

Podziemna eksploatacja wapieni na przykładzie kopalń Hotavlje i Sežana w Słowenii

Underground extraction of limestone on the example of mines Hotavlje and Sežana in Slovenia



*Dr inż. Jacek Nowak**



*Assist. Prof. Dr. Jože Kortnik***



*Dr hab inż. Katarzyna Stanienda-Pilecki**

Treść: W artykule przedstawiono sposób podziemnej eksploatacji wapieni w słoweńskich kopalniach Hotavlje i Sežana. Zaprezentowano zalety i wady tej metody w aspekcie jej wykorzystania do wydobywania kamieni blocznych. Wapienie analizowanych złóż wykazują nieznaczne zróżnicowanie pod względem składu mineralnego, które związane jest głównie ze zmienną zawartością minerałów niewęglanowych. Wydobycie w kopalniach Hotavlje i Sežana prowadzi się systemem filarowo-komorowym, który stosuje się z uwagi na sprzyjające warunki środowiska, kształt złoża, rodzaj skał, stabilność komór i filarów, niewielką ilość odpadów, nieznaczne zapylenie i hałas oraz możliwość prowadzenia selektywnej eksploatacji. Dodatkowymi zaletami tej metody, są: wysoki wskaźnik pozyskiwania bloków oraz ochrona powierzchni, związana z brakiem konieczności poszerzania kamieniołomu.

Abstract: The methodology of underground exploitation of limestone in the Hotavlje and Sežana mines in Slovenia was presented in this paper. The advantages and disadvantages of this method were presented in terms of its use for the extraction of blocky stones. The limestones of the analyzed deposits show slight variation in mineral composition. It is mainly related to the variable content of non-carbonates. Extraction in the Hotavlje and Sežana mines is executed with the use of pillar-chamber system. Underground operation is due to favorable environmental conditions, shape of deposits, rock type, chamber and pillar stability, small amount of waste, limited amount of dust and noise, and the possibility of conducting selective operation. High block exploitation index and surface protection are additional advantages of this method, as there is no need of quarry expansion.

Słowa kluczowe:

wapienie, podziemna eksploatacja, kamieniołom

Keywords:

limestones, underground extraction, quarry

Wprowadzenie

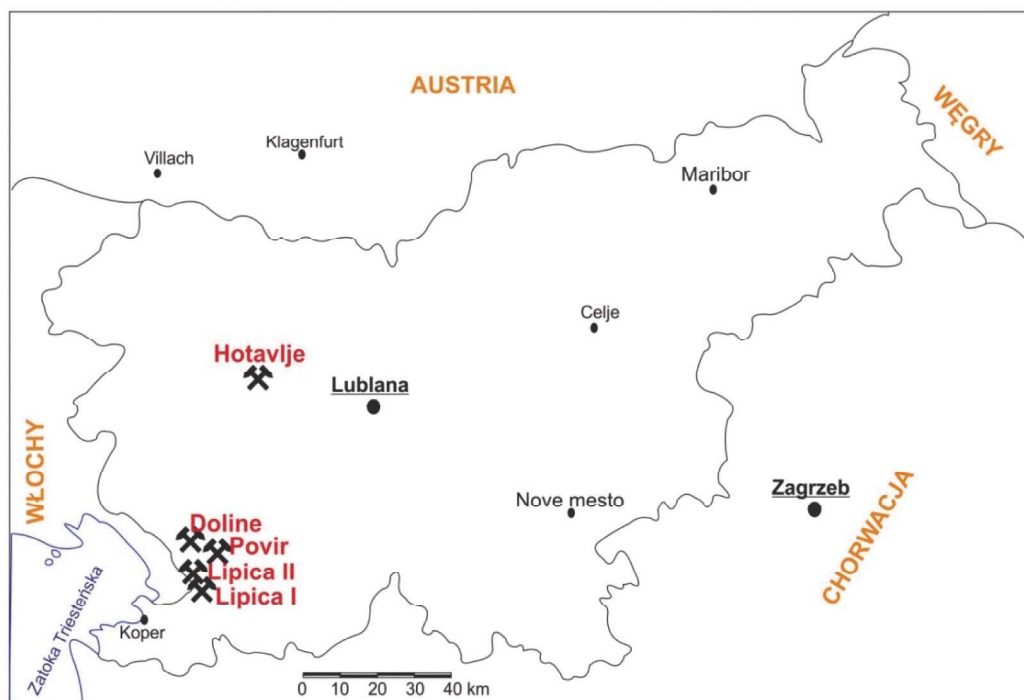
Pierwsze podziemne „kopalnie” kamieni blocznych działały już w starożytności. W V i IV wieku p.n.e. na wyspie Paros wydobywano biały marmur paryjski zwany także lychnites (λυχνίτης), gdyż wydobywanie odbywało się w podziemnych przekopach kopalni w świetle kaganków o nazwie lychnos (λύχνος). Podziemna eksploatacja surowców skalnych stosowana jest m. in. we Włoszech, Wielkiej Brytanii, Portugalii i innych krajach Europy południowej, a także w Ameryce Północnej (Galos, Guzik 2013; Galos i in. 2014). Możliwości eksploatacji kamieni blocznych metodą głębinową uzależnione są głównie od warunków środowiskowych; znaczące są

również: zagospodarowanie przestrzenne i elementy ekonomiczne (Galos i in. 2014). Metoda głębinowa stosowana jest tam, gdzie ograniczone są możliwości eksploatacji odkrywkowej. Istotnym elementem jest tu gwarancja długoterminowej stateczności górotworu (Galos, Guzik 2013; Galos i in. 2014). W Polsce nie prowadzi się tego typu eksploatacji. Metodą głębinową wydobywa się natomiast wapienie w złożach Hotavlje i Sežana w Słowenii (rys.1).

Próbne wydobywanie bloków skalnych ze złóż podziemnych w Słowenii (Hotavlje I) rozpoczęto w 1993 roku. Wcześniej eksploatowano tu wapienie metodą odkrywkową. W 2002 roku uruchomiono kamieniołom Sežana - Lipica II, a w 2008 roku kamieniołom Sežana - Lipica I. W 2009 roku wapień pozyskiwać zaczęto także w kamieniołomie Doline, a w 2014 roku – w kamieniołomie Povir (należących też do kopalni Sežana) (Kortnik 2007, 2015, 2016).

* Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii

** University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Slovenia



Rys. 1. Lokalizacja analizowanych złóż wapieni Hotavlje i Sežana (Lipica I i Lipica II)

Fig. 1. Location of the analyzed limestone deposits in Hotavlje and Sežana (Lipica I and Lipica II)

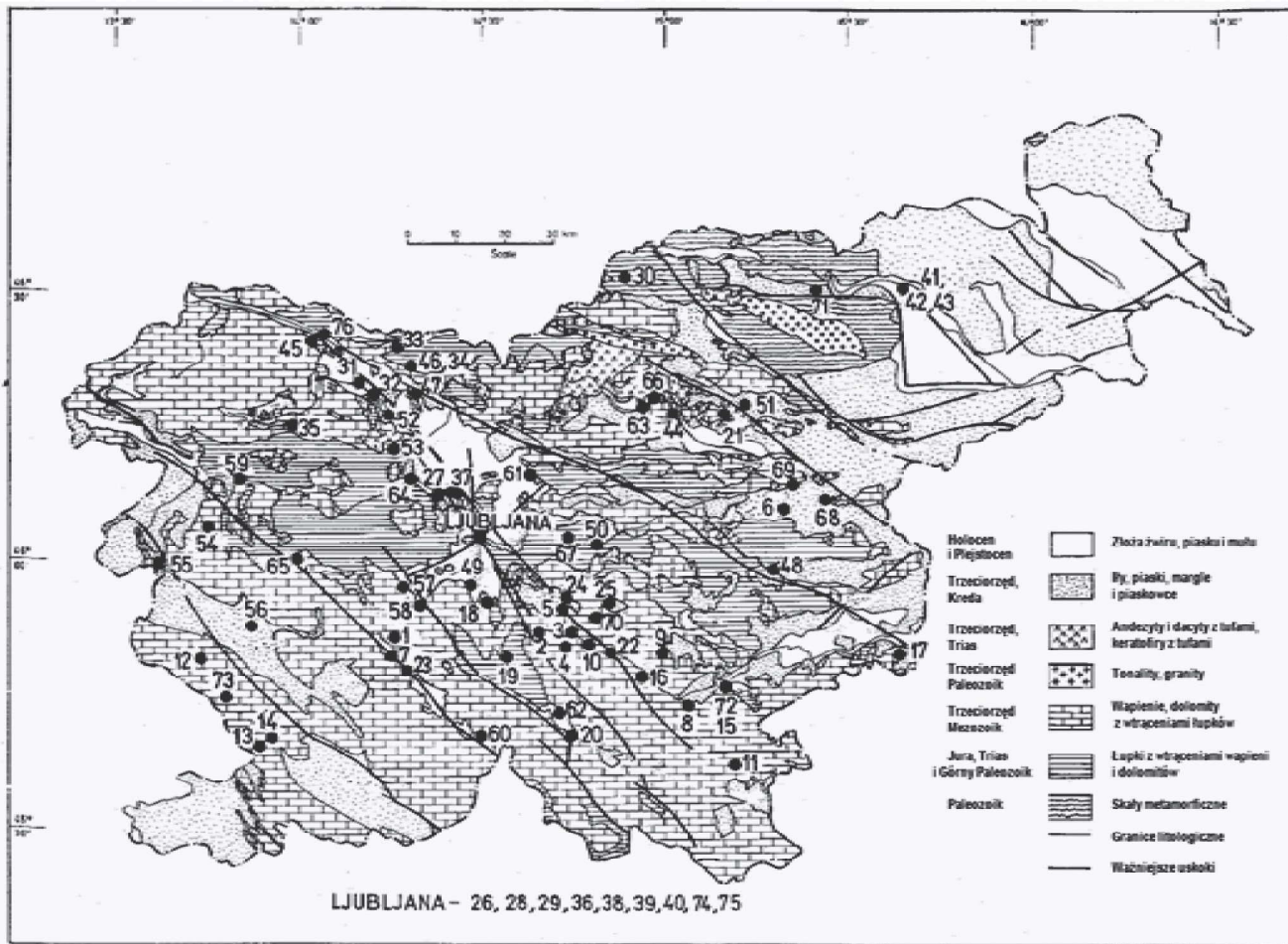
1. Budowa geologiczna

Najstarszymi skałami Słowenii są prekambryjskie skały metamorficzne – gnejsy, łupki mikowe z soczewkami amfibolitów, marmurów, kwarcytów, gnejsów pegmatytowych, eklogitów i serpentynitów (rys. 2) (Kramar i in. 2016; Popit i Vaupotič, 2002). Występują tu również utwory Wschodniego Austroalpejskiego kompleksu metamorficznego, stanowiącego SW strefę Basenu Panońskiego. Paleozoik Słowenii to głównie skały metamorficzne (gnejsy, łupki itp.) i plutoniczne (granity, tonality). Skały permu, triasu i jury to głównie osady klastyczne z wtrąceniami wapieni i dolomitów (Kramar i in. 2016). W triasie wystąpiły również procesy magmowe. Powstały wtedy andezyty, dacyty z tufami oraz keratofiry z tufami (rys. 2) (Kramar i in. 2016).

Zróznicowanie pod względem facjalnym wykazują utwory kredy (Jurkovšek i in. 2016; Kramar i in. 2014), które występują na badanym obszarze. Utwory Aptu i Albu to osady płytkiego morza, strefy szelfu, miejscami lagunowej. W dolnej części profilu występują utwory węglanowe formacji Brje, najstarszej. W dolnej części tej formacji występują dolomity. Miąższość formacji Brje przekracza 500 m, w tym 200 m stanowi dolna część dolomitowa. Powyżej zalegają osady formacji Povir. Granicę pomiędzy formacjami Brje i Povir stanowi warstwa brekcji. Formację Povir reprezentują wapienie, dolomity i brekcje wapienne. Utwory formacji Povir okresu alb-cenoman, to tekto-diagenetyczne brekcje i dolomity bitumiczne. Całkowita miąższość formacji Povir, wraz z wapieniami formacji Komen to 300 – 600 m. Grube ławice ziarnistych wapieni bitumicznych i wapieni płytowych, laminowanych formacji Komen tworzyły się w cenomanie. Utwory tej formacji to cienkoławicowe (2 – 15 cm grubości), ciemne, mikrytowe i biomikrytowe wapienie z soczewkami krzemieni. Okres cenoman-turon to czas sedimentacji osadów formacji Repen - wapieni pelagicznych z fauną. Grubość tej formacji wynosi ponad 200 m. Utwory formacji Sežana powstały w turonie. Tworzyły się one w środowisku płytko-

wodnym strefy szelfu. Są to gruboławicowe, biomikrytowe wapienie z fauną bentoniczną otwornic. Grubość formacji Sežana wynosi 230-500 m. W obrębie tej formacji występuje również wkładka wapieni z soczewkami krzemieni formacji Komen, o miąższości od kilku do 40 m. Wapienie krasowe płytkiego morza, okresów santon-kampan występują w obszarze Lipicy. Utwory santonu formacji Lipica reprezentują wapienie bioklastyczne, masywne biomikryty i biosparyty. Występuje tu też, podobnie jak w formacji Sežana, ławica z bentoniczną fauną otwornic. Miąższość formacji Lipica wynosi od 150 do 400 m. Utwory górnego santonu to wapienie formacji Tomaj, płytowe, laminowane wapienie z soczewkami krzemieni, powstałych w wyniku procesów diagenety. Występują tu też wapienie bioklastyczne z fauną powstałe w środowisku głównie lagunowym. Grubość wapieni Tomaj waha się od kilku do 40 metrów (Jurkovšek i in. 2016).

Po stopniowych zmianach, jakie zachodziły w okresach santonu i kampanu, które wpłynęły na środowisko sedimentacyjne utworów węglanowych adriatycko-dynaryjskiej platformy, nastąpiło dalsze zróznicowanie, począwszy od mastrichtu aż do paleogenu. W okresie mastricht - paleocen, powstały skały formacji Liburnia - utwory płytkiego morza, brakiczne i słodkowodne. Skały facji morskiej są bogate w faunę, m.in. otwornice. Skały facji słodkowodnej i brakicznej zawierają ślimaki oraz pokłady węgla. Granica utworów kreda-trzeciorzęd ujawnia się w postaci warstwy brekcji, z mikrytowym matrix. Osady paleocenu to ciemne, lokalnie margliste wapienie z małzami, ślimakami, małzorczkami i bentonicznymi otwornicami. Powyżej utworów formacji Liburnia zalegają warstwy „Alveolinowo-Nummulitowe”. Dolna część profilu zbudowana jest z wapieni z koralami i algami oraz bioklastycznych wapieni z większymi okazami otwornic. Powyżej zalegają wapienie typowe dla tej formacji (otwornice - Alveolina, Nummulites, Orbitolites). Ta część tworzyła się w środkowej części rampy węglanowej. Maksymalna grubość analizowanej formacji wynosi 350 m. Osady eocenu obejmują dwa rodzaje utworów: warstwy przejściowe i skały fliszowe (hemipela-



Rys. 2. Uproszczona mapa geologiczna Słowenii (Popit i Vaupotič, 2002)
 Fig. 2. Simplified geological map of Slovenia. (Popit i Vaupotič, 2002)

giczne margle, wapień margliste, redeponowane utwory węglanowe - warstwy przejściowe; głębokowodne utwory klastyczne z glaukonitem - skały fliszowe). Bezpośrednio na utworach poprzednich, „Alveolinowo-Nummulitowych”, w niektórych obszarach, na warstwach przejściowych, zalegają grube warstwy piaskowców, mułowców, iłowców i margli. W okresie trzeciorzędu wystąpiły również procesy magmowe, w wyniku których powstały granity, tonality oraz andezyty, dacyty i keratofiry z tufami. Skały plejstocenu i holocenu to głównie żwiry, piaski i iły. Utwory holocenu to również osady aluwialno-koluwalne i terra rossa (Jurkovšek i in. 2016; Kramar i in. 2016).

2. Uwarunkowania podziemnej eksploatacji skał blocznych

Podziemną eksploatację wapieni prowadzi się z uwagi na liczne zalety tej metody, w tym mniejszą uciążliwość dla środowiska. Pozwala to na prowadzenie eksploatacji w złożach, które ze względów środowiskowych lub ekonomicznych nie byłyby możliwe do eksploatacji metodą odkrywkową. Główne przyczyny, dla których podejmuje się podziemne wydobycie surowców skalnych to:

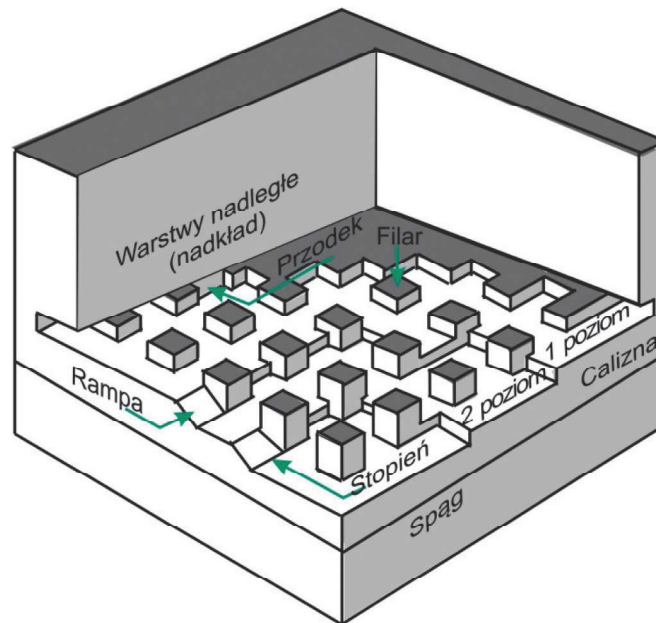
- budowa geologiczna w miejscach eksploatacji, w tym, grube warstwy nadkładu lub kształt złoża,
- warunki ekonomiczne, wynikające z prowadzenia selektywnej eksploatacji oraz możliwości redukcji kosztów,
- wymagania ekologiczne – wpływ eksploatacji na kształ-

towanie środowiska przyrodniczego, w tym na strukturę przestrzenną kamieniołomu, hałas, zmniejszenie zapylenia,

- ograniczenie zmian w krajobrazie (Galos, Guzik 2013; Kortnik 2016).

Podziemne wydobycie kamieni naturalnych odbywa się za pomocą zmodyfikowanej metody filarowo-komorowej, z wykorzystaniem układu mniej lub bardziej regularnie rozmieszczonych filarów zabezpieczających. (rys. 3). Głębokość eksploatacji wynosi ok. 10-40 m. Eksploatacja rozpoczyna się najczęściej w wyrobisku odkrywkowym (kamieniołomie), w którym, z przyczyn technologicznych, ekologicznych lub ekonomicznych dalsza eksploatacja odkrywkowa jest niemożliwa. W takim wyrobisku rozpoczyna się wycinanie bloków skalnych, uzyskując wyłom w caliznie (rys. 5, 12), a następnie wycinając kolejne bloki tworzy się system galerii, komór i filarów (rys. 3, 4, 6, 13). Po wyeksploatowaniu pierwszego poziomu wycina się kolejne bloki, formując system ramp pozwalający zejść z eksploatacją na niższy poziom (rys. 3, 4, 6, 13).

Wycinanie bloków odbywa się za pomocą mechanicznych wrębiarek łańcuchowych oraz diamentowych pił linowych. Odstawa wyciętych bloków odbywa się za pomocą spalinyowych ładowarek przystosowanych do przewozu bloków skalnych. Wielkość wycinanych bloków uwarunkowana jest głównie od budowy geologicznej złoża, zwłaszcza od występowania systemów naturalnych spękań i szczelin. Wydobycie



Rys. 3. Schemat eksploatacji filarowo-komorowej (Kortnik 2016)

Fig. 3. Pillar-chamber operations diagram (Kortnik 2016)



Rys. 4. Projekt i kontrola stabilności wysokich filarów ochronnych w kopalni Lipica II (Kortnik 2016), r – stosunek szerokości do wysokości

Fig. 4. Design and stability control of high safety pillars in Lipica II mine (Kortnik 2016), r – width-to-height ratio

bloki są następnie formatowane na bloki przemysłowe o wymiarach od minimum: 0,3 x 1,0 x 1,2 m, maksymalnie do: 1,2 x 1,5 x 2,9 m. Średnia cena uzyskiwanych w ten sposób bloków wapieni słoweńskich waha się od 500 do 1000 euro za 1 m³, ale w przypadku bardzo dużych bloków o wyjątkowo atrakcyjnych walorach dekoracyjnych może osiągać nawet 3500 euro za 1 m³.

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 zuskokowanie –

w przypadku złóż kamieni blocznych w eksploatacji odkrywkowej są one często korzystne (naturalne pęknięcia i szczeliny wykorzystuje się do pozyskiwania bloków), jednak w eksploatacji podziemnej mogą one zagrozić stabilności filarów; w skałach osadowych problemem mogą być także występujące wkładki skał ilastych, a w skałach węglanowych obecność kawern krasowych i jaskiń;

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;

3) technologię wydobycia – głównie mechaniczne wycinanie bloków z calizny skalnej, dobre efekty daje użycie

diamentowych pił linowych w połączeniu z wrębarkami łańcuchowymi;

- 4) ekonomiczną 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, wentylację, obecność szkodliwych gazów.

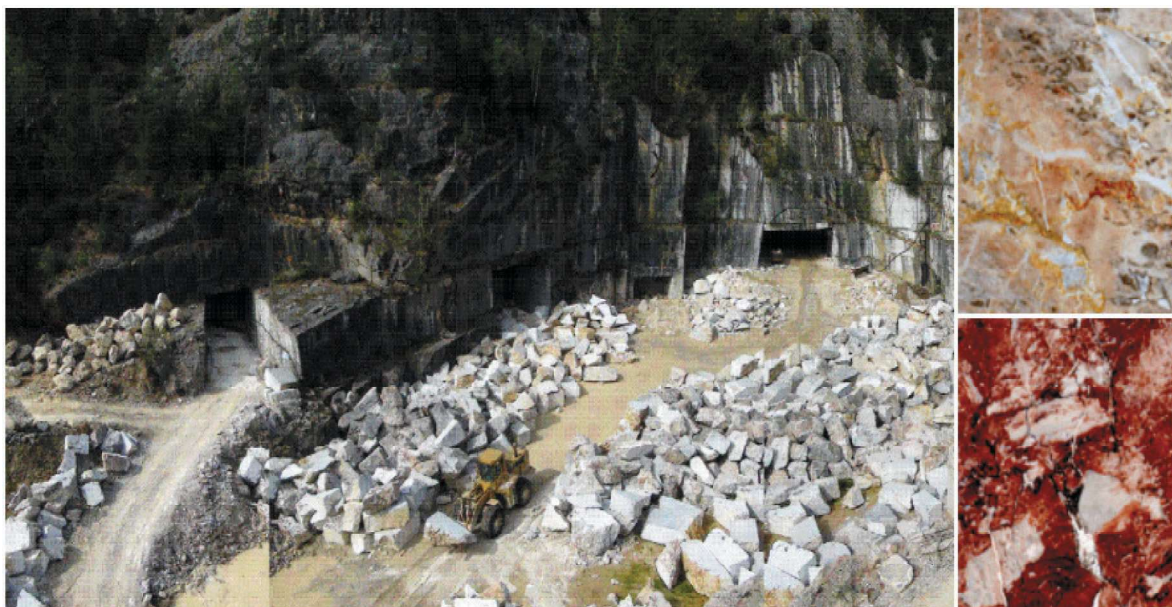
3. Eksploatacja wapieni w kopalniach Hotavlje i Sežana

Kopalnia Hotavlje

Podziemne wyrobiska kopalni Hotavlje, uruchomionej w 1993 roku, w których wydobywa się wapień, wydrążone zostały w obrębie istniejącego kamieniołomu (rys. 5 i 6).

W kamieniołomie Hotavlje I wydobywane są trzy odmiany wapieni krystalicznych: czerwony, jasnoszary i ciemnoszary (rys. 5, 7) nazywane Hotaveljčan. Czerwonawe zabarwienie związane jest z domieszkami związków żelaza. Makroskopowo wapień te wykazują strukturę sparytową, a teksturę zbitą, miejscami bezładną, w niektórych obszarach kierunkową, związaną z równoległym, bądź falistym ułożeniem warstewek, zawierających domieszki minerałów niewęglanowych (miki, chloryty, tlenki i wodorotlenki żelaza oraz piryt) (Kortnik 2007). W składzie mineralnym dominuje kalcyt, lecz obecne są również skupienia kryształów dolomitu o rozmiarach dochodzących do 3 mm (rys. 7). Skład mineralny oraz cechy strukturalno-teksturalne wpływają na ich wysokie walory dekoracyjne.

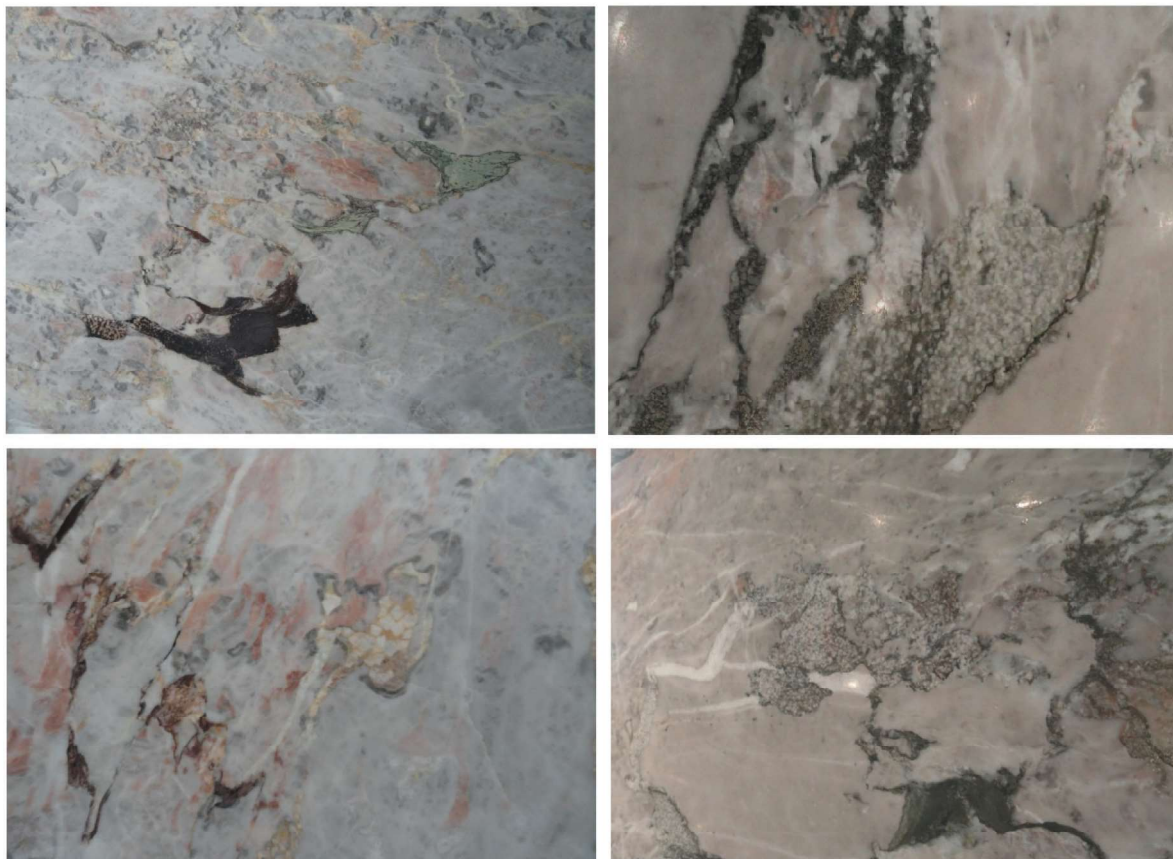
Eksploatację wapieni w złożu Hotavlje I prowadzi się systemem filarowo-komorowym, przy zastosowaniu kolumnowej, łańcuchowej maszyny urabiającej Fantini G.70 o mocy 52,2 kW (rys. 8, 9 i 10). Maszyna ta zostaje zastabilizowana w wyrobisku za pomocą kolumn rozpartych pomiędzy stropem a spągim, a następnie może wycinać bloki skalne o zadanej wielkości. Ograniczenie wielkości uzyskiwanych bloków stanowi jedynie długość prowadnicy łańcucha, która wynosi



Rys. 5. Kamieniołom Hotavlje I. Wapień zwane Hotaveljčan (Kortnik 2015, 2016)
Fig. 5. The Hotavlje I quarry. Limestone called Hotaveljčan (Kortnik 2015, 2016)



Rys. 6. Wyrobiska kopalni Hotavlje I (foto. Stanienda-Pilecki)
Fig. 6. Excavations in the Hotavlje I quarry (photo. Stanienda-Pilecki)



Rys. 7. Przykłady wapieni złoża Hotavlje I (foto. Stanienda-Pilecki, Nowak)

Fig. 7. Examples of limestone in Hotavlje I deposit (photo. Stanienda-Pilecki, Nowak)

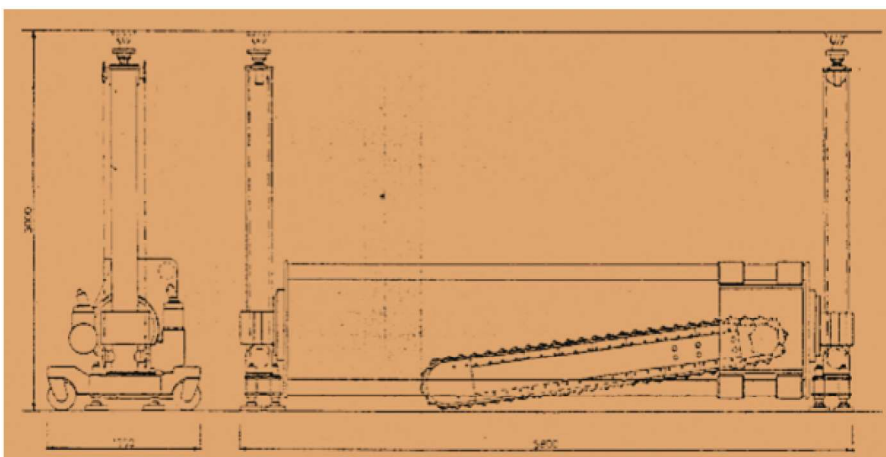


Rys. 8. Kolumnowa, łańcuchowa maszyna Fantini G.70 w wyrobisku kopalni Hotavlje I (Kortnik, Markoli 2015)

Fig. 8. Column-driven chainsaw machine Fantini G.70 in the excavation of the Hotavlje I mine (Kortnik, Markoli 2015)

Rys. 9. Schemat kolumnowej, łańcuchowej maszyny Fantini G.70 (Fantini Technical Paper 2002)

Fig. 9. Draft of column-driven chainsaw machine Fantini G.70 (Fantini Technical Paper 2002)



2,9 m. Prowadnica łańcucha może pracować maksymalnie na wysokości 4,5 metra od spągu, zarówno w pozycji pionowej jak i poziomej, co pozwala na odpowiednie formatowanie bloków. Zastabilizowanie maszyny zapewnia uzyskanie odpowiedniego nacisku elementów urabiających łańcucha do skały. W czasie wycinania bloków łańcuch polewany jest wodą, w celu ograniczenia pylenia i zapewnienia chłodzenia elementów urabiających. Szybkość cięcia skały przy wykorzystaniu łańcuchowej maszyny urabiającej Fantini G.70 dochodzi do 7 cm na minutę. (Kos, Kortnik 2012)

Kopalnia Sežana

Kopalnia Sežana obejmuje w sumie cztery wyrobiska: uruchomiony w 2002 roku, kamieniołom Lipica II oraz kamieniołom Lipica I, w którym wydobywie rozpoczęto w roku



Rys. 10. Fragment łańcucha maszyny Fantini G.70 (Kortnik, Markoli 2015)

Fig. 10. Fragment of the chain of the Fantini G.70 machine (Kortnik, Markoli 2015)

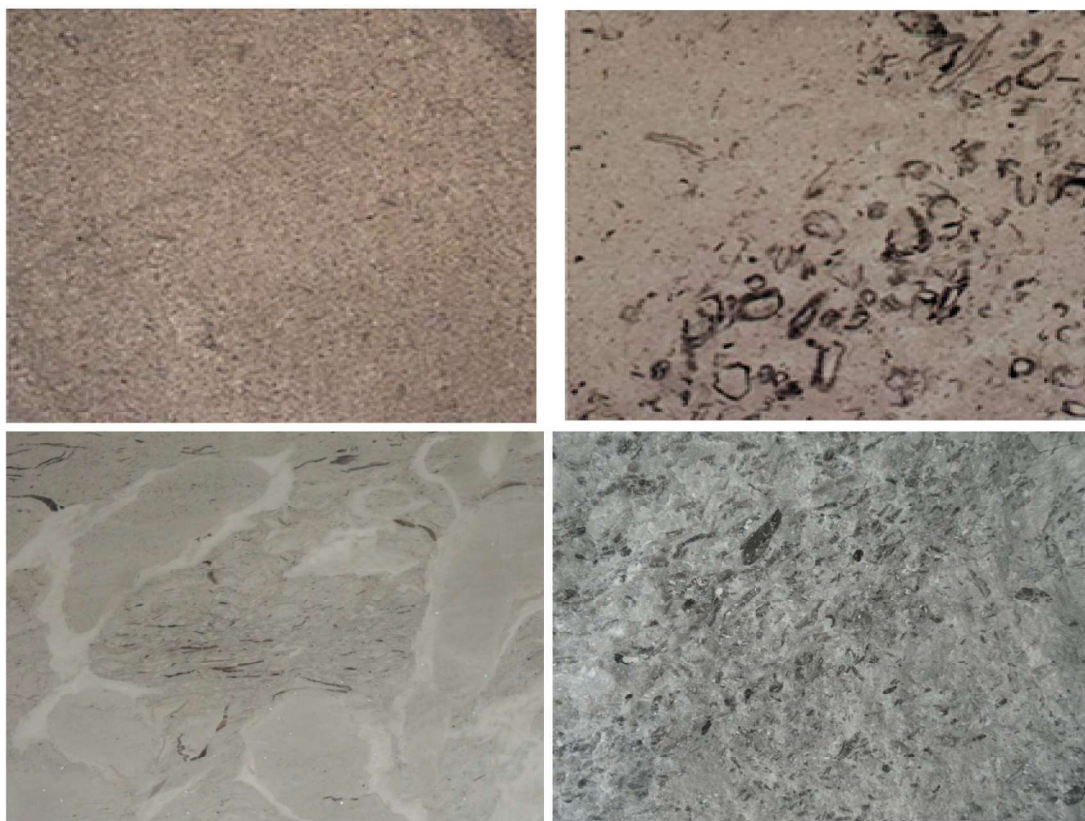
2008, a także kamieniołomy Doline i Povir. We wszystkich tych kamieniołomach prowadzi się eksploatację wapieni na kamień bloczny, wykorzystując system filarowo-komorowy. W kamieniołomie Lipica II pozyskuje się dwa rodzaje wapieni krystalicznych: Lipica Unito i Lipica Fiorito, a w kamieniołomie Doline wapień krystaliczny Repen. Wapienie te posiadają barwę głównie szarą, w różnych odcieniach, niektóre różową spowodowaną obecnością domieszek związków żelaza. Wykazują one makroskopowo strukturę sparytową, miejscami mikrytową (rys. 11), a teksturę zbitą, miejscami bezładną, w niektórych miejscach kierunkową, związaną

z równoległym, bądź falistym ułożeniem warstewek, zawierających domieszki ciemnych minerałów niewęglanowych. Czasami występują w nich szczątki organizmów morskich, co nadaje im charakterystyczny „rysunek”, podnosząc ich walory dekoracyjne (rys. 11).

Kamieniołom Lipica II

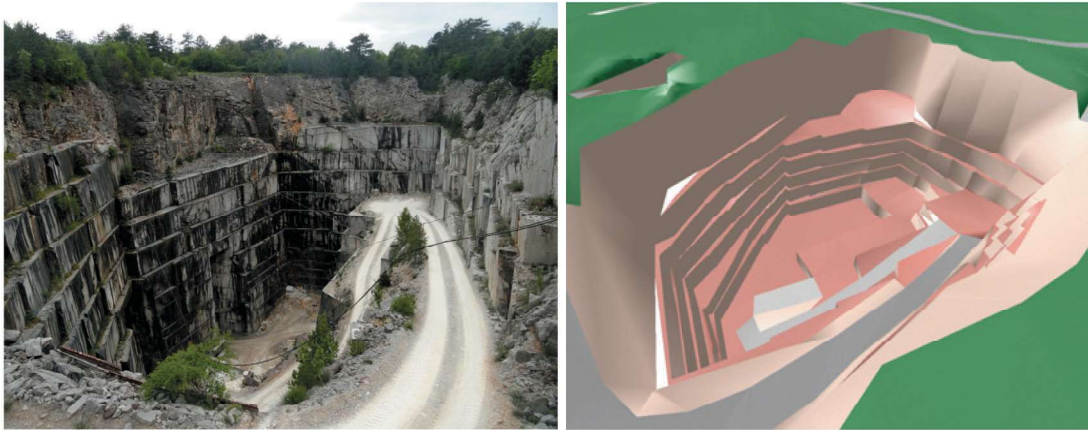
Ze względów technologicznych oraz stopnia zaawansowania eksploatacji złoża najciekawszym obiektem jest Lipica II. Jest to największy kamieniołom kopalni Sežana, charakteryzujący się wysokimi, praktycznie pionowymi ścianami (rys. 12). Z uwagi na dużą głębokość kamieniołomu oraz nachylenie ścian dalsza eksploatacja metodami odkrywkowymi była bardzo trudna technicznie, a co się z tym wiąże – kosztowna. Należałoby powiększyć obszar kamieniołomu i zdjąć na tym obszarze znacznej miąższości nadkład zwietrzliny oraz skał o słabych parametrach mechanicznych. Poza dużymi kosztami, wystąpiłyby znaczące zmiany w krajobrazie, a kamieniołom znajduje się w pobliżu obszarów chronionych, zatem szanse na uzyskanie zgody na takie działania były niewielkie. Między innymi z tego powodu zdecydowano się na przystąpienie do eksploatacji podziemnej.

Trwająca od 2002 roku podziemna eksploatacja wapieni w kamieniołomie Lipica II, prowadzona, podobnie jak w złożu Hotavlje I, systemem filarowo-komorowym zaowocowała powstaniem znacznych rozmiarów wyrobisk. W niektórych częściach kopalni eksploatacja kolejnych poziomów doprowadziła do powstania komór o wysokości przekraczającej 25 metrów (rys. 13). Jednocześnie coraz wyższe stają się filary ochronne. Projektowanie, wykonanie i monitoring filarów ochronnych to jedno z najważniejszych zagadnień w podziemnej eksploatacji kamieni blocznych. Zaprojektowanie



Rys. 11. Przykłady wapieni złoża Sežana – Lipica Unito (u góry z lewej) Lipica Fiorito (u góry z prawej) oraz Repen (na dole) (foto. Stanienda-Pilecki)

Fig. 11. Examples of limestone in Sežana–Lipica II deposit (photo. Stanienda-Pilecki, Nowak)



Rys. 12. Kamieniołom Seżana, Lipica II (foto. Stanienda-Pilecki) oraz schemat (Kortnik)
 Fig. 12. The Seżana, Lipica II quarry (photo. Stanienda-Pilecki) and draft (Kortnik)

filarów zbyt małych może zagrażać bezpieczeństwu, zaś zbyt wielkie będą powodowały niepotrzebne straty w złożu. Z tych powodów, prowadząc eksploatację metodą podziemną, ważne jest dokładne zbadanie parametrów skały, a także dokładne rozpoznanie złoża, zwłaszcza jego jednorodności i zaburzeń (obecność uskoków, pustek, w tym jaskiń itp.).

4. Zalety i wady podziemnej eksploatacji kamieni blocznych

Podziemna eksploatacja kamieni blocznych posiada zarówno zalety, jak i wady. Można je analizować z uwagi na różne czynniki, między innymi: charakterystykę środowiska masywu skalnego, czynniki techniczne i operacyjne, czynniki ekonomiczne i środowiskowe (Galos, Guzik 2013).

Zaletami, z uwagi na charakterystykę środowiska masywu skalnego, są m.in.:

- możliwość wydobywania surowca z wybranych partii złóż, które wykazują najkorzystniejsze parametry jakościowe,
- możliwość prowadzenia podziemnej eksploatacji, w

przypadku, gdy nie istnieje możliwość wydobywania metodą odkrywkową,

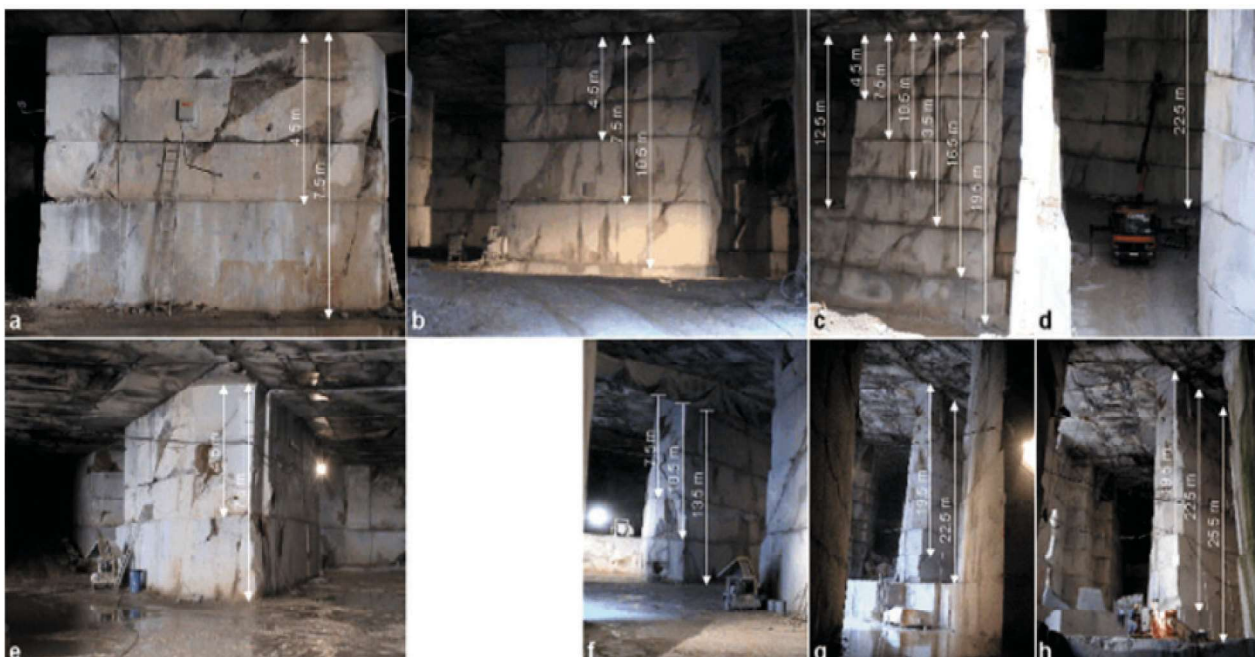
- stwierdzony wielokrotny wzrost pozyskania bloków z partii złóż, położonych na większych głębokościach. Wadami, z uwagi na charakterystykę górotworu są:
- konieczność wykonania bardzo dokładnego rozpoznania geologicznego oraz geotechnicznego,
- trudności w dokonaniu właściwej charakterystyki złoża, m.in. określenia nieciągłości i innych zaburzeń, a także identyfikacja obszarów złoża o obniżonej zwięzłości skały,
- możliwe komplikacje w czasie eksploatacji (pojawienie się nierozpoznanych uskoków, pustek krasowych itp.).

Ze względu na czynniki techniczne i operacyjne, zaletami eksploatacji podziemnej surowców skalnych są:

- brak problemów ze stabilnością wysokich i stromych ścian w kamieniołomach,
- możliwości prowadzenia wydobywania kopaliny przy niesprzyjających warunkach pogodowych.

Za wady w tej grupie czynników uznać należy:

- konieczność szczegółowych studiów i projektowania udostępnienia złoża,



Rys. 13. Pogłębianie (od 4,5 m (a) do 25,5 m (h)) filarów ochronnych w kopalni Lipica II (Kortnik 2015)
 Fig. 13. Deepening (from 4,5 m (a) to 25,5 m (h)) of high safety pillars in Lipica II mine (Kortnik 2015)

- konieczność projektowania i monitoringu stabilności komór i filarów,
- konieczność prowadzenia prac zgodnie z rygorami i przepisami górnictwem dotyczącymi eksploatacji podziemnej,
- możliwość wystąpienia komplikacji z transportem bloków i materiałów w podziemnych wyrobiskach,
- w przypadku dużych obiektów konieczność wentylacji wyrobisk.

Każda eksploatacja, w tym podziemna eksploatacja kamieni blocznych, musi mieć uzasadnienie ekonomiczne. W tym zakresie za zalety uznać należy:

- brak konieczności zdejmowania nadkładu,
- niewielki (w porównaniu do eksploatacji odkrywkowej) koszt zakupu gruntów,
- niewielka ilość odpadów wytwarzanych w czasie eksploatacji i możliwość ich lokowania w pustkach poeksploatacyjnych,
- wyeliminowanie kosztów rekultywacji koniecznych w przypadku eksploatacji odkrywkowej,
- brak lub niewielki wpływ na gleby i zagospodarowanie terenu ponad wyrobiskami podziemnymi,
- potencjalna możliwość wykorzystania komór poeksploatacyjnych do innych celów.

Za wady o charakterze ekonomicznym uznać należy:

- utrata części zasobów w filarach,
- wysoki (w porównaniu do eksploatacji odkrywkowej) koszt szczegółowego rozpoznania złoża i projektowania eksploatacji,
- wyższe nakłady inwestycyjne na etapie udostępniania złoża oraz niższa wydajność w początkowym okresie eksploatacji,
- koszty dodatkowych zabiegów zabezpieczających (obudowa kotwiowa stropów, monitoring naprężeń w filarach, wentylacja itp.).

Także aspekty związane z ochroną środowiska przemawiają za eksploatacją podziemną. Do zalet w tym zakresie należą:

- ograniczenie wpływu na krajobraz,
 - znaczne zredukowanie odpadów składowanych na zwaliskach,
 - mniejsza strefa oddziaływania hałasu,
 - niższa emisja pyłów,
 - możliwość eksploatacji w obszarach chronionych.
- Do wad zaliczyć należy:
- w długiej perspektywie czasowej możliwość wystąpienia problemów ze stabilnością komór, a co się z tym wiąże problemy z deformacjami na powierzchni,
 - wpływ eksploatacji na wody podziemne (Galos, Guzik 2013; Kortnik 2016).

W omawianych kopalniach Sežana i Hotavlje główną przyczyną podjęcia decyzji o przystąpieniu do rozpoczęcia eksploatacji podziemnej były względy ochrony środowiska naturalnego, zwłaszcza ochrona krajobrazu. Istotne były także aspekty ekonomiczne, w tym bardzo dobre parametry mechaniczne i walory dekoracyjne eksploatowanego surowca oraz możliwość uniknięcia konieczności zdejmowania nadkładu.

W Lipicy, z uwagi na zlokalizowany w pobliżu obszar chronionego krajobrazu, nie było możliwości uzyskania zgody na poszerzenie obszaru kamieniołomu i dalszą eksploatację odkrywkową. Dlatego jedyną alternatywą było podjęcie eksploatacji podziemnej.

Nie bez znaczenia była też kwestia poprawy wskaźnika wykorzystania złoża. Średni wskaźnik wykorzystania złóż kamieni blocznych w Słowenii waha się od 5 do 15%, co jest spowodowane skomplikowaną tektoniką eksploatowanych złóż. Wskaźniki powyżej 15% występują tylko w kamieniołomie granodiorytu Cezlak I oraz w opisanych w artykule

kamieniołomach prowadzących podziemną eksploatację bloków skalnych.

Podsumowanie

System podziemnej eksploatacji surowców skalnych stosowany jest z powodzeniem w wielu krajach Europy. Posiada on zarówno zalety, jak i wady. Decydując się na wybór tej metody do pozyskiwania kamieni blocznych, należy dokonać analizy różnych czynników: geologicznych, technologicznych, ekologicznych i ekonomicznych, które pozwolą na określenie możliwości podziemnej eksploatacji danego surowca.

Podziemne wydobywanie wapieni w omawianych kopalniach Hotavlje i Sežana prowadzi się systemem filarowo-komorowym. Ten system eksploatacji stosuje się przede wszystkim z uwagi na sprzyjające warunki środowiska, brak konieczności zdejmowania skał nadkładu, kształt złoża, rodzaj skał, możliwość utrzymania przez dłuższy okres stabilności komór i filarów, niewielką ilość generowanych odpadów, ograniczenie poziomu oraz rozprzestrzeniania się zapylenia i hałasu, powstające podczas eksploatacji oraz możliwość prowadzenia selektywnej eksploatacji. Dodatkową zaletą podziemnego wydobywania jest wysoki wskaźnik pozyskiwania bloków. Stosowanie podziemnego wydobywania wiąże się jednak z koniecznością systematycznego obliczania oraz monitorowania stanu naprężeń w górotworze, głównie w filarach, analizą stateczności filarów i komór, oraz bieżącą oceną właściwości geomechanicznych skał.

Z uwagi na komplikacje natury technologicznej oraz wyższe niektóre koszty, podziemna eksploatacja kamieni blocznych powinna być stosowana w przypadkach, gdy aspekty technologiczne, złożowe lub wymogi ochrony środowiska nie pozwalają na eksploatację odkrywkową. Jednocześnie należy przeanalizować, czy walory możliwego do pozyskania surowca są na tyle wysokie, że eksploatacja ta będzie ekonomicznie opłacalna.

Literatura

- DEL GRECO O., FORNARO M., OGGERI C. 1999 - Underground dimension stone quarrying: rock mass structure and stability. ISMST Int. Symp. On Mining Sciences and Technology, Beijing 29–31. Fantini Technical Paper, 2002, 4.
- 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.
- GALOS K., GUZIK K. 2013 - Eksploatacja podziemna kamieni blocznych – podstawowe aspekty geologiczne i górnictwa. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energii Polskiej Akademii Nauk, nr 84, 24–36.
- GALOS K., GUZIK K., KOT-NIEWIADOMSKA A., LEWICKA E., STACHOWIAK A. 2014 - Eksploatacja podziemna kamieni blocznych w Europie. Mining Science – Mineral Aggregates, Vol. 21(1), 49–64. Geological Survey of Slovenia (Badania Geologiczne Słowenii) - Mapa geologiczna z miejscami oznaczenia okresowych koncentracji radu.
- JURKOVŠEK B., BIOLCHI S., FURLANI S., KOLAR-JURKOVŠEK T., ZINI L., JEŽ J., TUNIS G., BAVEC M., CUCCHI F. 2016 - Geology of classical Karst region (SW Slovenia-NE Italy). JOURNAL OF MAPS, Vol. 12, No S1, 352-362.
- KORTNIK J. 2007 - Natural stone underground mining in Slovenia stability assessment low with-to-height ratios pillars. 8th International Conference "Waste Management, Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development (ICWMEGSD'07 - GzO'07)" Ljubljana, SLOVENIA, 28-30 August, 2007.

- KORTNIK J. 2015 - Stability assessment of the high safety pillars in Slovenian natural stone mines. Arch. Min. Sci., Vol. 60, No 1, 403–417.
- KORTNIK J. 2016 - Monitoring of high safety pillars stability in underground Natural/Dimension stone quarries in Slovenia. PODEKS-POVEKS, Strumica, 11-13 Listopad 2016.
- KOS A., KORTNIK J. 2012 - Underground exploitation blocks of natural stone in the company of Marmor, Sežana d.d., Underground Mining Engineering, Vol. 21, p. 111-120.
- KRAMAR S., MIRTIC B., MLADENOVIC A., ROZIC B., BEDJANIC M., KORTNIK J., ŠMUC A. 2014 - Limestone types used from the classic Karst region in Slovenia. Geophysical Research Abstract. Vol. 16, EGU2014-9739, EGU General Assembly.
- KRAMAR S., TRAJANOWAM., DOLENEC M., GUTMAN M., BEDJANIC M., MLADENOVIC A. 2016 - Pohorje Granodiorite – one of the most significant Slovenian natural stones. Geoscience Canada, Vol. 43, 79-88.
- POPITA., VAUPOTIC J. 2002 - The influence of geology on elevated radon concentrations in Slovenian schools and kindergartens. Geologija, 45/2, 499-504.

Artykuł wpłynął do redakcji – sierpień 2017

Artykuł akceptowano do druku 20.02.2018

