



Krzysztof GALOS*, Katarzyna GUZIK**

Eksploracja podziemna kamieni blocznych – podstawowe aspekty geologiczne i górnicze

Streszczenie: Podziemna eksploatacja kamieni blocznych jest rozpowszechniona w wielu krajach europejskich, a także w Ameryce Północnej. Jej popularność będzie jednak niewątpliwie rosła, przede wszystkim w związku z uwarunkowaniami środowiskowymi i kwestią dostępności terenu. Metoda ta zapewnia często długoletnią działalność górnictwa, umożliwiając eksploatację tylko wybranych partii masywu skalnego, bez konieczności usuwania nadmiernego nadkładu, przy zredukowanym do minimum wpływie na powierzchnię terenu oraz niższych kosztach rekultywacji w porównaniu do eksploatacji odkrywkowej. Eksploatacja podziemna w chwili obecnej dotyczy niemal wyłącznie skał osadowych (głównie wapienie) oraz niektórych metamorficznych (np. marmury). Najbardziej znane przykłady podziemnej eksploatacji kamieni budowlanych występują we Włoszech, a także w Wielkiej Brytanii, Portugalii i kilku innych krajach Europy południowej.

Najczęstszą przyczyną uruchamiania eksploatacji podziemnej skał blocznych jest występowanie zapotrzebowania na materiały kamienne, których wydobycie metodą odkrywkową jest utrudnione bądź niemożliwe. Istotnym aspektem eksploatacji podziemnej musi być gwarantowana długoterminowa stabilność geomechaniczna pustek poeksploatacyjnych. Warunki geostukturalne (tektonika, litologia) determinują zarówno plan wyrobisk podziemnych, jak też metody pozyskiwania bloków w przodkach eksploatacyjnych. Najczęstszym stosowanym systemem eksploatacji podziemnej jest system komorowo-filarowy. Istotna jest także możliwość prowadzenia eksploatacji wybranych części złóż, charakteryzujących się najkorzystniejszymi parametrami jakościowymi. Za podjęciem podziemnej eksploatacji przemawia również stwierdzany wielokrotnie wzrost możliwości pozyskania bloków w głębiej położonych partiach złóż. Powoduje to, że uzysk bloków w kopalniach podziemnych jest rzadko mniejszy niż 60%.

W Polsce podziemna eksploatacja krajowych skał blocznych nie była dotychczas prowadzona. Najbardziej interesujące perspektywy rozwoju eksploatacji metodą podziemną mogą dotyczyć m.in. marmurów, serpentynitów i sjenitów na Dolnym Śląsku oraz wapieni (marmurów technicznych) w rejonie Krakowa i Kielc.

Słowa kluczowe: eksploatacja podziemna, kamienie bloczne, wapienie, marmury, systemy eksploatacji

* Dr hab. inż., ** Mgr inż., Pracownia Polityki Surowcowej, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: kgalos@min-pan.krakow.pl, guzik@min-pan.krakow.pl

Underground extraction of dimension stone – basic geological and mining aspects

Abstract: Underground extraction of dimension stone is widespread in many European countries and in North America. Its popularity will undoubtedly grow, mainly due to environmental considerations and the accessibility of deposits for extraction. This method commonly results in long-term mining operations, allowing for the extraction of only selected parts of the rock mass without the necessity of overburden removal, reduced impact on the surface environment, and lower costs of reclamation as compared to open pit mining. Currently, underground mining is almost entirely associated with sedimentary rocks (mainly limestone) and some metamorphic rocks (e.g. marble). The best-known examples of underground exploitation of building stones are found in Italy, the UK, Portugal, and several other countries in southern Europe.

The most common reason for initiating underground dimension stone mining is demand for certain stone materials which cannot be obtained from opencast mining. An important aspect of such operations is guaranteed long-term geomechanical stability of post-mining voids. Geostructural conditions (tectonics, lithology) determine both the plan of underground workings, as well as the method of blocks at the mining faces. The room-and-pillar system is the most common operating system of extraction. It is important to have the opportunity for selective mining of the parts of a deposit showing the best quality parameters, which allows for higher yield of the blocks (rarely less than 60%).

In Poland, the underground extraction of dimension stone has not yet been conducted. The most interesting prospects for the development of an underground operation method may include – among other materials – marble, serpentinite, and syenite in Lower Silesia and limestone (technical marble) in the area of Cracow and Kielce.

Key words: underground extraction, dimension stone, limestone, marble, mining systems

Wprowadzenie

Podziemna eksploatacja kamieni budowlanych prowadzona była już około 3000 lat temu w niektórych kamieniołomach egipskich, a około 2500 lat temu w greckim Paros (marmury). Obecnie jest ona rozpowszechniona w wielu krajach europejskich, w mniejszym zakresie również w Ameryce Północnej. Jej popularność będzie jednak niewątpliwie rosła, przede wszystkim w związku z uwarunkowaniami środowiskowymi i kwestią dostępności terenu. Metoda ta zapewnia często długoletnią działalność górniczą, umożliwiając eksploatację tylko wybranych partii masywu skalnego, bez konieczności usuwania nadmiernego nadkładu, przy zredukowanym do minimum wpływie na powierzchnię terenu. Czynnikiem przyczyniającym się do rozwoju eksploatacji podziemnej są też m.in. potrzeba ochrony krajobrazu, niższe koszty rekultywacji w porównaniu do eksploatacji odkrywkowej, a w terenach górskich także kwestia stabilności stoków (Del Greco i in. 1999; Kortnik 2009).

Eksploatacja podziemna w chwili obecnej dotyczy niemal wyłącznie skał osadowych oraz niektórych metamorficznych, podczas gdy podziemna eksploatacja skał magmowych oraz twardych skał metamorficznych z reguły nie była do tej pory rozważana. Wynikało to zarówno z braku odpowiedniej, uzasadnionej ekonomicznie technologii urabiania tych skał metodami mechanicznymi (jednym z możliwych rozwiązań jest użycie wysokociśnieniowej strugi wody w połączeniu z diamentową piłą linową), jak też z faktu większej dostępności bloków z takich skał w kopalniach odkrywkowych w licznych krajach świata. Z powyższych przyczyn podziemna eksploatacja została zaadaptowana do tej pory wyłącznie dla skał „miękkich”, takich jak m.in. marmury, wapienie i łupki, podczas gdy dla twardszych skał niezbędne jest dopracowanie ekonomicznie uzasadnionej technologii eksploatacji (Smith 1999). Eksperymentalne prace w tym kierunku prowadzone są m.in. w kopalni granitu

w Japonii, niebieskiego kwarcytu w Brazylii i zielonego kwarcytu we Włoszech, z zastosowaniem głównie liny diamentowej, ewentualnie wysokociśnieniowego strumienia wodnego.

1. Podstawowe uwarunkowania i czynniki wpływające na rozwój podziemnej eksploatacji kamieni budowlanych

Eksploatacja podziemna kamieni budowlanych jest metodą na ogół bardziej kosztowną od eksploatacji odkrywkowej. Znaczne nakłady finansowe ponoszone są w szczególności w początkowej fazie zagospodarowywania złoża w związku z koniecznością drażenia podziemnych korytarzy udostępniających. Po tym etapie koszty eksploatacji ulegają z reguły skokowemu obniżeniu. Jeżeli ogólne warunki geotechniczne masywu skalnego są korzystne, podziemna eksploatacja wybranych partii złóż, o najkorzystniejszych parametrach jakościowych, pozwala na wyższy przeciętny uzysk bloków (w stosunku do łącznej wielkości wydobywania) niż w przypadku eksploatacji odkrywkowej (Oggeri 2000). Należy podkreślić, że w głębiej położonych częściach złóż wielokrotnie stwierdzany jest wzrost możliwości pozyskania bloków.

Najczęstszą przyczyną uruchamiania eksploatacji podziemnej skał blocznych jest występowanie zapotrzebowania na materiały kamienne, których wydobywanie metodą odkrywkową jest utrudnione bądź niemożliwe. Do czynników ograniczających, a nawet wykluczających możliwość prowadzenia eksploatacji odkrywkowej należą przede wszystkim: duża głębokość zalegania złoża, znaczna miąższość nadkładu, powstawanie dużych ilości odpadów, a także możliwa utrata stateczności skarp i zboczy. Ważną zaletą metody podziemnej jest minimalny wpływ na krajobraz, gdyż na powierzchni terenu widoczne są tylko wyrobiska udostępniające, np. sztolnie. Co więcej, eksploatacja podziemna może być prowadzona przez cały rok, niezależnie od warunków pogodowych (Fornaro, Lovera 2004). Także emisja hałasu związana z taką działalnością jest nieporównanie niższa niż w przypadku eksploatacji powierzchniowej. Komory poeksploatacyjne mogą być po eksploatacji wykorzystywane do innych celów, np. do składowania odpadów górniczych i przerobczych (Oggeri 2000).

Istotnym aspektem eksploatacji podziemnej musi być gwarantowana długoterminowa stabilność geomechaniczna pustek poeksploatacyjnych, stąd niezbędne jest prowadzenie odpowiednich badań z zakresu mechaniki górotworu oraz ich monitorowanie i weryfikowanie w trakcie eksploatacji. Drugim istotnym problemem jest konieczność zapewnienia odpowiedniej wentylacji i oświetlenia wyrobisk, a także przestrzegania innych zastrzonych warunków bezpieczeństwa związanych z prowadzeniem takiej działalności (tab. 1).

Przy rozważaniu możliwości prowadzenia eksploatacji podziemnej złoża skały blocznej należy brać pod uwagę pięć podstawowych grup czynników (Del Greco i in. 1999; Fornaro i in. 2001):

- 1) warunki tektoniczne i litologiczne masywu skalnego, a więc minimalne jego spękanie i zruszkowanie – w przypadku złóż kamieni blocznych są one często korzystne, aczkolwiek w skałach osadowych problem mogą stanowić występujące wkładki skał ilastych, a w skałach węglanowych obecność kawern krasowych;
- 2) walory dekoracyjne skały wpływające na jej wartość handlową – takie jak barwa, struktura, tekstura – i możliwości przyjmowania faktur kamieniarskich, zróżnicowane w związku ze zmiennością litologiczną masywu skalnego;

TABELA 1. Główne zalety i wady podziemnej eksploatacji kamieni budowlanych

TABLE 1. The main advantages and disadvantages of underground mining of dimension stone

Cecha	Zalety	Wady
Charakterystyka masywu skalnego	<ul style="list-style-type: none"> – możliwość eksploatacji wybranych partii złóż o najkorzystniejszych parametrach jakościowych – możliwość eksploatacji podziemnej przy praktycznym braku możliwości eksploatacji odkrywkowej – stwierdzany wielokrotnie wzrost możliwości pozyskania bloków w głębiej położonych partiach złóż 	<ul style="list-style-type: none"> – konieczność dokładniejszego rozpoznania geologicznego i geotechnicznego – trudności we właściwej charakterystyce ciała skalnego (konieczność wykonania m.in. badań geofizycznych w celu stwierdzenia występujących nieciągłości oraz identyfikacji stref o obniżonej zwięzłości skały) – możliwe komplikacje podczas eksploatacji (pojawiania się uskoków, dopływów wód podziemnych itp.)
Czynniki techniczne i operacyjne	<ul style="list-style-type: none"> – problemy ze stabilnością wysokich i stromych ścian w kopalniach odkrywkowych – możliwość prowadzenia eksploatacji niezależnie od warunków pogodowych 	<ul style="list-style-type: none"> – konieczność szczegółowych studiów dotyczących udostępnienia złoża – konieczność analizy stabilności komór i filarów – konieczność prowadzenia eksploatacji zgodnie z regułami prowadzenia eksploatacji podziemnej
Czynniki ekonomiczne	<ul style="list-style-type: none"> – brak konieczności zdejmowania nadkładu – niższe koszty ponoszone na zakup gruntów – mniejsza ilość powstających odpadów wraz z możliwością ich składowania w komorach poeksploacyjnych – znacznie zmniejszenie kosztów rekultywacji – potencjalna możliwość innego wykorzystania gospodarczego komór poeksploacyjnych – niemal niezmienny stan gleby i zagospodarowania powierzchni terenu nad złożem 	<ul style="list-style-type: none"> – wyższy z reguły koszt projektu – wyższy koszt udostępnienia złoża i niska produktywność na początku eksploatacji – wyższe z reguły nakłady inwestycyjne – koszty ewentualnych dodatkowych zabiegów zabezpieczających (np. kotwienie)
Czynniki środowiskowe	<ul style="list-style-type: none"> – mniejszy wpływ na istniejący krajobraz – redukcja ilości odpadów składowanych na zwałowiskach – możliwość prowadzenia eksploatacji nawet w obszarach chronionych – niższa emisja hałasu 	<ul style="list-style-type: none"> – możliwe długoterminowe problemy ze stabilnością komór (głównie stropów) – możliwy wpływ działalności na wody podziemne

Źródło: Fornaro, Lovera 2004; Oggeri 2000

3) technologia wydobycia – głównie mechaniczne wycinanie bloków z calizny skalnej, dobre efekty daje użycie diamentowych pił linowych w połączeniu z wrębiarkami łańcuchowymi;

- 4) ekonomiczna opłacalność eksploatacji podziemnej w porównaniu do eksploatacji odkrywkowej, przy uwzględnieniu możliwego mniejszego stopnia wykorzystania zasobów złoża wskutek potrzeby pozostawiania filarów ochronnych, ale z drugiej strony niższych wartości niektórych składników kosztowych wynikających np. z braku potrzeby zdejmowania nadkładu, niższych nakładów na rekultywację itp.;
- 5) zagadnienia bezpieczeństwa eksploatacji podziemnej, w tym stabilność stropów, wentylacja, obecność szkodliwych gazów.

2. Przykłady eksploatacji podziemnej kamieni budowlanych w Europie

Eksploatacja podziemna kamieni budowlanych dotyczy niemal wyłącznie skał osadowych i metamorficznych. Prowadzona jest najczęściej w obszarach górskich, rzadziej na obszarach płaskich, np. wapienie w Istrii/Chorwacja, marmury w Alentejo/Portugalia (Oggeri 2000). Najbardziej znane przykłady podziemnej eksploatacji kamieni budowlanych występują we Włoszech (Del Greco i in. 1999; Oggeri 2000). Są to m.in.:

- kopalnie zielonych ofiokalcytów w dolinie Aosty (np. Gressoney, Champlong, Maisonetta, St. Deniz);
- kopalnie marmuru białego Lasa i różowego Cardoglia w Alpach;
- kopalnie brekcji węglanowej Ceppo di Gre, Iseo i Orobica w Alpach;
- kopalnia zielonego kwarcytu w dolinie Spluga w Alpach;
- kopalnia klastycznych wapieni Berica w dolinie Padu;
- kopalnie marmurów Carrara i warstwowanego piaskowca Cardoso w Alpach Apuańskich;
- kopalnia piaskowca Pietra Serena koło Florencji;
- kopalnie czarnych wapieni Portoro i łupków liguryjskich w Ligurii;
- kopalnia wapieni „tufowych” Cutrofiano i Lecce w Apulii.

Inne znane w Europie kopalnie podziemne kamieni budowlanych to m.in.:

- kopalnie marmuru (zwłaszcza różowego) oraz brązowego wapienia w rejonie Estremoz/Borba/Villa Vicosa w Alentejo w Portugalii (fot. 1);
- kopalnie żółtego wapienia w rejonie Istrii w Chorwacji;
- kopalnie barwnego wapienia Hotavlje i Lipica w Słowenii;
- kopalnia wapienia Dionysos w Grecji;
- kopalnie wapieni na wyspie Portland oraz w hrabstwach Avon, Somerset, Dorset w Wielkiej Brytanii;
- kopalnie łupków w Wielkiej Brytanii i Francji (Oggeri 2000; Kortnik 2009).

W Europie Środkowej i Wschodniej tego typu działalność górnicza praktycznie nie była do tej pory prowadzona.

3. Rozpoznanie złoża i planowanie podziemnej kopalni kamieni blocznych

Na etapie udostępniania złoża do eksploatacji podziemnej głównym źródłem informacji są obserwacje odsłoneń i rdzeni wiertniczych. Należy jednak zauważyć, że wiele kopalń podziemnych powstało z przyczyn technicznych, środowiskowych, dostępności, rzadziej



Fot. 1. Eksploatacja metodą podziemną złoża marmurów w rejonie antykliny Estremoz w Portugalii (fot. K. Guzik)

Photo 1. Underground extraction of marble deposit in the area of the Estremoz anticline in Portugal (photo K. Guzik)

z przyczyn ekonomicznych, jako swego rodzaju przedłużenie prowadzonej wcześniej w tym obszarze eksploatacji odkrywkowej. W takim przypadku główne cechy geostrukturalne masywu skalnego zostały już z reguły dobrze poznane. Ma to duże znaczenie także w kontekście przyszłej produktywności działalności górniczej, gdyż wielkość i umiejscowienie komór eksploatacyjnych zależy przede wszystkim od cech strukturalnych masywu, w tym systemów spękań, uskoków itp.

Charakterystyka geologiczna i geomechaniczna masywu skalnego, w obrębie którego ma być prowadzona eksploatacja podziemna, powinna zawierać: dane z powierzchniowych terenowych badań geologicznych, określenie struktury i tektoniki masywu skalnego, pomiar bezwzględnych i względnych naprężeń w górotworze, badania geofizyczne, testy laboratoryjne próbek skały pochodzących z odkrywek lub z rdzeni wiertniczych, określenie warunków hydrogeologicznych itp. Ma to na celu m.in. wyróżnienie podstawowych litotypów skał i przedstawienie ich zmienności (m.in. w zakresie odcieni barwy skały), ustalenie miąższości nadkładu, identyfikację przerostów skał płonnych i stref obniżenia zwięzłości kopaliny oraz stwierdzenie występujących nieciągłości, zwłaszcza uskoków i stref uskoku, wraz z określeniem ich znaczenia oraz zasięgu (Fornaro, Lovera 2004; Costa e Silva, Falcao Neves 2002).

Na projektowanie i budowę podziemnych kopalń kamienia budowlanego ma wpływ wiele istotnych czynników. Niektóre z nich związane są z geologiczną i geomechaniczną charakterystyką masywu skalnego: rodzaj skały, struktura masywu skalnego, topografia

i morfologia terenu. Założona eksploatacja podziemna złoża może spowodować problemy ze stabilnością górotworu o skali lokalnej i w skali całego obszaru kopalni. Stąd niezbędne jest wykonanie wyprzedzającej charakterystyki geomechanicznej masywu skalnego, który ma być objęty eksploatacją, w celu odpowiedniego zaprojektowania rozmieszczenia komór i filarów, oraz pomierzenie naturalnego stanu naprężeń górotworu na tym obszarze. Na etapie projektowania istotna jest także właściwa ocena takich zagadnień produkcyjnych i ekonomicznych, jak m.in. wielkość docelowa komór eksploatacyjnych oraz rozważenie kwestii ewentualnego podsadzania pustek poeksploatacyjnych itp. (Fornaro, Lovera 2004).

Warunki geostrukturalne (tektonika, litologia) determinują zarówno plan wyrobisk podziemnych, jak też metody pozyskiwania bloków w przodkach eksploatacyjnych oraz kształt i wielkość komór eksploatacyjnych i filarów. Lokalna zmienność litologiczna masywu skalnego oraz obecność częstych nieciągłości strukturalnych (notowana np. w przypadku ofiokalcytów z doliny Aosty) wpływa na znaczną nieregularność wyrobisk górniczych. Z drugiej strony stosunkowo mała zmienność litologiczna i mały stopień spękania masywu skalnego (notowane np. w przypadku marmurów z Carrary w Alpach Apuańskich) pozwalają na stabilną eksploatację systemem komorowo-filarowym z dużymi komorami eksploatacyjnymi (Oggeri 2000).

4. Podstawowe elementy eksploatacji podziemnej złóż kamieni blocznych

4.1. Sposób udostępnienia złoża

Udostępnienie złoża kamienia blocznego metodą podziemną prowadzone jest zwykle za pomocą poziomego tunelu (sztolni) lub pochylni. Rzadko stosowane są szyby, a jeśli już, to głównie dla celów wentylacyjnych. Pochylnie muszą być wyposażone w odpowiedni system wyciągowy. Kopalnie takie są generalnie płytkie, aby uniknąć m.in. wysokich kosztów produkcji oraz problemów z dopływem wód podziemnych. Kopalnia podziemna kamienia blocznego jest bardzo często „przedłużeniem” łomu odkrywkowego (Smith 1999).

4.2. Stosowane systemy eksploatacji

Najczęstszym systemem eksploatacji podziemnej kamieni blocznych, w szczególności tych o budowie pokładowej, jest system komorowo-filarowy. Pozostawiane filary mają na celu zapewnienie odpowiedniej stabilności stropów komór, powstających w wyniku eksploatacji kamienia, a także zapobieganie osiadaniu powierzchni, zwłaszcza w płytkich kopalniach. W tym systemie przedmiotem eksploatacji jest z reguły 50–70% łącznej objętości skały, tylko wyjątkowo – przy wybitnie wysokich parametrach wytrzymałościowych skał – procent ten jest wyższy. W powstającej komorze na początku eksploatowane są wyższe warstwy, a później coraz niższe.

Monolit odspajany jest po bokach z reguły za pomocą wrębiarek łańcuchowych, natomiast z tyłu za pomocą diamentowych pił linowych. Bardzo rzadko stosowane są słabe materiały wybuchowe. Urabianie strumieniem wodnym pod wysokim ciśnieniem jest wciąż

słabo rozwinięte. Wielkość pojedynczych bloków z reguły nie przekracza 8–9 m³. Niekiedy stropy są wzmocniane przy użyciu kotew. Podszadanie wyrobisk podziemnych w tego typu kopalniach, mające na celu m.in. eksploatację pozostawionych filarów, jest zwykle nieopłacalne. Metoda komorowo-filarowa jest najbardziej odpowiednia w przypadku ciągłych, niezakłóconych, poziomo leżących lub tylko lekko nachylonych warstw, bez istotnych stref uskokowych. Ułatwia to także wywóz z kopalni podziemnej pozyskiwanych bloków, np. za pomocą transportu torowego lub kołowego. Przy korzystnych warunkach geologicznych i górniczych oraz dobrym zaawansowaniu technicznym produktywność takich kopalń może sięgać nawet 1000 ton/osobę/rok (Del Greco i in. 1999).

4.3. Wentylacja kopalni

W płytkich kopalniach kamienia blocznego odpowiednia wentylacja wyrobisk jest często osiągnięta przez naturalną cyrkulację powietrza, np. z jego wlotem przez sztolnię, a wylotem przez szyb wentylacyjny. Kiedy takie rozwiązanie jest niemożliwe, wentylacja wyrobisk może być realizowana przez odpowiedni system drzwi wentylacyjnych i wentylatorów w korytarzach podziemnych. Zwykle wentylacja nie stanowi istotnego problemu w eksploatacji podziemnej, zwłaszcza że w tego typu kopalniach użytkowane są głównie maszyny elektryczne (a nie spalinowe), brak w nich metanu, a drogi wentylacyjne są krótkie. W rzadkich przypadkach pewnym problemem może być emanacja radonu do takich wyrobisk (Smith 1999).

4.4. Wielkość wyrobisk eksploatacyjnych

Wielkość komór eksploatacyjnych jest zróżnicowana w zależności od budowy geologicznej i stosowanych metod eksploatacji. Przykładowo, w kopalniach ofiokalcytów w dolinie Aosty takie komory mają szerokość 6–12 m, wysokość do 24 m, a ich długość sięga nawet dziesiątków metrów, w kopalniach marmurów w Alpach Apuańskich – szerokość 10–20 m, wysokość do 30 m, a długość kilkadziesiąt metrów, natomiast w kopalni zielonego kwarcytu w dolinie Spluga – szerokość 10–12 m, wysokość do 20 m, długość do 30 m (Fornaro, Lovera 2004). Bardzo istotne jest, by nieciągłości w górotworze były dobrze zlokalizowane, a filary wyznaczone w taki sposób, by spełniały wymagania zarówno co do stabilności wyrobisk, jak i optymalnego uzysku bloków. W rezultacie dość często nie stosuje się bardzo regularnego rozmieszczenia filarów (Del Greco i in. 1999). Stabilność komór jest wspomagana poprzez stosowanie aktywnego kotwienia (np. kopalnia marmuru Lasa). Niekiedy czynnikiem determinującym wielkość wyrobiska jest miąższość pojedynczych ławic przewidzianych do eksploatacji. Przykładem jest kopalnia warstwowanego piaskowca Pietra Serena w Firenzuola koło Florencji, gdzie pokłady piaskowca o miąższości około 5 m występują w obrębie kompleksów skalnych o miąższości około 60 m. Główną trudnością w eksploatacji tego złoża jest zapewnienie stabilności stropu przy obecności występujących między piaskowcami wkładek łupkowo-marglistych (Fornaro, Lovera 2004).

4.5. Stopień wykorzystania zasobów i uzyski bloków

Budowa geologiczna obszaru złoża oraz sposób jego eksploatacji podziemnej wpływają zasadniczo na stopień wykorzystania zasobów złoża oraz wskaźnik uzysku bloków. Stopień wykorzystania zasobów złoża w przypadku eksploatacji podziemnej systemem komorowo-filarowym zasadniczo nie przekracza 65–70%, ale rzadko jest mniejszy niż 60%. Wskaźnik uzysku bloków (liczony w stosunku do łącznej wielkości wydobycia) bywa natomiast znacznie bardziej zróżnicowany w zależności od rodzaju skały oraz występujących systemów spękań, wahając się od 10 do 60% w przypadku skał metamorficznych, do nawet 80% w przypadku jednorodnych masywów skał osadowych (głównie węglanowych).

Stopień wykorzystania zasobów i średnie uzyski bloków dla kilku znanych obszarów eksploatacji podziemnej we Włoszech są następujące (w nawiasie wskaźnik wykorzystania zasobów i przeciętny uzysk bloków, w stosunku do objętości pozostawionej komory, według Del Greco i in. 1999):

- zielone ofiokalcyty w dolinie Aosty (65% i ok. 60%),
- różowe marmury Cardoglia (95% i 15%),
- białe marmury Lasa (70% i 40%),
- brekcja węglanowa Orobica (80% i 60%),
- klastyczne wapienie Berica (75% i 70%),
- marmury Carrara (70% i 35%),
- czarne wapienie Portoro (70% i 50%),
- łupki liguryjskie (70% i 30%),
- wapieni „tufowe” Cutrofiano (60% i 70%).

5. Perspektywy rozwoju eksploatacji podziemnej skał blocznych w warunkach krajowych

W Polsce bloki kamienne wydobywane są głównie ze złóż granitów i piaskowców, a w ograniczonym zakresie ze złóż sjenitów, marmurów, wapieni i dolomitów. Podziemna eksploatacja krajowych skał blocznych nie była dotychczas prowadzona w związku z wysokimi kosztami stosowania tej metody, znaczną dostępnością do eksploatacji odkrywkowej zasobów najważniejszych wydobywanych grup kopalin skalnych (granitów oraz piaskowców) oraz z niewielkim zapotrzebowaniem na krajowe marmury i wapienie wynikającym ze słabej znajomości tych skał na rynku krajowym i zagranicznym. Wyjątkiem mającym historyczne znaczenie jest eksploatacja za pomocą płytkich szybików niektórych odmian wapieni dewońskich (tzw. wapieni „lochowych”) w Dębniku koło Krzeszowic (Rajchel 2004).

Inną kwestią jest niski stan zaawansowania technologicznego w niektórych czynnych kopalniach skał blocznych, które urabiają kopalinę przy użyciu materiałów wybuchowych, co prowadzi do powstawania dodatkowych spękań masywu skalnego i obniża możliwość uzysku bloków. W wielu krajach europejskich do eksploatacji złóż skał węglanowych wykorzystuje się głównie wrębiarki łańcuchowe (również w wyrobiskach podziemnych), a w złożach piaskowców wprowadzana jest coraz częściej technologia cięcia wodą (*water-jet*). W Polsce te metody odpajania skały nie były do tej pory używane (Chulist, Strykowski

2012). Ponadto ze względu na małą bloczność krajowych złóż marmurów nie stosuje się do ich eksploatacji cięcia diamentową piłą linową, która wykorzystywana jest głównie w kopalniach skał osadowych i granitów.

Spośród krajowych złóż kamieni blocznych perspektywy rozwoju eksploatacji metodą podziemną dotyczyć mogą niektórych złóż skał metamorficznych i magmowych na Dolnym Śląsku. Warte zainteresowania pod tym względem są niewątpliwie udokumentowane złoża marmurów i serpentynitów. Występowanie marmurów związane jest z osłoną metamorficzną masywu Żulowej (złoża Sławniowice) oraz pasmem Krowiarek w rejonie kłodzkim (m.in. złoża Biała i Zielona Marianna). Z kolei masywy serpentynitowe położone są w otoczeniu bloku sowiogórskiego (np. złoża Nasławice). Cechą wspólną tych złóż jest znaczny stopień zaangażowania tektonicznego i związana z tym niewielka bloczność udokumentowanych skał, co może w znaczący sposób utrudniać ewentualny rozwój ich podziemnej eksploatacji. Powoduje to pewne ograniczenia możliwości wykorzystania tych skał także obecnie. Przykładowo serpentynity wydobywane w jedynej kopalni Nasławice, pomimo unikatowych walorów dekoracyjnych, dzięki którym określane są niekiedy mianem zielonych marmurów, stosowane są głównie do produkcji kruszyw (Sałaciński, Delura 2008).

W przypadku złóż skał magmowych – granitów i skał pokrewnych – nie rokuje się większych możliwości uruchomienia eksploatacji podziemnej ze względu na znaczne zasoby kopalin możliwe do wydobycia metodą odkrywkową. Wyjątek stanowią sjenity występujące w strefie dyslokacyjnej Niemczy, obecnie eksploatowane w złożach Kośmin i Przedborowa. Pomimo ortogonalnego układu spękań, udział bloków o objętości powyżej 1 m³ jest w nich niewielki, ale wraz ze wzrostem głębokości oczekiwana jest większa bloczność złóż w związku z coraz rzadszym występowaniem spękań pokładowych (Mania 2012).

Potencjalna podziemna eksploatacja złóż piaskowców – zarówno na Dolnym Śląsku, jak i w innych regionach kraju – jest mało prawdopodobna w związku ze znaczną dostępnością zasobów tych kopalin do eksploatacji odkrywkowej. Odmienne należy oceniać te perspektywy w przypadku niektórych odmian skał węglanowych. W szczególności dotyczy to zbitych wapieni przyjmujących poler, czyli tzw. marmurów technicznych, których złoża udokumentowane są w obrębie monokliny śląsko-krakowskiej oraz w Górach Świętokrzyskich. W pierwszym z wymienionych obszarów występują jedyne w Polsce złoża czarnych wapieni dewońskich, zwanych dębnickimi. Wydobywanie tych skał wiąże się z koniecznością usuwania znacznej miąższości nadkładu (w kamieniołomie Dębnik Nowy do 20 m), który zbudowany jest z nie wykazujących cech bloczności wapieni gruzłowych i falistych (Bromowicz 2001). Z kolei w rejonie świętokrzyskim na szczególną uwagę zasługują wybrane wychodnie jurajskich wapieni morawickich udokumentowanych m.in. w złożu Wola Morawicka, permskich zlepieńców wapiennych (złoża Zygmuntówka) oraz wapieni dewońskich (np. w rejonie złoża Bolechowice), przy czym w ostatnim przypadku dodatkową trudnością jest znaczne nachylenie ławic (Bromowicz, Figarska 2012).

Podsumowanie

Podziemna eksploatacja należy do coraz częściej stosowanych metod wydobywania skał blocznych. Rozpowszechniona jest ona szczególnie w wysoko rozwiniętych krajach Europy

i Ameryki Północnej. Dotyczy głównie niektórych metamorficznych skał węglanowych (np. marmury) oraz skał osadowych (np. wapień, piaskowce, łupki). O wyborze tej metody decydują obecnie przede wszystkim względy ekonomiczne, przy prowadzeniu działalności wydobywczej na większej głębokości (często po uprzedniej eksploatacji odkrywkowej), w sytuacji braku stateczności zboczy i skarp wyrobiska eksploatacyjnego lub też występowania ograniczeń natury środowiskowej w przypadku eksploatacji odkrywkowej.

Najważniejsze korzyści wynikające z zastosowania eksploatacji podziemnej to przede wszystkim: nieznaczny wpływ na powierzchnię terenu nad złożem związany m.in. z brakiem konieczności przemieszczania znacznych ilości mas skalnych zalegających w nadkładzie, ograniczenie potrzeby składowania powstających odpadów oraz obniżenie związanych z tym kosztów, zdecydowanie niższe koszty rekultywacji w stosunku do wydobywania metodą odkrywkową. Istotna jest także możliwość prowadzenia eksploatacji wybranych partii złóż o najkorzystniejszych parametrach jakościowych, co pozwala na większy uzysk bloków (w stosunku do łącznej wielkości wydobycia). Należy również podkreślić, że w głębiej położonych częściach złóż wielokrotnie stwierdzany jest wzrost możliwości pozyskania bloków.

Metoda ta preferowana jest ze względów środowiskowych, stąd też może być stosowana – po spełnieniu odpowiednich warunków – również na obszarach chronionych.

W celu zastosowania podziemnej eksploatacji niezbędne jest wcześniejsze dokładne rozpoznanie masywu skalnego pod względem geomechanicznym (identyfikacja występujących odmian skał, stref spękań, ocena stanu naprężeń panujących w górotworze). Głównym mankamentem stosowanej metody są z reguły wysokie koszty udostępnienia złoża oraz konieczność monitorowania stabilności powstających w trakcie jego eksploatacji pustek skalnych. Podziemna eksploatacja wymusza także potrzebę zapewnienia właściwej wentylacji i oświetlenia wyrobisk oraz przestrzegania innych wymogów bezpieczeństwa.

Podziemna eksploatacja skał blocznych nie była w Polsce dotychczas prowadzona. Najbardziej interesujące perspektywy rozwoju eksploatacji metodą podziemną mogą dotyczyć m.in. marmurów, serpentynitów i sjenitów na Dolnym Śląsku oraz wapieni (marmurów technicznych) w rejonie Krakowa i Kielc.

Literatura

- Bromowicz J., 2001 – Ocena możliwości wykorzystania skał z okolic Krakowa do rekonstrukcji kamiennych elementów architektonicznych. *Gosp. Sur. Min.* t. 17, z. 1.
- Bromowicz J., Figarska-Warchoł B., 2012 – Kamienie dekoracyjne i architektoniczne południowo-wschodniej Polski – złoża, zasoby i perspektywy eksploatacji. *Gosp. Sur. Min.* t. 28, z. 3.
- Chulist R., Strykowski M., 2012 – Technologie wydobycia skał blocznych. [W:] Strykowski M., (red.) – Innowacyjne technologie wydobycia i obróbki skał blocznych. Kraków, s. 59–115.
- Costa e Silva M.M., Falcao Neves P., 2002 – Management Procedures for an Underground Excavation of Marble. *ISRM Int. Symp. on Rock Mechanics for Mountains Regions. EUROCK'02*
- Del Greco O., Fornaro M., Oggeri C., 1999 – Underground dimension stone quarrying: rock mass structure and stability. *1999 ISMST Int. Symp. on Mining Sciences and Technology, Beijing 29–31 August, 1999.*
- Fornaro M., Lovera E., 2004 – Geological-Technical and Geo-Engineering Aspects of Dimensional Stone Underground Quarrying. [W:] Hack R., Azzam R., Charlier R. (Eds.) – *Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe. Lecture Notes in Earth Sciences No. 104.* Springer Verlag Berlin Heidelberg.

- Fornaro M., Oggeri C., Oreste P., Valentino D., 2001 – Going underground in quarrying: technical perspectives for marble in Portugal. 17th Int. Min. Cong. IMCET2001, Ankara 19-22 June, 2001.
- Kortnik J., 2009 – Underground natural stone excavation technics in Slovenia. RMZ – Materials and Geo-environment, Vol. 56, No. 2.
- Mania M., 2012 – Metoda oceny bloczności złoza na przykładzie kopalni granodiorytu. Pr. Nauk. Inst. Górn. Pol. Wr. Nr 134.
- Oggeri C., 2000 – Design methods and monitoring in ornamental stone underground quarrying. Proc. of Int. Conf. GEOENG 2000, Melbourne 19–24 November, 2000.
- Rajchel J., 2004 – Kamienny Kraków. Spojrzenie geologa. UWND AGH, Kraków.
- Sałaciński R., Delura K., 2008 – Perspektywy wykorzystania serpentynitów z Nasławic jako surowca do produkcji kamieni okładzinowych. Gosp. Sur. Min. t. 24, z. 4/4.
- Smith M.R. (Ed.), 1999 – Stone: Building Stone, Rock Fill and Armourstone in Construction. Geological Society Engineering Geology Special Publication No. 16, London.