

Wpływ utworów trudno urabialnych na dobór pomocniczych technologii urabiania

Impact of hard-to-mine rocks on the selection of auxiliary mining technology



Dr inż. Łukasz Machniak*)



Prof. dr hab. inż. Wiesław Koziol*)



Mgr inż. Adrian Borcz*)

Treść: W artykule na podstawie przykładowych wskaźników oceny pracy koparek wielonaczyniowych przeanalizowano wpływ udziału utworów trudno urabialnych na wyniki różnych rozwiązań w technologii ich urabiania w odkrywkowych kopalniach węgla brunatnego. Przeanalizowano możliwość bezpośredniego urabiania koparkami wielonaczyniowymi, urabiania po wstępnym rozluźnieniu oraz pracy kombinowanej, w sposób szeregowy oraz równoległy, z wykorzystaniem koparek wielonaczyniowych oraz alternatywnych sposobów urabiania mechanicznego.

Abstract: This paper presents the impact of hard-to-mine formations on the results of different solutions in the technology of mining in opencast lignite mines, basing on the example of the performance indicators of bucket wheel excavators. The paper describes the possibilities of direct mining with a bucket wheel excavator, mining after the initial loosening and combined work, by serial or parallel manner with the use of bucket wheel excavators and alternative methods of mechanical mining.

Słowa kluczowe:

górnictwo odkrywkowe, utwory trudno urabialne, technologie mechanicznego urabiania

Key words:

opencast mining, hard to-mine rocks, mechanical mining technologies

1. Wprowadzenie

Dobór efektywnego rozwiązania technicznego w procesie urabiania jest jednym z ważniejszych problemów decyzyjnych na etapie projektowania, jak również w fazie eksploatacji złóż węgla brunatnego. Największe trudności występują przy dużym zróżnicowaniu litologicznym nadkładu, zwłaszcza przy występowaniu różnego rodzaju skał zwięzłych. Pomimo bardzo małych ich ilości w objętości nadkładu, obserwuje się znaczne obniżenie wskaźników eksploatacyjnych koparek, a to prowadzi do zmniejszenia zdolności wydobywczej całej kopalni [1]. Przy niekorzystnym splocie okoliczności (np. kumulacja występowania skał zwięzłych, brak wcześniejszego rozpoznania ich występowania, małe wyprzedzenia pomiędzy poziomami) może to mieć poważny wpływ na realizację planowanych zadań wydobywczych zarówno w nadkładzie, jak i węgłu.

Na podstawie analizy warunków geologiczno-górnictwowych w wybranych kopalniach węgla brunatnego określić można podstawowe czynniki, które w sposób znaczący oddziałują na technologię ich urabiania. Zaliczyć należy do nich między innymi:

- wartość udziału (ilość) utworów trudno urabialnych w eksploatowanej masie,
- uzyskiwane wskaźniki eksploatacyjne technologii podstawowej,
- sposób zalegania utworów trudno urabialnych w strukturze wyrobiska odkrywkowego oraz pięter eksploatacyjnych,
- ograniczenia wykorzystania techniki strzelniczej.

W artykule skupiono się głównie nad analizą wpływu ilości utworów trudno urabialnych w eksploatowanej masie nadkładu. W określonych warunkach występowania skał zwięzłych (ilości i formy zalegania) jest możliwe lub nawet niezbędne wykorzystanie alternatywnych technologii urabiania znanych z górnictwa odkrywkowego surowców skalnych. Praca alternatywnych technologii w stosunku do standardowych koparek wielonaczyniowych może odbywać się na zasadzie wstępnego urabiania rozluźniającego, jak również urabiania

*) AGH w Krakowie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

pomocniczego, z całkowitym wyeliminowaniem z procesu koparek wielonaczyniowych.

2. Ocena wpływu wartości udziału skał zwięzłych w urabianej masie na technologię ich eksploatacji

Wpływ ilości (objętości) utworów trudno urabialnych można oceniać na trzech poziomach: zabierek, pięter eksploatacyjnych, wyrobiska eksploatacyjnego. Na każdym poziomie oceny ustalić można syntetyczny wskaźnik – V_{TR} , wyrażający wartość udziału skał zwięzłych w całkowitej kubaturze (zabierki, piętra eksploatacyjnego, wyrobiska). Bezpośredni wpływ na możliwość zastosowania różnych technologii alternatywnego urabiania, względem koparek wielonaczyniowych, mają jednak uwarunkowania występujące w zabierce. Jest to podstawowa geometryczna jednostka wydobywcza w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego, w których do urabiania wykorzystywane są koparki wielonaczyniowe. Wykonana analiza warunków w poszczególnych zabierkach wymaga przeniesienia na piętro eksploatacyjne, a następnie na całe wyrobisko odkrywkowe. Analiza w piętrze eksploatacyjnym pokazuje zmienność warunków oraz rozprzestrzenienie zalegania skał zwięzłych w czasie. Ocena globalna w strukturze wyrobiska odkrywkowego jest zbiorczym zestawieniem informacji z każdego piętra wydobywczego. Stanowi podstawę do logistycznego harmonogramowania i przemieszczania alternatywnych technologii pomiędzy piętrami eksploatacyjnymi, a więc jest punktem do określenia technicznego wyposażenia układu wydobywania skał zwięzłych dla całego złoża.

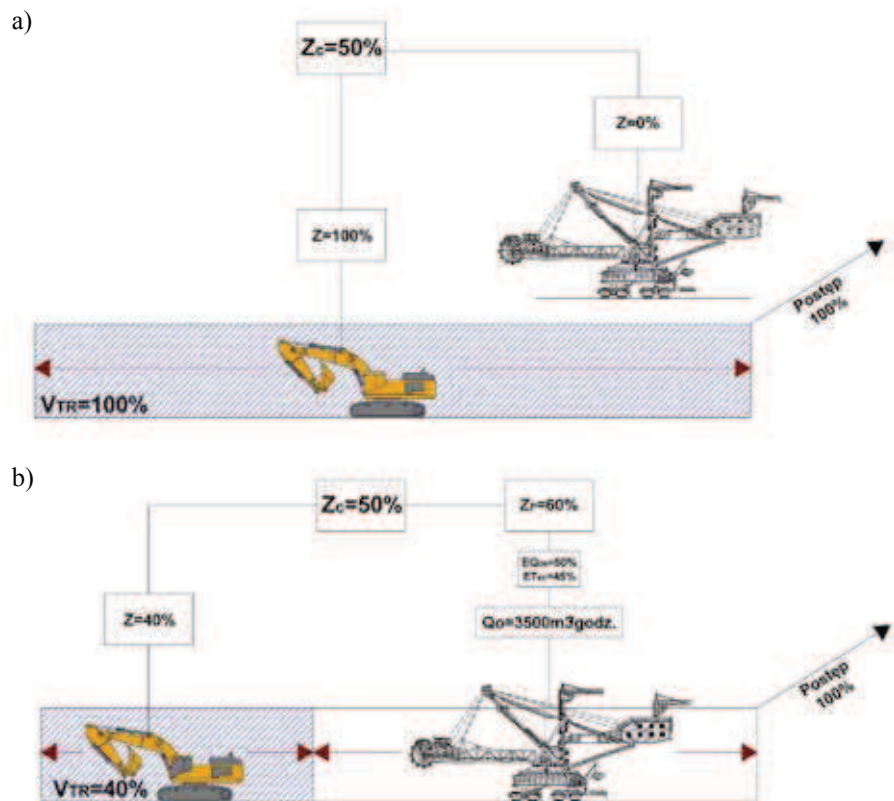
Alternatywne technologie mechanicznego urabiania charakteryzują się znacznie mniejszą wydajnością w stosunku do wydajności koparek wielonaczyniowych, pracujących w warunkach porównywalnej urabialności z jednostkową liniową (powierzchniową) siłą kopania koparki. Uzyskanie

porównywalnej zdolności wydobywczej jest możliwe, ale wymaga znacznego zaangażowania środków technicznych (odpowiedniej liczby maszyn). Jest to często wykorzystywany argument przeciwko wprowadzaniu rozwiązań alternatywnego urabiania. Tymczasem w warunkach występowania znacznie mniejszej objętości skał zwięzłych, w stosunku do pozostałych mas nadkładowych oraz dzięki odpowiedniemu prowadzeniu frontów wydobywczych w stosunku do przestrzennych form zalegania, możliwa jest praca układów alternatywnych ze znacznie mniejszą wydajnością. Dla zachowania przyjętego stałego postępu eksploatacji zdolność wydobywcza układu alternatywnego powinna być porównywalna do zdolności wydobywczej koparki wielonaczyniowej dla dwóch przypadków:

1. Gdy wartość wskaźnika $V_{TR} = 100\%$ (rys. 1a).
2. Niezależnie od wartości wskaźnika V_{TR} , przy szeregowej pracy układu podstawowego i alternatywnego (rys. 1b).

Jako przykład do porównania różnych rozwiązań w technologii urabiania przyjęto następujące wskaźniki eksploatacyjne koparki wielonaczyniowej:

- wydajność teoretyczna $Q_0 = 3500 \text{ m}^3/\text{godz.}$,
- wskaźnik wykorzystania wydajności teoretycznej w warunkach standardowych $EQ_{OS} = 50\%$, wskaźnik wykorzystania czasu kalendarzowego w warunkach standardowych $ET_{KS} = 45\%$,
- wskaźnik wykorzystania wydajności teoretycznej dla skał zwięzłych przy bezpośrednim urabianiu $EQ_{OTR} = 10\%$, wskaźnik wykorzystania czasu kalendarzowego dla skał zwięzłych przy bezpośrednim urabianiu $ET_{KTR} = 35\%$ (rys. 2 A),
- wskaźnik wykorzystania wydajności teoretycznej przy urabianiu wstępnie rozluźnianych skał zwięzłych $EQ_{OTR} = 35\%$, wskaźnik wykorzystania czasu kalendarzowego przy urabianiu wstępnie rozluźnianych skał zwięzłych $ET_{KTR} = 35\%$ (rys. 2 b),



Rys. 1. Rozwiązania w technologii urabiania skał zwięzłych a) przy 100 % wartości udziału skał zwięzłych w eksploataowanej objętości, b) przy częściowym udziale skał zwięzłych w eksploataowanej objętości i szeregowej pracy układu podstawowego i alternatywnego [4]

Fig. 1. Solutions in the technology of solid rock mining a) at 100 % of hard rocks in the exploited volume, b) at partial participation of hard rocks in the exploited volume and serial work of the primary and alternate systems [4]

Dla pierwszego przypadku (rys. 1a), w którym w zabierce zidentyfikowano 100 % udział skał zwięzłych, układ alternatywny (Z) wykorzystywany jest w 100 %. Z kolei koparka wielonacyniowa nie wykonuje żadnych zadań w procesie urabiania, stąd jej wykorzystanie (Z_p) jest równe zero, a więc wykorzystanie całkowitej (łącznie) zdolności wydobywczej (Z_c) zainstalowanej na poziomie roboczym wynosi 50 %. W drugim przypadku (rys. 1b), w którym utwory trudno urabialne stanowią część objętości zabierki (przykładowo 40 %), wykorzystanie łącznej zdolności (Z) jest podobne, przy czym poziom wykorzystania zdolności dla poszczególnych technologii zróżnicowany jest wartością udziału utworów trudno urabialnych. W obu wariantach, poprzez podwojenie zdolności wydobywczej zachowany jest projektowany postęp piętrowy.

W zależności od sposobu oceny, różnie można interpretować te rozwiązania. Ocenie poddana może być wartość wskaźnika wykorzystania zaangażowanego potencjału produkcyjnego (podstawowego i alternatywnego), wskaźnik wykorzystania samego układu podstawowego lub przyjęty cel nadrzędny, np. zapewnienie projektowanego postępu frontów.

Dla porównania na rysunkach 2 oraz 3 przedstawiono przykłady eksploatacji skał zwięzłych, bez wprowadzania układu alternatywnego (dla wcześniej przyjętych wskaźników koparki wielonacyniowej).

W przypadku bezpośredniego urabiania górotworu skalnego uzyskiwana zdolność wydobywcza oraz postęp frontu wynosi 16 % wartości dla warunków standardowych. Z kolei

dla przyjętych wskaźników charakteryzujących pracę koparki we wstępnie rozluźnianym górotworze, uzyskiwana zdolność wydobywcza wynosi 54 % zdolności standardowej. Porównując do analogicznego przykładu z układem alternatywnym (rys. 1 a), wykorzystanie zdolności jest nieznacznie większe, przy zdecydowanie mniejszym postępie.

Przy mniejszym udziale utworów trudno urabialnych, wykorzystanie zdolności układu podstawowego jest znacznie większe (rys. 3).

Końcowa zdolność wydobywcza koparki wielonacyniowej pracującej, w piętrze mieszanym, uzależniona jest od czasu eksploatacji skał zwięzłych i czasu pracy w warunkach standardowych, jak również osiągniętych wyników eksploatacyjnych, wyrażonych wskaźnikiem wykorzystania wydajności teoretycznej (EQ_0) oraz wykorzystania czasu kalendarzowego (ET_k) w warunkach standardowych oraz w skałach zwięzłych, co przedstawiają wzory (1 oraz 2).

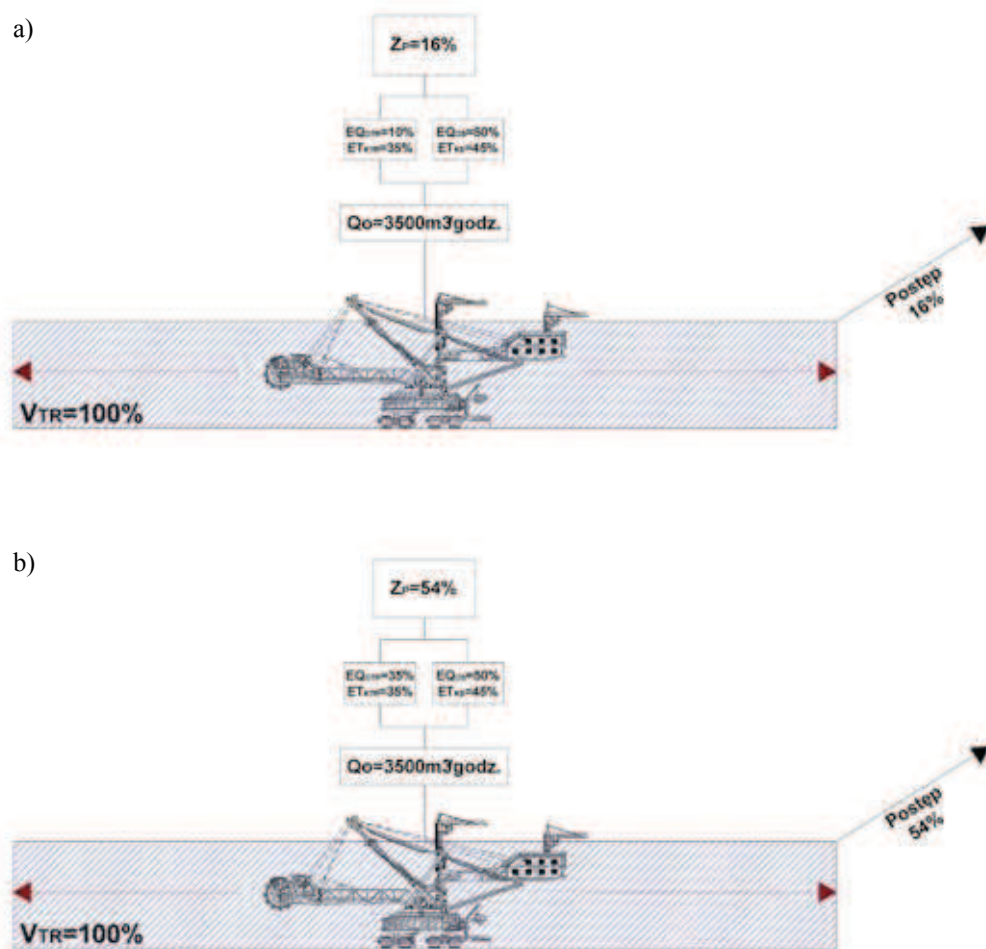
$$Z_p = \frac{[EQ_{OTR} \cdot ET_{KTR} \cdot T_{TR} + EQ_{OS} \cdot ET_{KS} \cdot T_S] \cdot Q_0 \cdot T_K \cdot 8760}{T_{TR} + T_S} \frac{m^3}{rok} \quad (1)$$

lub

$$Z_p = \frac{[Z_{TR} \cdot T_{TR} + Z_S \cdot T_S]}{T_{TR} + T_S} \frac{m^3}{rok} \quad (2)$$

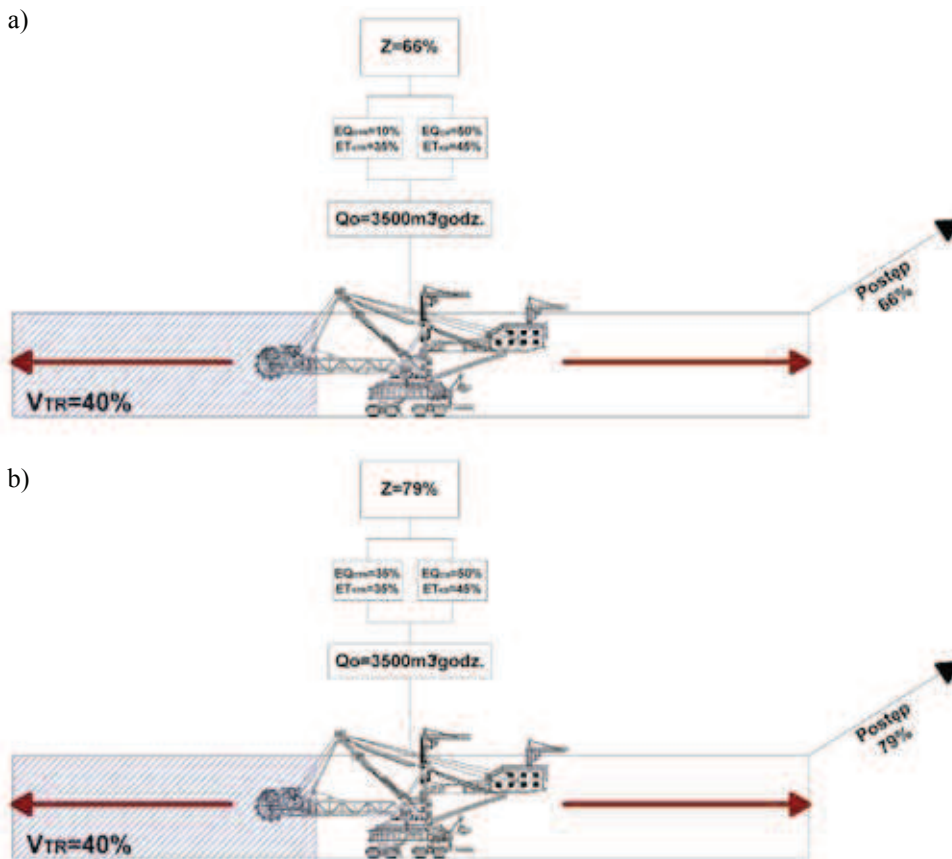
gdzie:

- Z_p – końcowa zdolność wydobywcza, m^3/rok ,
- Q_0 – wydajność teoretyczna koparki, $m^3/godz.$,
- T_k – czas kalendarzowy, $godz.$,



Rys. 2. Eksploatacja zabierki w utworach trudno urabialnych a) urabianie bezpośrednie, b) urabianie wstępnie rozluźnianego górotworu [4]

Fig. 2. Exploitation of shortwall in hard-to-mine formations a) direct mining, b) excavation of the initially loosened rock mass [4]



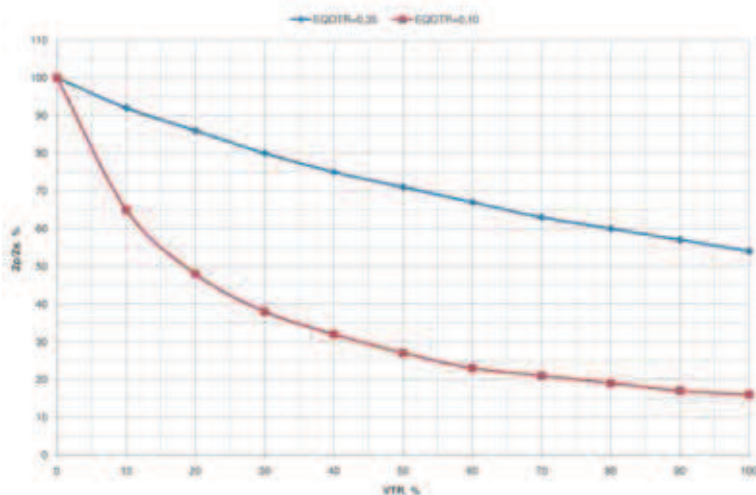
Rys. 3. Eksploatacja zabierki z ograniczoną objętością utworów trudno urabialnych a) urabianie bezpośrednie, b) urabianie wstępnie rozluźnianego górotworu [4]
 Fig. 3. Exploitation of shortwall with limited volume of hard-to-mine formations a) direct mining, b) mining of initially loosened rock mass [4]

- EQ_{OTR} – wskaźnik wykorzystania wydajności teoretycznej w utworach trudno urabialnych,
- ET_{KTR} – wskaźnik wykorzystania czasu kalendarzowego w utworach trudno urabialnych,
- T_{TR} – czas eksploatacji objętość utworów trudno urabialnych, m³,
- EQ_{OS} – wskaźnik wykorzystania wydajności teoretycznej w warunkach standardowych,
- ET_{KS} – wskaźnik wykorzystania czasu kalendarzowego w warunkach standardowych,
- T_S – czas eksploatacji objętość o standardowej urabialności, m³,

- Z_{TR} – zdolność wydobywczą w utworach trudno urabialnych, m³/rok.,
- Z_S – zdolność wydobywczą koparki w warunkach standardowych, m³/rok.

Obniżenie zdolności wydobywczej (dla koparki i wskaźników jak na rysunkach 1 i 2) w zależności od udziału utworów trudno urabialnych, przedstawiono na rysunku 4.

Minimalne wykorzystanie standardowej zdolności wydobywczej występuje przy 100 % udziale utworów trudno urabialnych w przyjętej objętości, które wynosi 16 % dla $EQ_{OTR} = 0,10$ (urabianie bezpośrednie). Dla takiej technologii



Rys. 4. Wykorzystanie zdolności wydobywczej przy różnej wartości udziału kubatury utworów trudno urabialnych w eksploatowanej masie [4]
 Fig. 4. Use of production capacity with different share of hard-to-mine formations volume in the exploited mass [4]

urabiania skał zwięzłych obniżenie wypadkowej zdolności wydobywczej o 50 % następuje już przy niespełnieniu 20 % wartości udziału utworów trudno urabialnych. Następnie, wraz ze wzrostem udziału utworów trudno urabialnych, dynamika obniżenia zdolności maleje. Przy znaczących spadkach zdolności wydobywczej zachodzi zazwyczaj konieczność wprowadzania rozwiązań pomocniczych w urabiania. Jedną z możliwości jest wprowadzenie urabiania rozluźniającego na frontach koparek podstawowych. Na rysunkach 2 oraz 3 widać, że takie rozwiązanie wpływa na znacznie mniejsze obniżenie wypadkowej zdolności wydobywczej. Minimalne wykorzystanie standardowej zdolności wynosi 54 %, a jej obniżenie przy 20 % udziale skał zwięzłych wynosi 15 %. Przy niekorzystnym splocie okoliczności (np. kumulacja występowania skał zwięzłych, brak wcześniejszego rozpoznania ich występowania, małe wyprzedzenia pomiędzy poziomami) wstępne rozluźnianie może nie być wystarczające, co poważnie może wpłynąć na realizację planowanych zadań wydobywczych zarówno w nadkładzie, jak i węgłu. W sytuacjach takich wprowadza się alternatywne technologie urabiania.

W warunkach możliwej organizacji pracy równoległej na dwóch niezależnych frontach roboczych, zdolność wydobywcza w utworach trudno urabialnych może mieć wartość mniejszą od zdolności wydobywczej wielonaczyniowej koparki kołowej. Obniżenie to jest proporcjonalne do udziału objętości utworów trudno urabialnych w eksploatowanej zabierce, co wyraża wzór

$$Z_{TR} = Z_S \cdot V_{TR}, \quad \frac{m^3}{rok} \quad (3)$$

gdzie:

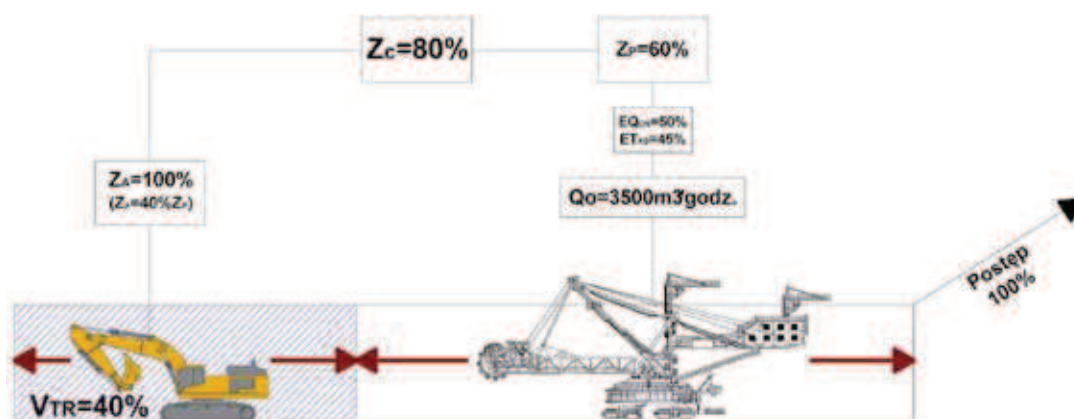
Z_{TR} – zdolność wydobywcza w utworach trudno urabialnych, %

Z_S – zdolność wydobywcza koparki, m^3/rok

V_{TR} – wskaźnik udziału utworów trudno urabialnych w zabierce, %

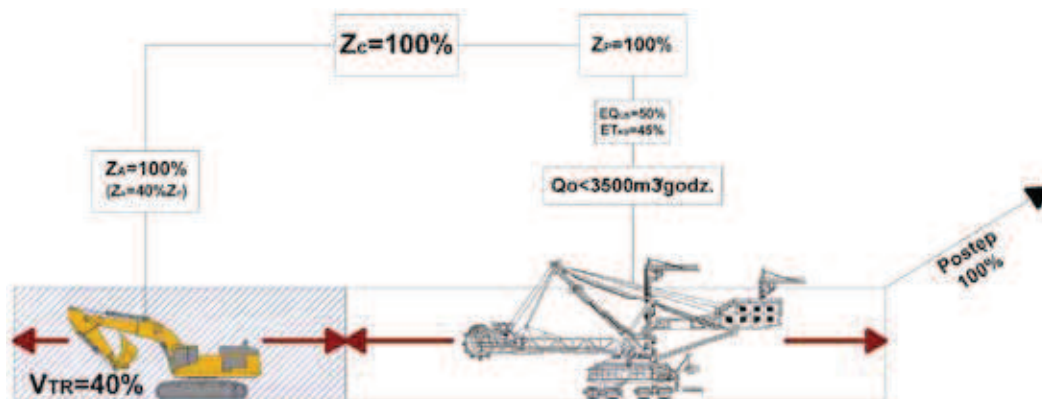
Przy niedużym udziale utworów trudno urabialnych w przekroju zabierki, zdolność wydobywcza układu alternatywnego może być zatem znacznie ograniczona. Istotnie zwiększa to możliwości zastosowania technologii o znacznie niższej wydajności urabiania, bez konieczności angażowania dużej liczby wyposażenia technicznego. Ze względu na mniejszą kubaturę przypadającą na koparkę wielonaczyniową, jej zdolność zostaje ograniczona o wartość udziału utworów trudno urabialnych (rys. 5). Przy niezależności obu frontów możliwa jest praca koparki wielonaczyniowej ze standardową zdolnością co wymaga jej skierowania na front rezerwowy. Wydzielenie takiego frontu uzależnione jest od wielu uwarunkowań technologicznych i organizacyjnych.

Wydzielenie frontu alternatywnego w przypadku zidentyfikowania utworów trudno urabialnych jest ułatwione w przypadku zgodnej identyfikacji ilości oraz jakości utworów trudno urabialnych na etapie rozpoznania złoża. Pozwala to na wyprzedzające działania związane z organizacją frontu alternatywnego dla koparki wielonaczyniowej (rys. 6).



Rys. 5. Praca równoległa układu podstawowego i alternatywnego w zabierce o ograniczonej objętości utworów trudno urabialnych [4]

Fig. 5. Simultaneous work of the primary and alternate system in shortwall with limited volume of hard-to-mine formations [4]



Rys. 6. Praca równoległa układu podstawowego i alternatywnego w zabierce o ograniczonej objętości utworów trudno urabialnych rozpoznanych na etapie dokumentowania złoża [4]

Fig. 6. Simultaneous work of the primary and alternate system in shortwall with limited volume of hard-to-mine formations in the documenting stage of a deposit [4]

Przedstawiony na rysunku 6 układ jest pod względem technicznego wykorzystania najkorzystniejszy, gdyż w pełni wykorzystuje zdolności wydobywcze obu rozwiązań w urabianiu.

Identyfikując problemy eksploatacyjne związane z wydobyciem utworów trudno urabialnych podkreślono, że w większości kopalń rozpoznanie ich ilości jest mniejsze od identyfikowanej podczas eksploatacji. W warunkach bieżącej eksploatacji praca z maksymalnym wykorzystaniem zdolności wydobywczych obu technologii jest trudna do osiągnięcia. Uzależnione jest to głównie od różnicy kubatury uwzględnionej przy projektowaniu eksploatacji oraz rzeczywistych zidentyfikowanych w trakcie eksploatacji złoża.

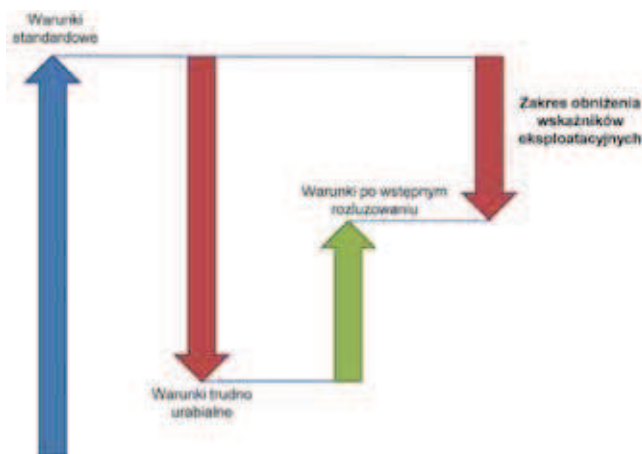
3. Podsumowanie

Efektywność technologii eksploatacji utworów trudno urabialnych z wykorzystaniem koparek wielonaczyniowych, uzależniona jest przede wszystkim od następujących czynników:

- wartości udziału (liczby) utworów trudno urabialnych,
- dokładności rozpoznania ilości i warunków zalegania utworów trudno urabialnych,
- stopnia dostosowania charakterystyki technicznej koparek wielonaczyniowych do występujących oporów urabiania.

Niskie wskaźniki efektywności technologii podstawowej wynikają zarówno z ograniczeń występujących w eksploatowanym pięttrze, ale również na skutek ich wpływu na warunki pracy na poziomach zlokalizowanych niżej. Przy dużych ilościach utworów trudno urabialnych, przy jednocześnie dużych wartościach udziału w zabierkach, dochodzi do bardzo szybkiego ograniczenia zdolności wydobywczych koparek i postępów w pięttrach niżej położonych. Powoduje to zwiększenie presji technologicznej zmierzającej do poszukiwania alternatywnego rozwiązania w urabianiu skał zwięzłych. Powszechnym rozwiązaniem jest wprowadzenie urabiania rozluźniającego MW, co poprawia wyniki eksploatacyjne koparek podstawowych, ale w stosunku do warunków standardowych cały czas są znacznie mniej korzystniejsze (rys. 7). Powoduje to, że zwiększa się zakres wykorzystania koparek standardowych, wyrażony większą dopuszczalną wartością udziału skał zwięzłych w eksploatowanej masie w porównaniu do urabiania bezpośredniego (rys. 3).

Jednak przy pewnej krytycznej wartości udziału skał zwięzłych, gdy dochodzi do nadmiernego ograniczenia zdolności wydobywczej technologii podstawowej, konieczne jest zwiększenie teoretycznego potencjału urabiania poprzez wprowadzenie alternatywnego urabiania pomocniczego na szeregowych bądź równoległych (niezależnych) frontach roboczych. Wprowadzenie takiej technologii oraz współpraca z koparkami wielonaczyniowymi są znacznie łatwiejsze



Rys. 7. Mechanizm poprawy wskaźników eksploatacyjnych poprzez zastosowanie urabiania rozluźniającego [3]

Fig. 7. Mechanism of improvement of performance indicators by the use of initial loosening [3]

oraz efektywniejsze podczas gdy istnieje możliwość takiego wydzielania frontów, które będzie minimalizowało udział utworów trudno urabialnych w przekroju zabierek, a jednocześnie sprzyjało niezależnej (równoległej) pracy.

Literatura

1. *Kozioł W., Kaczmarewski T.*: Problemy technologiczno-eksploatacyjne wydobycia skał trudno urabialnych w polskich kopalniach węgla brunatnego, *Górnictwo Odkrywkowe*, Nr 5-6, 1990
2. *Kozioł W. Machniak Ł.*: Problemy klasyfikacji i wydobycia trudno urabialnych skał i gruntów w kopalniach węgla brunatnego, *Górnictwo i Geoinżynieria*, Rok 34, Zeszyt 4, Kraków, 2010
3. *Kozioł W. Machniak Ł.*: Klasyfikacje urabialności jako narzędzie do wstępnego doboru techniki urabiania skał w kopalniach węgla brunatnego, *Węgiel brunatny – szanse i zagrożenia monografia pod red. Mariusza Sierpnia*, Agencja Wydawniczo-Poligraficzna ART-TEKST, Kraków, 2014
4. *Machniak Ł.*: Metoda doboru technologii wydobycia utworów trudno urabialnych w kopalniach węgla brunatnego. Rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2013
5. *Kavouridis K., Roumpos C., Galetakis M., Pavloudakis F.*: Methods and technological -improvements for the efficient removal of the overburden hard rock formations at South Field lignite mine, Ptolemais, Greece. *ISCSM Romania*; 2008
6. *Strunk S.*: Optimising the production of problematic overburden in hambach opencast mine, 21st World Mining Congress, Kraków, 2008