczególnie tych o małej miąższości.

Artykuł opracowano w ramach pracy statutowej nr 11.11.100.775

#### Literatura

1. Bondarenko V., Dychkovskiy R.: Methods of extraction of thin and rather thin coal seams in the works of the scientists of the underground mining faculty (National Mining University). Taylor & Francis Group. Interantional Mining Forum 2006.
2. Korski J.: Eksploatacyjne zwiercanie pokładów węgla w kopalniach podziemnych. „Przełąd Górniczy” 2006, nr 6.
3. Kovalevska I.: Minimizing coal losses when extracting thin coal seams with the use of auger mining technologies. Taylor & Francis Group. Interantional Mining Forum 2006.
4. Schimmel J.T., Tavenner W.H., Markle D.: Use of a large auger in mining pitching anthracite beds. Technical Report. Bureau of Mines, Washington, D.C. (USA) 1962.
5. Stoniš M., Hudeček V.: Mining of coal pillars using the drilling method. Acta Montanistica Slovaca 2009, nr 3.
6. Zorychta A., Burtan Z.: Uwarunkowania i kierunki rozwoju technologii podziemnej eksploatacji złóż w polskim górnictwie węgla kamiennego. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2008, tom 24, zeszyt 1/2.