

ŁUKASZ BOŁOZ

## Urabianie cienkich pokładów węgla kamiennego metodami powierzchniowo-podziemnymi

Złoża węgla kamiennego zalegające płytko w postaci pokładów można eksploatować metodami powierzchniowo-podziemnymi. Są to metody charakteryzujące się eksploatacją złoża z powierzchni, jednak sam proces urabiania odbywa się pod ziemią. Duże zróżnicowanie warunków górniczo-geologicznych było przyczyną powstania wielu metod i systemów eksploatacji oraz maszyn, stosowanych czasami jedynie lokalnie w różnych zakątkach świata. Przedstawiono stosowane na świecie metody powierzchniowo-podziemne. Zwrócono uwagę na nietypowe i rzadko stosowane metody oraz maszyny, które z różnych względów nie występują w Polsce. Omówiono maszyny urabiające, pracujące w metodach *highwall mining*, *auger mining*, a także *punch longwall mining* wraz z ich odmianami i typami.

Słowa kluczowe: *cienkie pokłady węgla kamiennego*, *highwall mining*, *auger mining*, *punch longwall mining*

### 1. WSTĘP

Eksploatacja złóż zasobów mineralnych rozpoczyna się od najatrakcyjniejszych w aspekcie opłacalności oraz wymagań technicznych. W przypadku węgla kamiennego zalegającego w postaci pokładów, dopóki nie ma takiej konieczności, pomijane są pokłady cienkie i silnie nachylone, szczególnie gdy zachodzi kombinacja obu. Stąd w wielu krajach obserwuje się rosnące zainteresowanie pokładami cienkimi i silnie nachylonymi wynikające z ich dużej ilości przy jednoczesnej konieczności zaspokojenia potrzeb energetycznych.

Historycznie ujmując rozwój metod i systemów, jak również maszyn stosowanych przy eksploatacji cienkich pokładów węgla kamiennego można stwierdzić, że szeroki ich zakres w światowym górnictwie podziemnym w ubiegłym wieku [1, 2] został znacząco ograniczony i sprowadzony do kilku sprawdzonych rozwiązań [3–5]. Takie rozwiązania, jak: wrębiarki, kombajny ścianowe o złożonej i nietypowej trajektorii ruchu narzędzi skrawających, kombajny o wielu organach, maszyny o różnym usytuowaniu i kształcie głowic skrawających, agregaty wnekowe, strugozgarniarki, tarany czy strugi aktywne, w większości przypadków nie są już stosowane. Obecnie najpowszechniej użytkowanymi maszynami urabiającymi są kombajny ścianowe dwuramionowe i dwuorganowe, statyczne strugi węglowe oraz

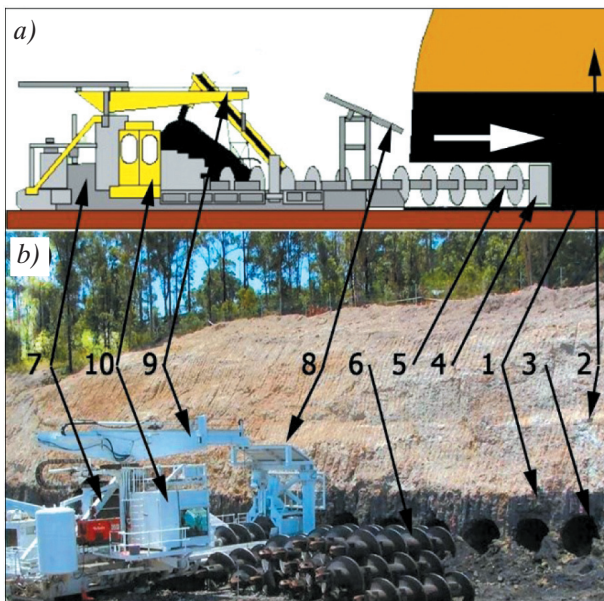
frezujące kombajny chodnikowe. Rzadziej wykorzystuje się maszyny takie jak kombajny wierzące lub wierząco-frezujące (kombajny typu Marietta, kombajny Ural-20 lub XcelMiners 4-Rotor) czy wrębiarki. Oczywiście należy zaznaczyć, że nadal opracowywane są innowacyjne rozwiązania, jednak są one albo na etapie projektu, prototypu albo są rozwiązaniami niszowymi [3, 5].

Obecnie znanych jest kilkadziesiąt systemów eksploatacji pokładów cienkich, z uwzględnieniem pokładów silnie nachylonych. W artykule omówiono trzy interesujące metody eksploatacji pokładów cienkich, mianowicie *continuous highwall mining*, *auger mining*, oraz *punch longwall mining*, które nie są i nigdy nie były stosowane w Polsce, a ze względu na ich niszowe wykorzystanie są mało znane i nie mają polskiego nazewnictwa [6]. W literaturze spotkać można również określenie *highwall mining* jako wspólną nazwę systemu zarówno dla *continuous highwall mining*, jak i *auger mining*. Są to systemy eksploatacji powierzchniowo-podziemnej bez zdejmowania nakładu. Określenie powierzchniowo-podziemna eksploatacja ma na celu zwrócenie uwagi na fakt prowadzenia wydobycia, czyli urabiania pod ziemią, jednak z bezpośrednim dostępem do pokładu z powierzchni. Systemy te stosowane są tylko tam, gdzie jest dostęp do pokładu z powierzchni, czyli pokłady na niewielkich głębokościach lub pokłady odsłonięte, tak zwane *exposed seams* albo *outcropping seams*.

Informacje o pozostałych systemach, takich jak ścianowe, ubierkowo-zabierkowe (*cut and fill*) czy podbierkowe (*sublevel caving*) można znaleźć w literaturze [4, 7, 8]. Ich mechanizacja opiera się najczęściej na znanych rozwiązaniach maszyn, takich jak kombajny chodnikowe, wozy wiertnicze, ładowarki, wozidła odstawcze, przenośniki czy różne rozwiązania obudów zmechanizowanych.

## 2. METODA AUGER MINING

Metoda *auger mining* wykorzystuje zwiercanie i jest najstarszą z omawianych metod powierzchniowo-podziemnych. Polega na wykonywaniu otworów wielkośrednicowych metodą obrotową w określonych odstępach (rys. 1). Pozostawiona między otworami przestrzeń stanowi filary ochronne. Głowica wiercząca ładuje urobek na nawój śrubowy, który transportuje go na zewnątrz, na przenośnik zgrzeblowy lub taśmowy. Metoda charakteryzuje się niskim wykorzystaniem złoża (30–40%), jednak równocześnie jest tania oraz umożliwia szybkie rozpoczęcie i zakończenie eksploatacji.

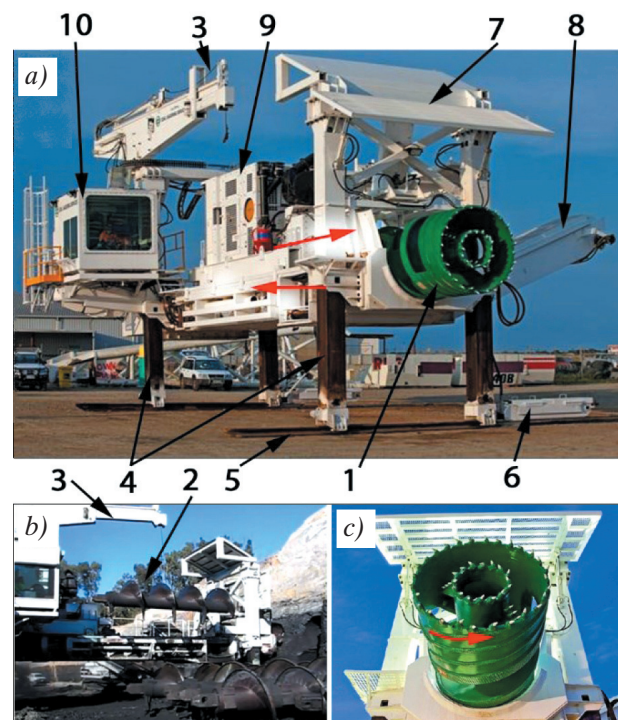


Rys. 1. Metoda *auger mining*: a) schemat metody;  
b) eksploatacja w hrabstwie Nicholas w USA

1 – pokład węgla, 2 – nadkład, 3 – otwory poeksploatacyjne, 4 – głowica wiercząca, 5 – żerdź śrubowa, 6 – odcinki żerdzi, 7 – napęd, 8 – osłona, 9 – żuraw, 10 – kabina operatora

Najbardziej zaawansowanym i największym kombajnem stosowanym w tej metodzie jest Auger Miner 1500 (rys. 2) firmy CoalAugering Service PtyLtd (CAS AM 1500). Firma CAS jest australijską firmą oferującą usługi eksploatacji pokładów węgla metodą zwiercania i stosuje technologię firmy BryDet, producenta kombajnu BUA 600 do podziemnej eksploatacji metodą zwiercania.

Zakres średnic głowic wierzących wynosi od  $\phi 1200$  mm do  $\phi 1900$  mm. Natomiast głębokość wiercenia dochodzi do 203 m dla pojedynczych otworów. Maszyna w miejscu pracy ustawiana jest na odpowiednią wysokość za pomocą kolumn o skoku 2600 mm, co umożliwi oprócz pozycjonowania również wiercenie dwóch otworów poziomych jeden nad drugim. Po wykonaniu otworu i wycofaniu żerdzi maszyna przemieszcza się poprzecznie za pomocą układu kroczącego zbudowanego z dwóch prowadnic wraz z mechanizmem hydraulicznym. Odcinki żerdzi podczas montażu i demontażu (wiercenie, wycofywanie) przenoszone są za pomocą żurawia [9].



Rys. 2. Kombajn wierzący typu *augerminer*: a) maszyna AM1500 firmy CAS; b) montaż żerdzi; c) głowica urabiająca

1 – głowica wiercząca, 2 – odcinki żerdzi, 3 – żuraw, 4 – kolumny, 5 – belka układu kroczącego, 6 – siłowniki układu kroczącego, 7 – osłona, 8 – przenośnik taśmowy, 9 – napęd, 10 – kabina operatora

Kombajny *auger miner* występują w wielu wersjach różniących się przede wszystkim średnicą wykonywanego otworu oraz liczbą głowic. Średnica otworów mieści się w zakresie od  $\phi 400$  mm do  $\phi 2500$  mm i jednocześnie mogą być wykonywane maksymalnie trzy otwory. Przykładem maszyny o najmniejszej średnicy i największej liczbie jednocześnie wykonywanych otworów jest MCK-GS MUL-T (rys. 3) firmy Salem Tool Inc., która może eksploatować pokład trzema głowicami o średnicy  $\phi 400$  mm jednocześnie. Długość wierzonego otworu dochodzi do 150 m [10].





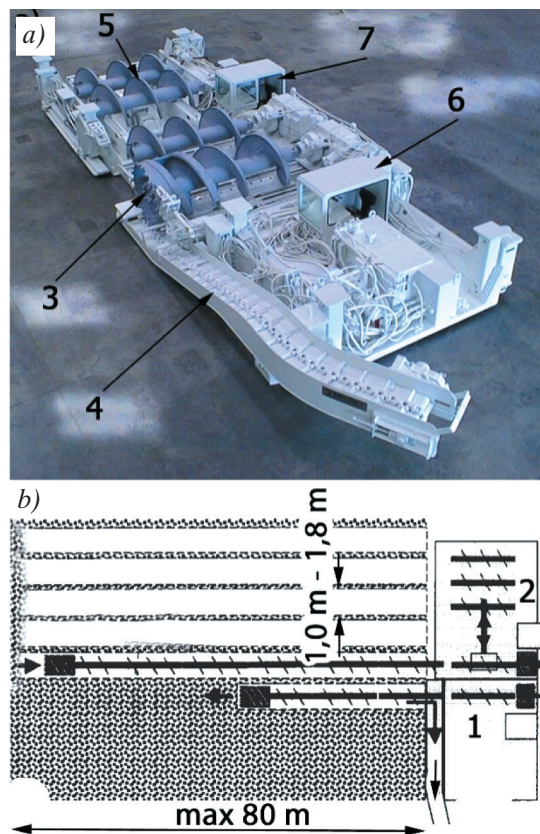
Rys. 3. Kombajn Auger Miner: a) maszyna MCK-GS MUL-T firmy Salem Tool Inc.;  
b) wiercenie trzema głowicami

Maszyny służące do eksploatacji metodą zwiercania pozwalają na bardzo szybkie rozpoczęcie eksploatacji i oprócz dostarczenia mediów i utrzymania ruchu wymagają jedynie zapewnienia systemu transportu urobku.

Technologia *auger mining* w wydaniu podziemnym wykorzystuje również metodę zwiercania, która stosowana jest do eksploatacji pokładów cienkich oraz stromo zalegających. Eksploatacja polega na selektywnym wybieraniu pokładu otworami wielkośrednicowymi. Pomiędzy poszczególnymi otworami pozostawiane są filary chroniące strop. Zarówno technologię, jak i stosowane maszyny na przykładzie górnictwa ukraińskiego i czeskiego można znaleźć w artykułach [11, 12].

Do eksploatacji podziemnej metodą zwiercania służy również kombajn BUA 600 firmy BryDet (rys. 4). Maszyna ta charakteryzuje się ciekawym rozwiązaniem polegającym na zastosowaniu dwóch jednostek: urabiającej oraz wycofującej. Obie jednostki pracują jednocześnie i w trakcie wiercenia oraz wycofywania żerdzie są przekładane z jednego otworu do drugiego, co pozwala na zminimalizowanie zasobnika żerdzi oraz zwiększa efektywność. Zmiana odległości obu jednostek względem siebie decyduje jednocześnie o szerokości filara ochronnego. Kombajn BUA 600 może wykonywać otwory o średnicy od  $\phi 1000$  mm do  $\phi 1800$  mm na głębokość do 80 m. Moc napędu jednostki wierzącej wynosi 450 kW, natomiast wycofującej – 110 kW. Masa

całkowita maszyny wynosi 60 Mg i do zabudowania wymaga wyrobiska o szerokości 6 m oraz wysokości 1,8 m [13]. Kombajn BUA 600 pomimo typowo podziemnego zastosowania został omówiony ze względu na ciekawe i możliwe do zastosowania na powierzchni rozwiązanie techniczne.

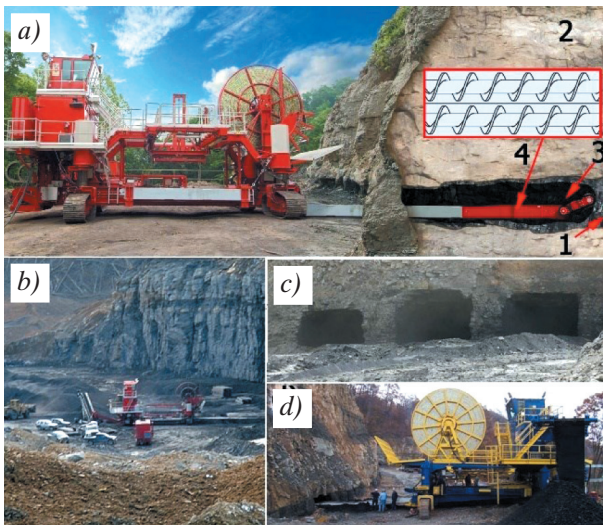


Rys. 4. Kombajn Auger Miner: a) maszyna BUA 600 firmy BryDet; b) technologia pracy  
1 – jednostka wierząca, 2 – jednostka wycofująca, 3 – głowica wierząca, 4 – przenośnik zgrzeblowy, 5 – odcinki żerdzi, 6 – kabina operatora jednostki wierzącej, 7 – kabina operatora jednostki wycofującej

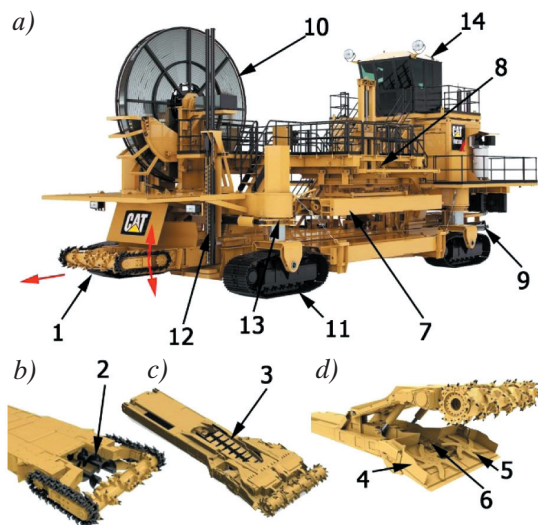
### 3. METODA CONTINUOUS HIGHWALL MINING

Metoda *continuous highwall mining* początkowo wykorzystywała maszynę urabiającą zbudowaną na bazie kombajnu chodnikowego urabiającego liniowo. W nowszych rozwiązaniach przeznaczonych zwłaszcza do pokładów cienkich stosowana jest odrębna maszyna urabiająca. Metoda polega na wykonywaniu w pokładzie kolejnych chodników rozdzielonych filarami ochronnymi, przez co wykorzystanie złoża waha się w okolicach 60%. Urobek transportowany jest na zewnątrz za pomocą podwójnych przenośników śrubowych. W obu metodach (*auger* i *highwall*) eksploatacja odbywa się bez udziału człowieka w przodku, co wyklucza konieczność

zastosowania klasycznego przewietrzania wyrobisk oraz zabezpieczenia stropów (rys. 5).



Rys. 5. Metoda highwall mining: a) schemat metody; b) wyposażenie wyrobiska wraz z maszyną Terex SHM; c) wyrobiska po eksploatacji w hrabstwie Mingo w USA; d) kombajn typu AHS (American Highwall Systems) 1 – pokład węgla, 2 – nadkład, 3 – głowica urabiająca, 4 – przenośnik ślimakowy



Rys. 6. Kombajn urabiający HW300 CAT: a) kombajn; b) moduł XLPCM; c) moduł LPCM; d) moduł high 1 – głowica urabiająca, 2 – przenośnik ślimakowy, 3 – przenośnik zgrzeblowy, 4 – stół załadowniczy, 5 – gwiazdy ładujące, 6 – przenośnik zgrzeblowy, 7 – belka, 8 – suwnica, 9 – siłowniki systemu posuwu, 10 – bęben kablowy, 11 – wózek gąsienicowy, 12 – kotwiarka, 13 – kolumna, 14 – kabina operatora

Maszyną stosowaną w tej technologii jest HW300 firmy CAT, który technicznie jest kombajnem SHM firmy Terex (rys. 6). Kombajn HW300 jest potężną maszyną

o mocy całkowitej 1600 kW, ważącą 250 Mg w najbliższej konfiguracji, która realizuje proces urabiania z zewnątrz na głębokość do 300 m. Maszyna po ustawieniu we właściwej pozycji stabilizowana jest za pomocą dwóch kotwiarek. Eksploatacja odbywa się za pomocą modułu urabiającego wypchanego w caliznę belkami systemu posuwu za pomocą siłowników hydraulicznych o skoku 6,8 m. Belki o długości 6 m stanowią jednocześnie kadłub podwójnego przenośnika ślimakowego i przenoszone są podczas montażu oraz demontażu za pomocą suwnicy. W miarę postępu frontu wszelkie przewody rozwijane są z bębna kablowego [14].

W kombajnie HW300 znajdują się cztery kompatybilne moduły urabiające dobierane do miąższości pokładu:

- XLPCM – moduł ultraniski, średnica organu  $\phi 648$  mm, wysokość urabiania od 711 mm do 1549 mm, szerokość urabiania 2946 mm, masa 23,1 Mg;
- LPCM – moduł niski, średnica organu 648 mm, wysokość urabiania od 762 mm do 1575 mm, szerokość urabiania 2946 mm, masa 23,1 Mg;
- mid – moduł średni, częściowo poza pokładami cienkimi, średnica organu  $\phi 965$  mm, wysokość urabiania od 1200 mm do 3060 mm, szerokość urabiania 3505 mm, masa 42,8 Mg. Wyposażony w dodatkowy przenośnik zgrzeblowy;
- high – moduł wysoki, całkowicie poza pokładami cienkimi – średnica organu  $\phi 965$  mm, wysokość urabiania od 2400 mm do 4494 mm, szerokość urabiania 3505 mm, masa 48,5 Mg. Wyposażony w stół załadowniczy z gwiazdami oraz dodatkowy przenośnik zgrzeblowy.

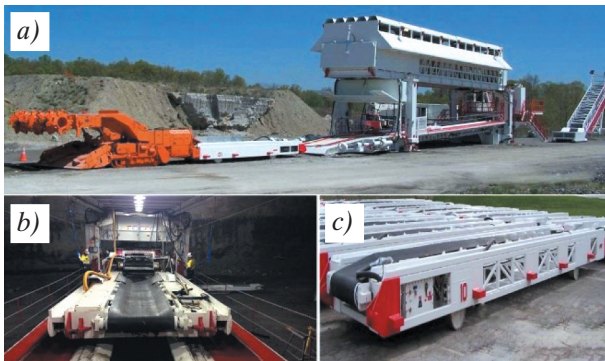
Kombajn HW300 porusza się na czterech wózkach gąsienicowych mocowanych do kolumn umożliwiających zmianę wysokości położenia modułu urabiającego względem spągu oraz skręt maszyny wraz z możliwością jazdy w poprzek. Długość maszyny wynosi ponad 20 m, szerokość prawie 12 m, a wysokość niemal 9 m [14].

Kombajny do eksploatacji metodą highwall mining występują również w wersji AHS firmy American Highwall Systems. Kombajny AHS dostosowane są do eksploatacji pokładów nachylonych do  $30^\circ$  oraz pofałdowanych (rys. 6d) [15].

Ciekawą odmianą systemu highwall mining jest system ADDCAR firmy UGM ADDCAR Systems, LLC (rys. 7). System ADDCAR stosowany jest identycznie jak HW300 i przeznaczony jest do eksploatacji pokładów w zakresie miąższości od 0,76 m do 8,54 m, na szerokość około 3,5 m. Jako maszyna urabiająca stosowany jest jeden z kombajnów liniowych firmy CAT lub



Joy. Można zastosować również kombajn chodnikowy urabiający punktowo. Jednak w każdym przypadku wymagane jest specjalne wykonanie kombajnu, dostosowane do współpracy z systemem ADDCAR.

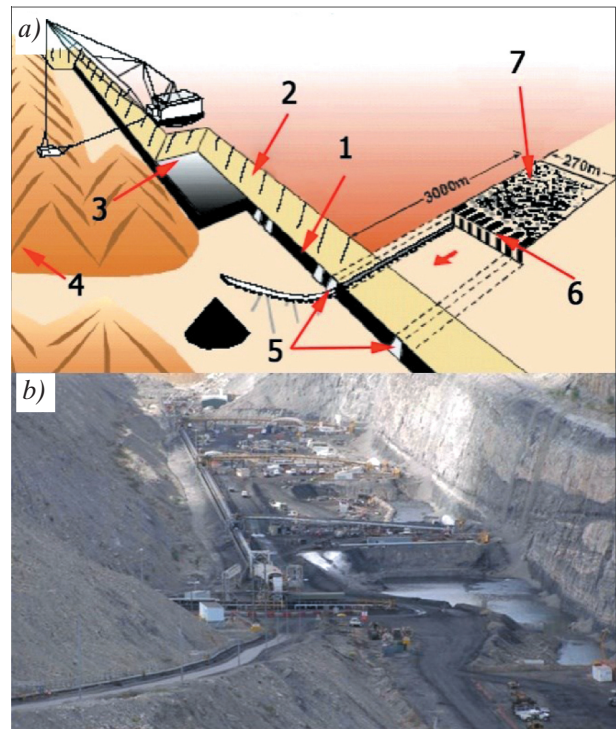


Rys. 7. Maszyny systemu ADDCAR: a) kompleks; b) montaż modułu przenośnika; c) moduły przenośnika

System ten występuje w dwóch odmianach *broad* oraz *narrow bench highwall* różniących się maksymalną miąższością urabianego pokładu oraz długością wykonywanego chodnika. Kluczową cechą systemu ADDCAR jest zastosowanie modułów stanowiących niezależne, współpracujące przenośniki taśmowe. Moduły o długości 12,5 m posiadają podwozie kołowe, własny napęd oraz układ sterowania. Dokładane w trakcie eksploatacji moduły łączone są ze sobą mechanicznie oraz elektrycznie. System pozwala na wybieranie węgla chodnikiem o długości do 488 m. Niezaprzeczalną zaletą zastosowania przenośników taśmowych jest znacznie mniejsza degradacja urobku niż podczas transportu przenośnikami ślimakowymi [16].

#### 4. METODA PUNCH LONGWALL MINING

Metoda *punch longwall mining* (rys. 8) polega na eksploatacji systemem ścianowym pokładów, które są udostępnione bezpośrednio z powierzchni przez wykonanie wkopów udostępniających. Wykopy mogą być równoległe bądź prostopadłe do kierunku postępu kompleksu ścianowego, wtedy kierunek eksploatacji odbywa się równoległe do wkopów lub prostopadłe od granicy pola eksploatacyjnego w kierunku wykopu. Między kolejnymi polami pozostawiane są filary ochronne. Wyposażenie ściany stanowi zmechanizowany kompleks ścianowy [8, 17]. Zastosowanie zmechanizowanych systemów ścianowych pozwala na wybieranie pokładów o zróżnicowanej miąższości oraz umożliwia uzyskanie wysokiego, około 90% wykorzystania złoża.



Rys. 8. *Punch longwall mining*: a) schemat metody; b) kopalnia *Broad meadow* w Australii  
1 – pokład węgla, 2 – nadkład, 3 – wykop, 4 – zwałowisko, 5 – chodniki przyścianowe, 6 – kompleks ścianowy, 7 – zroby

W metodach powierzchniowo-podziemnych stosuje się również przenośniki zgrzeblowe pelzające. Są to rozwiązania zdalnie sterowanych maszyn, które mogą pokonywać różnie usytuowane względem siebie wyrobiska, łącząc maszynę urabiającą z kolejnymi środkami odstawy. Rozwiązanie takie umożliwia zastosowanie różnych zintegrowanych z przenośnikami maszyn urabiających.

#### 5. PODSUMOWANIE

Eksploatacja cienkich i silnie nachylonych pokładów w zależności od wielu czynników odbywa się przy zastosowaniu różnych metod i maszyn. Na przestrzeni lat stosowano bardzo zróżnicowane maszyny urabiające, obecnie pozostały nieliczne, sprawdzone rozwiązania. Jednak uwarunkowania występujące jedynie lokalnie przyczyniły się do rozwoju metod eksploatacji i stosowanych w nich maszynach, używanych na niewielką skalę w różnych zakątkach świata. Przedstawiony w artykule oraz w literaturze [5–8] przegląd metod, systemów oraz maszyn urabiających wskazuje na ich duże zróżnicowanie. Zaprezentowane w artykule maszyny

rozwijane są i stosowane od wielu lat. Mimo dużej różnorodności metod sposób urabiania sprowadza się do frezowania lub wiercenia. W zależności od zastosowanej metody oraz ewentualnej konieczności ochrony powierzchni nad wyrobiskami wykorzystanie złoża waha się od 30% do 40% dla metody *auger mining*, 60% dla metody *high-wall mining*, około 90% dla systemów ścianowych.

W artykule skupiono się na niespotykanych w Polsce maszynach, przystosowanych do urabiania cienkich pokładów węgla kamiennego. To, że nie są one stosowane w kraju, spowodowane jest brakiem korzystnych warunków górniczo-geologicznych oraz brakiem możliwych do eksploatacji pokładów płytko zalegających lub eksploatowanych.

Wszystkie z przedstawionych metod stosowane są również do eksploatacji pokładów średnich i grubych. Maszyna urabiająca charakteryzuje się wtedy większą wysokością urabiania. Wyjątek stanowi metoda zwiercania, gdzie maksymalna średnica głowicy wynosi  $\phi 2500$  mm, a otwory wykonuje się w dwóch rzędach w pionie.

#### Podziękowania

Prace finansowane z grantu dziekańskiego na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH w ramach umowy numer 15.11.130.838.

#### Literatura

- [1] Antoniuk J., Opolski T.: *Maszyny górnicze. Część 2: Maszyny do eksploatacji podziemnej*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1979.
- [2] Opolski T.: *Elementy urabiające nowoczesnych maszyn roboczych*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1966.
- [3] Bołoz Ł.: *Ocena obciążenia jednoorganowego kombajnu ścianowego na podstawie badań analitycznych*, AGH w Krakowie, Kraków 2012 [praca doktorska].
- [4] Piechota S.: *Podstawowe zasady i technologie wybierania kopalin stałych*, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2003.

- [5] Kotwica K., Mendyka P., Bołoz Ł. et al.: *Wybrane problemy urabiania, transportu i przeróbki skał trudnorabialnych. Część I*, pod red. Krauze K., Wydawnictwa AGH, Kraków 2016.
- [6] Czaplicki J.: *Mechanizacja w górnictwie okruchowym i skalnym. Kopalnie odkrywkowe złóż pokładowych i rud metalicznych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
- [7] Bołoz Ł.: *Maszyny urabiające w wybranych metodach eksploatacji cienkich pokładów węgla kamiennego*, „Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji, Górnictwo – Perspektywy i Zagrożenia: Węgiel, Tania Czysta Energia i Miejsca Pracy” 2018, 7, 1: 131–142.
- [8] Bołoz Ł.: *Maszyny urabiające w ścianowych systemach eksploatacji cienkich pokładów węgla kamiennego*, „Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji, Górnictwo – Perspektywy i Zagrożenia: Węgiel, Tania Czysta Energia i Miejsca Pracy” 2018, 7, 1: 143–154.
- [9] Coal Augering Services Pty Ltd, [www.coalaugering.com](http://www.coalaugering.com) [20.03.2018].
- [10] Salem Tool Inc., [www.salemtoolinc.com](http://www.salemtoolinc.com) [20.03.2018].
- [11] Rak Z., Skrzypkowski K., Stasica J.: *Eksploatacja pokładów cienkich metodą zwiercania*, „Przegląd Górniczy” 2014, 2: 18–24.
- [12] Stonis M., Hudecek V.: *Mining of Coal Pillars Using the Drilling Method*, „Acta Montanistica Slovaca” 2009, 3: 241–249.
- [13] BryDet, [www.brydet.com](http://www.brydet.com) [29.06.2018].
- [14] Caterpillar Inc. (CAT), [www.cat.com](http://www.cat.com) [29.06.2018].
- [15] American Highwall Systems, American Highwall Mining Llc, <http://americanhighwallsystems.com> [29.06.2018].
- [16] UGMADDCARSsystems,LLC., <https://addcarsystems.com> [29.06.2018].
- [17] Bołoz Ł.: *Longwall shearers for exploiting thin coal seams as well as thin and highly inclined coal seams*, „Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering” 2018, 2: 59–65.

dr inż. ŁUKASZ BOŁOZ

Katedra Maszyn Górniczych, Przeróbczych  
i Transportowych

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki  
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
[boloz@agh.edu.pl](mailto:boloz@agh.edu.pl)