

26

UDOSTĘPNIANIE ZŁÓŻ KOPALIN UŻYTECZNYCH Z WYKORZYSTANIEM KOMBAJNÓW PEŁNOPRZEKROJOWYCH TBM

26.1 WPROWADZENIE

Zasadniczą formą udostępniania złóż dla wydobycia metodami podziemnymi jest budowa szybów pionowych bądź wyrobisk nachylonych, zwanych upadowymi. Na wybór konkretnego rozwiązania udostępnienia złoża wpływ ma szereg czynników technicznych i ekonomicznych, takich jak przekrój geologiczny masywu otaczającego złoża, stopień zawodnienia, głębokość zalegania, występowanie uskoków, istniejąca infrastruktura i otoczenie projektowanej kopalni czy w końcu wcześniejsze doświadczenia konkretnej firmy górniczej. Czynniki te zostały szczegółowo omówione w pozycji [4].

Ze względu na konieczną do przeprowadzenia analizę wielokryterialną decyzja o wyborze szybu pionowego lub upadowej nie jest zadaniem prostym. Na korzyść szybu pionowego z pewnością przemawia znacznie mniejsza odległość bezpośredniego drążenia, krótszy całkowity czas udostępnienia złoża, niższe koszty inwestycyjne oraz łatwiejsze pokonywanie w trakcie drążenia stref zawodnionych i uskoków, natomiast główną korzyścią płynącą z budowy upadowej jest jej znacznie większa wydajność transportowa, łatwiejsza kontrola stanu obudowy oraz znacznie mniejsze wymagania dotyczące bezpieczeństwa.

Możliwość zapewnienia ciągów odstawczych, złożonych najczęściej z przenośników taśmowych, jak również zapewnienia dodatkowego transportu cyklicznego przy wykorzystaniu kolei spągowych lub podwieszanych bądź pojazdów kołowych stanowi bez wątpienia znaczącą przewagę eksploatacyjną upadowej w stosunku do szybów pionowych. Prowadzenie odstawy urobku przy pomocy upadowych powoduje uproszczenie modelu kopalni, prowadzi do zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych, a zastosowanie prostszych i łatwiejszych w obsłudze urządzeń sprzyja poprawie bezpieczeństwa. W warunkach polskiego górnictwa węgla kamiennego najbardziej znaną strukturą tego typu jest upadowa na kopalni „Marcel”, oddana do eksploatacji 13 marca 2008 roku. Upadowa ta posiada długość 1840 m, poprowadzona została z powierzchni do poziomu 400, za odstawę urobku odpowiada ciąg przenośników taśmowych. Informacje na temat tejże upadowej zostały zawarte w

publikacji [12], natomiast szczegółowe informacje dotyczące sterowania ciągiem technologicznym upadowej i wymagań związanych z taśmowymi przenośnikami wznoszącymi zawarto w publikacjach [5, 6].

Szczególne zalety związane z udostępnianiem złóż przy pomocy upadowych objawiają się w górnictwie rudnym. Ze względu na wykorzystanie w procesie technologicznym szeregu maszyn osadzonych na samojezdnych podwoziach kołowych i gąsienicowych, umożliwienie tym maszynom samodzielnego zjazdu i wyjazdu na powierzchnię w znacznym stopniu upraszcza model kopalni, zwiększa ogólną dyspozycyjność maszyn oraz ułatwia wszelkie prace serwisowe. W połączeniu z wymienionymi już zaletami związanymi z transportem i odstawą, udostępnienie złoża przy pomocy upadowych w przypadku kopalni rud jest rozwiązaniem bardzo często stosowanym w górnictwie światowym. W warunkach polskich upadowe były wykorzystywane m. in. w ZG „Trzebionka” w Trzebini, w kopalni Grodziec czy obecnie w kopalni Pomorzany, należącej do ZGH „Bolesław” w Bukownie. Możliwości udostępniania złóż w obszarze monokliny przed sudeckiej (teren tzw. Starego Zagłębia Miedziowego) zostały przedstawione w pracy [3].

Zasadniczym ograniczeniem udostępnienia złóż przy pomocy upadowych jest głębokość zalegania złoża oraz warunki górniczo-geologiczne towarzyszące ich drążeniu. Upadowe, jako formy tuneli o długoletnim okresie eksploatacji budowane są obecnie wg Nowej Austriackiej Metody Drążenia Tuneli (NATM) bądź Norweskiej Metody Tunelowania (NMT). W obu tych metodach preferowane są mechaniczne techniki drążenia. Szczególnie korzystnym jest w tym wypadku wykorzystanie kombajnów pełoprzekrojowych rozporowych lub tarcz osłonowych zmechanizowanych. Z uwagi na specyfikę pracy tego typu maszyn, podczas projektowania upadowych należy szczególnie wziąć pod uwagę przede wszystkim metodę drążenia wyrobiska, warunkującą rodzaj maszyny, planowane nachylenie, możliwe do napotkania podczas drążenia nieciągłości masywu skalnego oraz występujące warunki hydrogeologiczne.

26.2 NOWOCZESNE METODY BUDOWY TUNELI

Obecnie najczęściej stosowaną metodą budowy tuneli o przeznaczeniu długotrwałym, przekraczającym kilka lat, do których również zaliczyć należy upadowe, jest Nowa Austriacka Metoda Drążenia Tuneli (ang. NATM – New Austrian Tunnelling Method). Szczegółowy opis tej metody został zawarty w pracach [9, 11]. Podstawowym założeniem NATM, w odróżnieniu od historycznie starszych technik tunelowania, jest wykorzystanie inherentnej wytrzymałości masywu skalnego otaczającego tunel w celu jego stabilizacji.

Nowa Austriacka Metoda Tunelowania łączy w sobie wykorzystanie zachowania mas skalnych pod wpływem obciążenia z wykorzystaniem odpowiednich konstrukcji wsporczych. Dobór odpowiedniej obudowy jest realizowany i modyfikowany w trakcie drążenia tunelu, na podstawie odczytów z monitoringu zachowania masywu skalnego tak, aby dla występującej konwergencji odpowiednio dobierać charakterystyki podatności obudowy oraz na bieżąco reagować na zmieniające się warunki górniczo-

geologiczne napotymane podczas drążenia. NATM nie stanowi natomiast ścisłych zaleceń dotyczących doboru metody drążenia i stosowanej obudowy. W publikacji [1] wskazano siedem podstawowych założeń NATM:

- wykorzystanie wytrzymałości masywu skalnego otaczającego tunel – zakłada się zachowanie i możliwie duże wykorzystanie inherentnej wytrzymałości skał jako podstawowej obudowy wyrobiska; wprowadzana dodatkowa obudowa ma za zadanie zapewnić stabilność masywu i nie dopuścić do jego degradacji,
- wstępne zabezpieczenie przez torkretowanie – zapobiegające zbyt dużym początkowym odkształceniom masywu i jego rozluźnieniu, nakładane w bezpośredniej bliskości czoła drążonego tunelu,
- pomiary i monitorowanie – deformacje tunelu muszą być w ścisły sposób monitorowane; metoda zakłada wykorzystanie rozbudowanych i dokładnych systemów pomiarowych zarówno w masywie, obudowie jak i niezabezpieczonym wyrobisku; w razie stwierdzenia przekroczenia oczekiwanych wartości deformacji instalowane są dodatkowe wzmocnienia, np. w postaci kotew lub siatek stalowych,
- podatność obudowy – wykorzystanie aktywnych metod obudowy tunelu, zarówno w formie obudowy wstępnej, instalowanej w pobliżu czoła tunelu, jak i obudowy ostatecznej – instalowanej w odpowiedniej odległości od czoła i po upływie odpowiedniego czasu przeznaczanego na wstępną konwergencję masywu, o podatności dostosowanej do monitorowanego zachowania skał,
- zamknięty przekrój obudowy, preferowany w formie pierścieniowej – cecha kluczowa w przypadku tuneli w masywach gruntowych; stosunkowo szybkie zamknięcie pierścienia obudowy zapobiega wypiętrzaniu spągu oraz umożliwia przenoszenie znacznie większych obciążeń przez strukturę wsporczą, jak również zapewnia odpowiedni rozkład naprężeń masywu skalnego, stanowiącego w tym wypadku obudowę właściwą wyrobiska,
- modyfikacja projektu w trakcie jego realizacji – zakłada się dostosowywanie parametrów drążenia i instalacji obudowy odpowiednio do monitorowanych na bieżąco warunków górniczo-geologicznych; wiąże się to z koniecznością modyfikacji wstępnie przyjętego projektu tunelowego,
- wykorzystanie klasyfikacji masywów – na podstawie ogólnie znanych i stosowanych klasyfikacji (np. Bieniawskiego – RMR lub Bartona – Q) dokonuje się wstępnego doboru obudowy tunelu spełniającej warunek minimalnej nośności, ograniczając w ten sposób wydatki na zbyt rozbudowane i przewymiarowane struktury.

W filozofię powszechnie obecnie stosowanej Nowej Austriackiej Metody Tunelowania bardzo dobrze wpisują się kombajny pełnoprzekrojowe, m. in. dzięki mechanicznemu drążeniu tunelu, możliwości szybkiego zabezpieczenia wstępnego, kołowemu przekrojowi wyrobiska oraz znacznej automatyzacji i możliwości równoległego prowadzenia procesów.

Obok NATM stosuje się również bardzo podobną Norweską Metodę Tunelowania – NMT. Podstawowe założenia tej metody można znaleźć w pracy [2]. NMT wydaje się bardziej przydatna w przypadku górotworu zwięzłego, o średnich i wysokich parametrach wytrzymałości, gdzie istotny wpływ mają sieci spękań i występujące nieciągłości, NATM

znajduje natomiast zastosowanie bardziej dla górotworu małoźwiężłego, o średnich i niskich parametrach wytrzymałościowych, z niedominującymi spękaniami i nieciągłościami. Głównym rozróżnieniem jest rodzaj stosowanej obudowy – w przypadku NMT stosuje się głównie kotwie i torkret, a beton stanowi ich uzupełnienie, natomiast w NATM stosuje się torkret oraz beton lub inne elementy wzmacniające, jak łuki bądź zbrojenia stalowe, natomiast kotwie pełnią rolę pomocniczą. W przypadku NMT wykorzystuje się kombajny pełnoprzekrojowe TBM typu Gripper, umożliwiające równoległe drążenie wyrobiska i zakładanie obudowy, uzyskujące największe postępy dobowe z pośród wszystkich stosowanych maszyn tunelowych.

26.3 PROBLEMY TECHNICZNE NAPOTYKANE W TRAKCIE DRAŻENIA UPADOWYCH

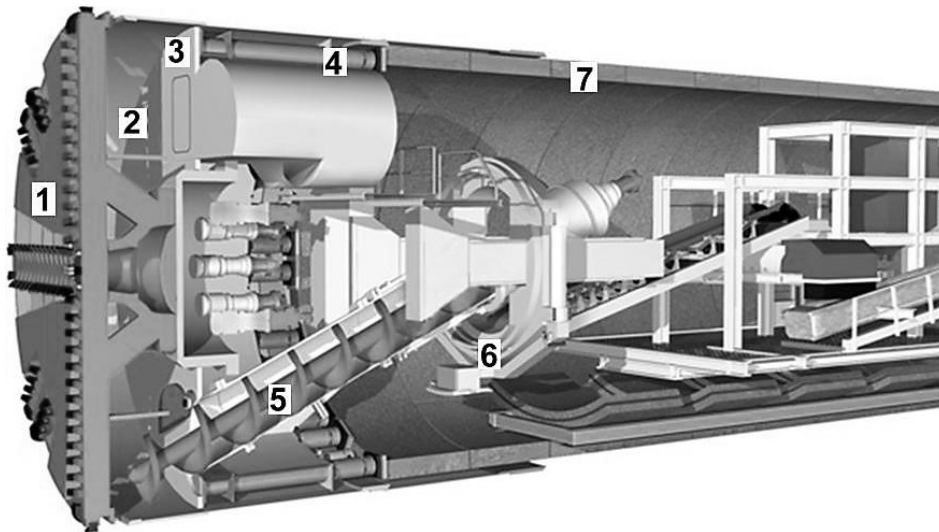
Podczas udostępniania złóż surowców mineralnych przy pomocy upadowych należy liczyć się z szeregiem możliwych do wystąpienia problemów i niedogodności o charakterze technicznym. Do najważniejszych z nich należą: niejednorodność masywu, w którym drążona jest upadowa, zagrożenia wodne, konieczność drążenia wyrobiska nachylonego oraz występowanie lokalnych nieciągłości i zaburzeń masywu. Zagadnienia te, w aspekcie drążenia upadowych kombajnami pełnoprzekrojowymi, zostaną poniżej pokrótce omówione.

26.3.1 Dobór konstrukcji maszyny drążącej do warunków geologiczno-górnictwowych

W zależności od typu gruntu lub masywu skalnego w którym planuje się wykonanie wyrobiska przy pomocy kombajnu pełnoprzekrojowego niezbędnym jest dobór odpowiedniej konstrukcji i zasady działania takiej maszyny. Obecnie wyróżnia się trzy zasadnicze, najczęściej stosowane typy kombajnów pełnoprzekrojowych:

- EPB Shield – tarcza osłonowa z równoważącym korkiem gruntowym (ang. Earth Pressure Balance) – konstrukcja, w której siła naporu ośrodka gruntowego jest regulowana poprzez prędkość obrotową przenośnika ślimakowego, realizującego funkcję odstawy (rys. 26.1). Konstrukcja tego typu może być wyposażona w dodatkową kruszarkę szczękową, rozdrabniającą twardsze frakcje oraz wtrącenia skalne, z tego też powodu tarcze EPB mogą być stosowane do warunków niejednorodnych masywów gruntowych.
- Slurry Shield – tarcza osłonowa zawieszinowa, określana przez producentów również mianem Mixshield – to konstrukcja realizująca kontrolę ciśnienia wywieranego przez grunt na tarczę przy pomocy regulacji ciśnień zawiesiny doprowadzanej i odprowadzanej z przestrzeni tarczy. Regulacja ciśnienia odbywa się za pomocą poduszki sprężonego powietrza (rys. 26.2). Tego typu rozwiązanie pozwala w szerokim zakresie regulować wartości sił działających na tarczę, jak również skutecznie przeciwdziałać ciśnieniu wody pochodzącemu z masywu gruntowego. Z uwagi na stosowany hydrotransport odstawiany urobek musi

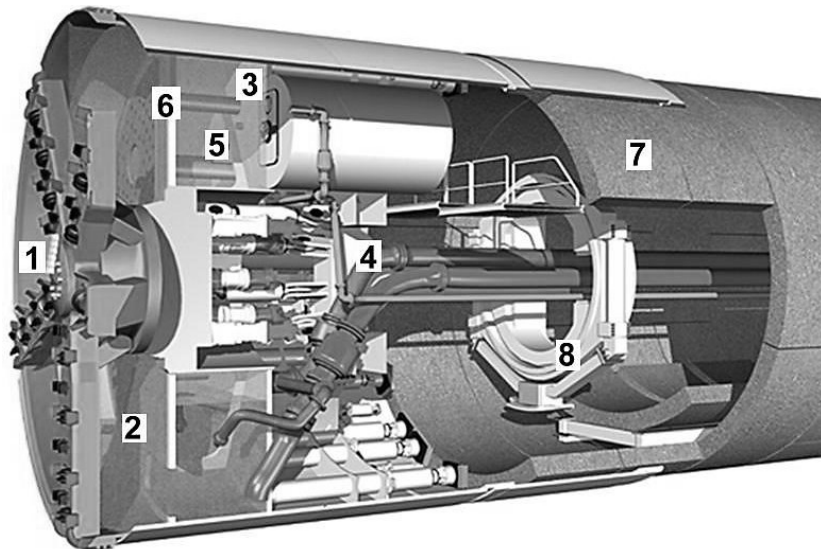
charakteryzować się stosunkowo niską granulacją, stąd rozwiązanie tego typu przeznaczone jest głównie do jednorodnych gruntów bez przerostów skalnych.



Rys. 26.1 Tarcza osłonowa zamknięta typu EPB firmy Herrenknecht

1 – głowica urabiająca, 2 – komora robocza, 3 – przegroda ciśnieniowa, 4 – siłowniki posuwu,
5 – przenośnik śrubowy, 6 – erektor, 7 – obudowa tubingowa

Źródło: [8]



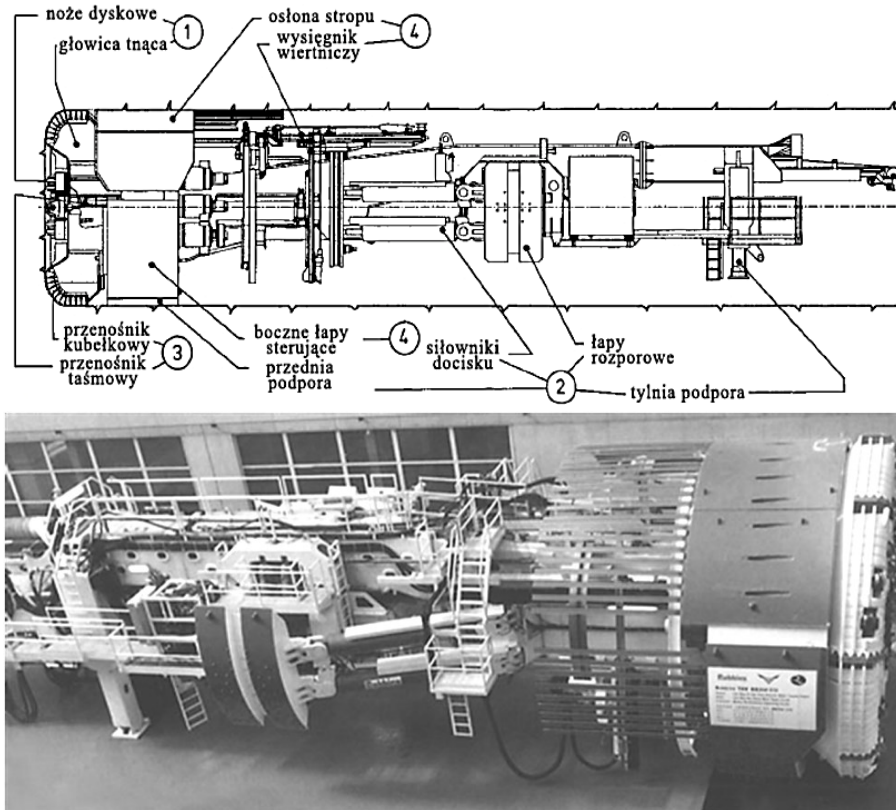
Rys. 26.2 Tarcza osłonowa zamknięta z zawiesiną płuczkową i poduszką powietrzną tzw. Mixshield firmy Herrenknecht

1 – głowica urabiająca, 2 – komora urobkowa, 3 – membrana ciśnieniowa,
4 – rura przez którą tłoczona jest zawiesina płuczkowa, 5 – poduszka sprężonego powietrza,
6 – tzw. zanurzona ściana, 7 – obudowa tubingowa, 8 – erektor

Źródło: [8]

- Gripper TBM – kombajn pełoprzekrojowy rozporowy wyposażony w narzędzia dyskowe, mogący realizować efektywne urabianie skał o dużej zwięzłości i wytrzymałości na ściskanie (nawet do 220 MPa, jak w przypadku szwedzkiego tunelu Halandsas). Cechą charakterystyczną kombajnu typu gripper jest rozparcie maszyny bezpośrednio o otaczające skały, a nie odpychanie się od obudowy tunelu

(jak w przypadku tarcz osłonowych EPB i Slurry). Z jednej strony pozwala to uzyskiwać bardzo duże postępy dobowe drążenia wyrobiska dzięki możliwości równoczesnego drążenia i układania obudowy – z drugiej strony, tego typu konstrukcja posiada strukturę otwartą, nie przeznaczoną do pracy w środowisku zawodnionym (rys. 26.3).



Rys. 26.3 Podstawowe zespoły części urabiającej pełoprzekrojowego kombajnu TBM typu rozporowego i widok kombajnu rozporowego firmy Robbins

Źródło: [7]

W ostatnich latach w przemyśle tunelowym pojawiły się kombajny pełoprzekrojowe typu Multi-mode, mogące pracować w dwóch wybranych trybach – czy to po przeprowadzeniu odpowiedniej przebudowy konstrukcji maszyny, czy też płynnie zmieniając tryb aktualnej pracy (rys. 26.4).



Rys. 26.4. Schematyczna możliwość łączenia dwóch trybów pracy kombajnu pełoprzekrojowego

Konstrukcje kombajnów typu Multi-mode zostały z powodzeniem wykorzystane w kilku projektach, np. podczas drążenia upadowej w kopalni Grosvenor, tunelu hydrologicznego pod jeziorem Mead, podczas wykonywania obwodnicy Paryża SCATOP, w trakcie drążenia wspomnianego już tunelu komunikacyjnego Halandsas, podczas wykonywania tuneli Katzenberg oraz FineTunnel w Niemczech czy w procesie wykonywania tunelu dla kolei TGV w rejonie Saverne we Francji [8].

Konstrukcje typu Multi-mode, z uwagi na swoją wielofunkcyjność, mogą drążyć wyrobiska w zmiennych warunkach gruntowych, np. jedna maszyna może przebić się przez warstwy zwięzłych skał w trybie gripper, po czym przejść przez warstwy mocno zawodnione w trybie slurry. Decydując się na wybór maszyny Multi-mode należy dodatkowo stwierdzić, czy maszyna będzie mogła być przebudowana na określonym etapie drążenia wyrobiska, czy wymagana jest jej wielofunkcyjność bez możliwości przebrojenia. Rozwiązanie pierwsze jest znacznie tańsze, powoduje jednak co najmniej kilkutygodniowy przestój związany z przebrojeniem maszyny; rozwiązanie drugie generuje znacznie większe koszty inwestycyjne, natomiast pozwala prowadzić możliwie ciągłe drążenie tunelu.

Pojawienie się konstrukcji typu Multi-mode pozwala obecnie udostępniać pokłady złóż przy pomocy upadowych nawet tam, gdzie wcześniej nie było to możliwe ze względu na czynniki geologiczne. Tego typu kombajny pełoprzekrojowe mogą drążyć tunele zarówno w gruntach jednorodnych, strefach mocno zawodnionych, gruntach z wyraźnymi przewarstwieniami bądź w skałach zwięzłych, bez konieczności drastycznej zmiany metody drążenia bądź np. stosowania mrożenia górotworu, co znacznie skraca czas oraz obniża koszty wykonywania tego typu wyrobisk.

26.3.2 Pokonywanie nieciągłości i stref mocno zaburzonych

Podczas drążenia wielu wyrobisk nachylonych o długim wybiegu, jak również tuneli poziomych, natrafiano na strefy znacznych nieciągłości geologicznych, złożonych np. z rumoszu skalnego. Sytuacja tego typu miała miejsce np. podczas drążenia nowego tunelu klejowego św. Gotarda (Gothard Base Tunnel), będącego obecnie w końcowej fazie budowy najdłuższego tunelu komunikacyjnego na świecie. Innym przypadkiem stref zaburzonych jest przejście upadowej przez pokłady wodonośne. W obu przypadkach najbardziej efektywne kombajny pełoprzekrojowe typu gripper mają trudności z efektywnym rozparciem konstrukcji o ociosy, a co za tym idzie – nie są w stanie wymusić dalszego postępu drążenia. Wobec tego typu nieciągłości często jedyną efektywną metodą umożliwiającą rozparcie kombajnu jest zastosowanie iniekcji do masywu górotworu w celu jego stabilizacji.

Kombajny TBM typu Gripper, produkowane przez firmę Robbins, w przypadku podejrzenia wystąpienia tego typu stref wyposażane są w system nawiercania otworów w układzie wachlarzowym do czoła maszyny, w które następnie wprowadzana jest odpowiednia mieszanka iniekcyjna. Wiertnica służąca do wykonywania tego typu otworów jest zamontowana obrotowo na specjalnym pierścieniu wewnątrz kombajnu, umożliwiając wykonywanie otworów dookoła tarczy wiercącej. Średnia długość tego

typu otworów to 30 do 60 m [7]. Schematyczna wizualizacja działania systemu iniekcyjnego firmy Robbins została przedstawiona na rys. 26.5.



Rys. 26.5 System otworów iniekcyjnych wykonywanych na obwodzie tarczy wierzącej

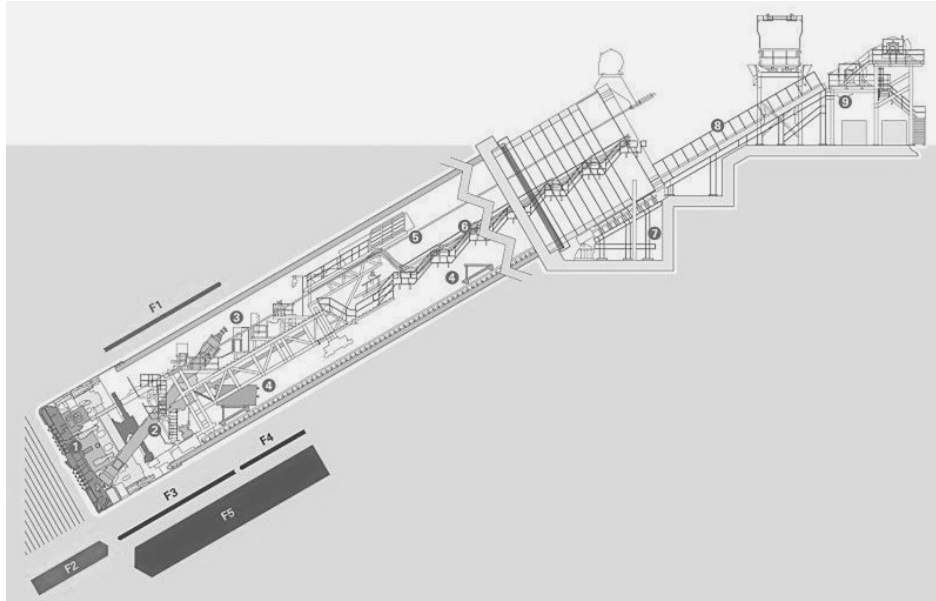
Źródło: [7]

Przedstawione rozwiązanie pozwala zabezpieczyć trasę drążenia tunelu bądź upadowej nawet do 50 metrów przed czołem maszyny. Dzięki temu przejście przez strefy rozluźnione bądź zawadnione może być znacznie łatwiejsze, natomiast ciągle należy mieć na uwadze przestój technologiczny związany z wykonaniem i czasem uzyskania przez wtłaczany iniekt swoich nominalnych parametrów.

26.4 DRAŻENIE WYROBISK NACHYLONYCH

Podstawowym zagadnieniem związanym z drążeniem upadowych jest konieczność wykonywania wyrobiska pod zadaniem nachylenia. Naturalną konsekwencją zwiększania kąta nachylenia jest skrócenie całkowitego wybiegu wymaganego do wydrążenia wyrobiska przy równoczesnym generowaniu coraz to większych oporów ruchu środków transportowych. W zależności od planowanego do zastosowania środka transportu nachylenie to wynosi od ok. 8% w przypadku transportu oponowego oraz do 15% w przypadku transportu przenośnikowego; przy większych kątach pochylenia najczęściej stosowanym rozwiązaniem są koleje zębate.

Podobny problem związany z drążeniem wyrobisk nachylonych, występuje często w przypadku tuneli komunikacyjnych i hydrotechnicznych. W odpowiedzi na tego typu problemy firma Herrenknecht opracowała szereg rozwiązań tego typu, przykładowo do budowy metra w Sankt Petersburgu – wymagającego wydrążenia tunelu dostępowego do metra o nachyleniu 30 stopni i średnicy rzędu 9400 mm. Na potrzeby tego przedsięwzięcia zaprojektowano specjalny system transportu segmentów obudowy przy pomocy wagoników; służyły one także do odstawy urobionego materiału. Schemat konstrukcji tego typu układu przedstawiono na rys. 26.6, natomiast na rys. 26.7 przedstawiono tę upadową w trakcie drążenia.



Rys. 26.6 Schemat systemu drążenia pod kątem 30 stopni zastosowany przez firmę Herrenknecht w Sankt Petersburgu

Źródło: [8]



Rys. 26.7 Widok wykonywanego tunelu dostępowego (upadowej) do stacji metra

Źródło: [8]

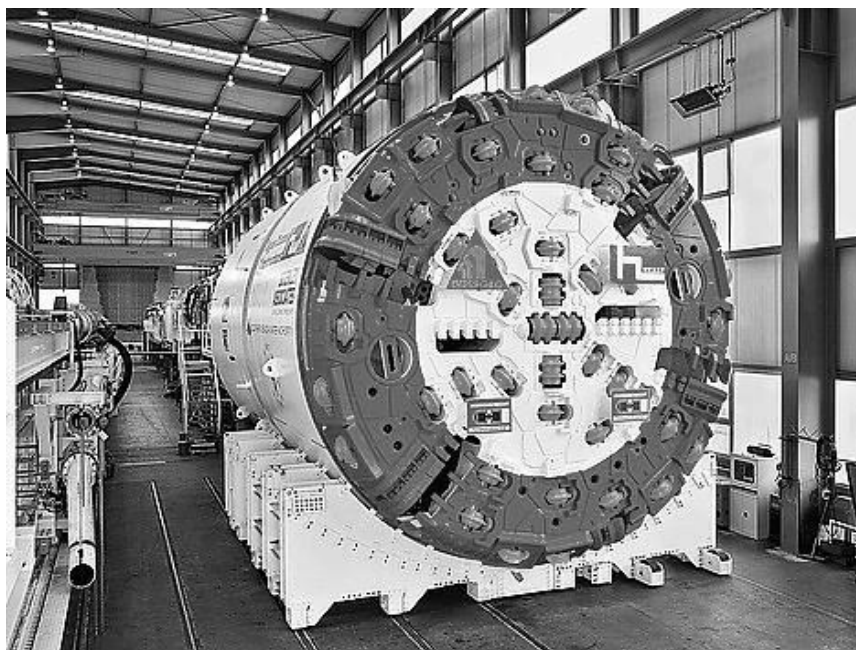
Rozwiązania techniczne zaprojektowane na potrzeby drążenia tuneli nachylonych, takie jak metody transportu segmentów obudowy betonowej, układy prowadzenia głowicy urabiającej czy systemu odstawy urobionego materiału znajdują proste przełożenie do zastosowań przy drążeniu nachylonych wyrobisk udostępniających.

26.4.1 Przeciwdziałanie ciśnieniu wody w górotworze

Czynnik ciśnienia wody, rosnącego naturalnie wraz z głębokością drążenia, stanowi na dzień dzisiejszy podstawową barierę stosowania kombajnów pełnoprzekrojowych. W przypadku napotkania stref mocno zawodnionych na niewielkich odcinkach – np. podczas

drażenia tuneli pod rzekami – koniecznym może być zastosowanie mrożenia górotworu. Dla tuneli o dłuższych wybiegach, nachylonych pod stosunkowo niewielkim kątem do poziomu, proces mrożenia może odbywać się jedynie miejscowo. Z tego względu, w celu uniknięcia kosztownego i długotrwałego procesu mrożenia, kombajn typu TBM powinien posiadać szczelną konstrukcję i wytrzymywać napór znacznego ciśnienia wody. Takie warunki spełniają tarcze osłonowe zamknięte typu EPB oraz tarcze zawieszinowe typu Slurry, opisane w rozdziale 3.

Przez pewien czas maszyną wytrzymującą rekordową wartość ciśnienia wody pozostawał kombajn zastosowany do drażenia szwedzkiego tunelu kolejowego Halandsas – kombajn z powodzeniem wytrzymał napór ciśnienia wody o wartości 11 *bar*. Obecnie granica ta została przesunięta przez maszynę firmy Herrenknecht o oznaczeniu S-502 (rys. 26.8), zastosowaną do wydrażenia tunelu geotechnicznego pod jeziorem Mead – jednym z największych zbiorników wody pitnej na terenie USA, bezpośredniego rezerwuaru wody dla Las Vegas. Kombajn ten z powodzeniem wydrążył ukończony pod koniec 2014 roku tunel, pracując pod ciśnieniem wody równym 15 *bar*. Dodatkowo należy wspomnieć, iż kombajn S-502 posiadał również strukturę typu Multi-mode – był on połączeniem tarczy osłonowej zamkniętej zawieszinowej typu Slurry oraz kombajnu typu gripper.



Rys. 26.8 Kombajn TBM S-502 typu Multi-mode, przystosowany do drażenia przy ciśnieniu wód gruntowych do 15 MPa

Źródło: [8]

Obecnie przyjmuje się, że technologiczną granicą dla ciśnienia wody w górotworze przy którym możliwe jest wykorzystanie kombajnu osłonowego zamkniętego typu TBM jest wartość ok. 18 *bar*.

26.5 PRZYKŁADOWA REALIZACJA UDOSTĘPNIENIA ZŁOŻA KOMBAJNEM PEŁNOPRZEKROJOWYM – UPADOWA KOPALNI GROSVENOR

Drażenie dwóch upadowych w kopalni węgla kamiennego Grosvenor na terenie Australii, należącej do australijsko-amerykańskiego konsorcjum górniczego, rozpoczęło się 20 grudnia 2013 roku przy wykorzystaniu hybrydowego kombajnu pełnoprzekrojowego o średnicy 8 metrów, mogącego pracować zarówno w trybie tarczy osłonowej EPB jak i tarczy otwartej typu gripper, wyprodukowanego przez firmę Robbins [10]. Aby sprostać napiętym wymaganiom czasowym, kombajn ten był po raz pierwszy montowany i uruchamiany już w docelowym miejscu rozpoczęcia drążenia. Montaż ten w oddalonej od cywilizacji lokalizacji w pobliżu Moranbah w Australii zajął około cztery i pół miesiąca, po czym rozpoczęto drążenie upadowej poprzez transport kombajnu do komory startowej.

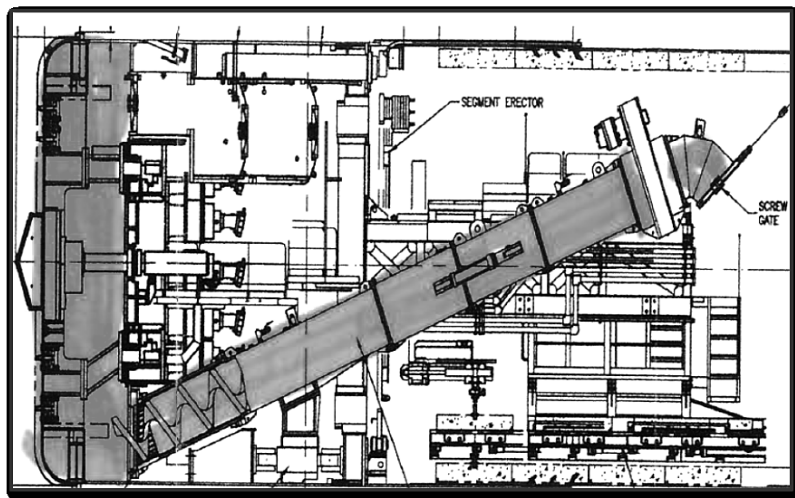
Dwa drążone tunele, nachylone w proporcjach 1:6 oraz 1:8, umożliwią udostępnienie nowych pokładów węglowych dla kopalni. Hybrydowa maszyna TBM napotykała na swojej drodze niejednorodny ośrodek skalny, od piasków i glin poprzez różnego typu osadowe skały zwięzłe o wytrzymałości na ściskanie rzędu 120 MPa, aż do pokładów węglowych. Podczas procesu drążenia upadowej spodziewano się wystąpienia metanu, stąd konstrukcja maszyny musiała dodatkowo spełniać normę przeciwwybuchową w standardzie ERZ-1. Kopalnia Grosvenor to pierwsza podziemna kopalnia węglowa na terenie Queensland wykorzystująca technologię drążenia kombajnami pełnoprzekrojowymi do udostępniania złóż; jest to obecnie największe tego typu przedsięwzięcie na świecie, będące w momencie pisania artykułu w swojej końcowej fazie.

Podczas drążenia upadowych jedynie trzysta metrów ich wybiegu wymagało pracy w trybie zamkniętej tarczy osłonowej typu EPB; pozostała część była drążona w trybie tarczy otwartej gripper, przeznaczonej do urabiania skał zwięzłych. Z tego powodu konstrukcja kombajnu (rys. 26.9) została zoptymalizowana pod kątem urabiania skał o dużej zwięzłości.

W trybie EPB maszyna wykorzystywała podwójny, centralny przenośnik ślimakowy, kontrolujący przepływ zawiesiny gruntowej. Jedna część przenośnika obracała się szybciej niż druga, co powodowało tworzenie się korka gruntowego wypychającego wodę z przenośnika ślimakowego. Głowica urabiająca maszyny przeznaczona do urabiania gruntów wyposażona była w wymienne noże skrawające oraz narzędzia dyskowe, a dodatkowo na powierzchni głowicy zamontowano płyty oporowe zabezpieczające przed nadmiernym zużyciem ściernym. Komora urabiania mogła być wypełniona wodą, pianą lub innymi płynami dla zachowania iskrobezpieczeństwa w razie pojawienia się metanu.

Zasadniczą funkcją wykorzystania trybu EPB było zapewnienie iskrobezpieczeństwa. W razie stwierdzenia jakiegokolwiek wycieku metanu uruchamiany był system ewakuacyjny i specjalny system wentylacyjny, zasysający metan z przenośnika ślimakowego wprost do kanałów przewietrzających, co zapobiegało jego nadmiernej koncentracji. Dzięki takiej konstrukcji drążenie z

wykorzystaniem kombajnu TBM typu Multi-mode pozwoliło zwiększyć bezpieczeństwo, poprawić jakość wykonanego tunelu oraz szybciej zakończyć projekt.



Rys. 26.9 Schemat i widok kombajnu pełnoprzekrojowego zamkniętego typ EPB firmy Robbins wykorzystanego do drażnienia upadowej w projekcie Grosvenor

Źródło: [10]

W celu konwersji kombajnu do trybu urabiania skał zwięzłych, wokół przenośnika ślimakowego został zainstalowany sterowany hydraulicznie zsyp uplastycznionego urobku. Urobek był ładowany przez specjalne nagarniaki z przestrzeni przed tarczą urabiającą. Wymienne noże przeznaczone do trybu EPB zostały zastąpione narzędziami dyskowymi, natomiast naroża skrawające z trybu EPB zostały zastąpione specjalnymi nagarniakami ładującymi urobione fragmenty skał. Maszyna została wyposażona w specjalny pierścień oporowy, reagujący na zmienny moment oporu głowicy urabiającej, co pozwala na bardziej efektywne urabianie przy założeniu określonego kierunku obrotu.

Ostatnią unikalną cechą projektu z wykorzystaniem ww. kombajnu jest specjalnie zaprojektowany układ szybkiego demontażu (Quick Removal System). Ze względu na australijskie warunki gruntowe, żadna część wyrobiska nie może pozostać niepodparta, a

równocześnie TBM draży tunel ślepy, konieczne było więc zapewnienie możliwości wycofania maszyny bez demontażu tarczy osłonowej – zostawała ona w wyrobisku pełniąc rolę obudowy. Konstrukcja kombajnu drażącego upadową w kopalni Grosvenor została tak zaprojektowana, aby umożliwić demontaż wnętrza maszyny i przetransportowania go na powierzchnię bez używania palników – w tym celu wykorzystano szereg połączeń sworzniowych. Po przetransportowaniu wyposażenia kombajnu na powierzchnię, został on uzbrojony ponownie w nową tarczę, po czym rozpoczął drążenie drugiej nitki upadowej.

Rozwiązanie firmy Robbins z pewnością stanowi przełom w technologii budowy wyrobisk nachylonych jasno pokazując, że wiele problemów występujących podczas drążenia metodami tradycyjnymi – takich jak zagrożenie gazowe czy konieczność zabezpieczenia przed wysokim ciśnieniem wody – może być z powodzeniem rozwiązana właśnie poprzez zastosowanie kombajnu pełoprzekrojowego osłonowego typu Multi-mode. Projekt Grosvenor jest również pionierski w kwestii wykorzystania kombajnów typu Multi-mode do pokonywania zróżnicowanej geologii warstw nadkładowych napotykanych podczas drążenia wyrobiska.

26.6 PODSUMOWANIE

Wyrobiska nachylone, zwane upadowymi potrafią zapewnić znacznie większe wydajności transportu i odstawy w stosunku do szybów pionowych. Idea udostępniania złóż przy wykorzystaniu upadowych nie jest nowa – tego typu rozwiązania znane są już od początków górnictwa, jednakże liczne trudności związane z drążeniem tego typu wyrobisk, szczególnie w odniesieniu do głęboko zalegających złóż, zadecydowały o małej popularności tego typu rozwiązań w ostatnim pięćdziesięcioleciu.

Wraz z pojawieniem się nowoczesnych technik budowy tuneli opartych o kombajny pełoprzekrojowe, wiele z dotychczasowych trudności związanych z drążeniem upadowych uległo znacznemu uproszczeniu. W referacie przedstawiono wybrane z nich, tj. niejednorodność gruntów, problemy z pokonywaniem warstw zaburzonych, ograniczenia związane z ciśnieniem wody oraz techniczne problemy drążenia wyrobisk nachylonych. Przedstawiono również największą światową inwestycję związaną z udostępnianiem złóż przy wykorzystaniu upadowych – kopalnię Grosvenor w Australii.

W obliczu rozwoju techniki i dostępności na rynku używanych kombajnów pełoprzekrojowych, jak również rosnącej konkurencji producentów tych maszyn, nakłady inwestycyjne niezbędne do poniesienia podczas drążenia upadowych będą w najbliższym czasie ulegać stopniowemu ograniczeniu. Już teraz koszty obudowy upadowej, wykonywanej zarówno przy drążeniu metodami tradycyjnymi jak i maszynami pełoprzekrojowymi, znacznie przewyższają koszt samej maszyny. Analizując tę perspektywę ekonomiczną, jak również biorąc pod uwagę niewątpliwe zalety kombajnów typu TBM można zaryzykować stwierdzenie, że przedstawiona technologia będzie w najbliższej przyszłości podstawową metodą udostępniania złóż przy pomocy wyrobisk nachylonych.

LITERATURA

1. Alan Muir Wood, Tunelling: Management and Design, Taylor & Francis, 2002
2. N. Barton, E. Grimstad, G. Aas, O.A. Opsahl, A. Bakken, L. Pedersen, E.D. Johansen, Norwegian Method of Tunnelling. Word Tunnelling and Subsurface Excavation. June-August 1992.
3. P. Czaja, P. Kamiński, Możliwości udostępnienia złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej za pomocą upadowej. Cuprum: Czasopismo Naukowo Techniczne Górnictwa Rud nr 3/2015, s. 19-35.
4. M. Jakubowski, Porównanie wybranych aspektów techniczno-ekonomicznych udostępnienia złoża szybem pionowym oraz upadową, Cuprum: Czasopismo Naukowo Techniczne Górnictwa Rud, nr 4/2014, str. 73-92.
5. P. Kulinowski, Simulation studies as the part of an integrated design process dealing with belt conveyor operations. Maintenance and Reliability 2013, vol. 15 nr.1 s. 83-88
6. A. Lutyński, A. Kozubek, Eksploatacja przenośnika wznoszącego upadowej odstawczo-transportowej w KWK "Marcel", Maszyny Górnicze nr 2/2010, str. 13-18.
7. Materiały reklamowe firmy Robbins.
8. Materiały reklamowe firmy Herrenknecht.
9. L. Müller, Removing misconceptions on the New Austrian Tunnelling Method. Tunnels & Tunnelling. October 1978. str. 29-32.
10. G. Ramage, C. Donnely, M. Donghi, "Alternative excavation methods in underground coal mining". University of Wollongong, 2014 Coal Operators' Conference,
11. P. Stevens, NATM: tunnelling into the future. Colliery Guardian. March 1992. str. 64-69.
12. W. Szymiczek, J. Kowalczyk, A. Siedlaczek, A. Kuziak, KWK "Marcel" wczoraj i dziś – upadowa odstawczo-transportowa z poziomu 400 m na powierzchnię, Zeszyty naukowe. Górnictwo/Politechnika Śląska, z. 286/2008, str. 155-169

Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2016
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2016

dr hab. inż. Krzysztof Kotwica, mgr inż. Paweł Mendyka
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska
e-mail: kotwica@agh.edu.pl, mendyka@agh.edu.pl

UDOSTĘPNIANIE ZŁÓŻ KOPALIN UŻYTECZNYCH Z WYKORZYSTANIEM KOMBAJNÓW PEŁNOPRZEKROJOWYCH TBM

Streszczenie: W artykule przedstawiono możliwości oraz problemy związane z udostępnieniem złóż kopalin użytecznych upadowymi drążonymi z wykorzystaniem kombajnów pełnoprzekrojowych typu rozporowego jak również osłonowego, zamkniętego oraz kombajnów typu Multi-mode.

Słowa kluczowe: udostępnianie złóż, kombajny TBM, tarcze EPB, tarcze zawieszinowe, TBM typu Multi-mode

ACCESSING ORE DEPOSITS USING TBM MACHINES

Abstract: The article presents the possibilities and problems connected with accessing mineral deposits with decline shafts using gripper type full diameter TBM Machines as well as closed shields and Multi-mode ones.

Key words: ore deposits accessing, TBM machines, EPB shields, slurry shields, Multi-mode TBM