

kamienie bloczne, eksploatacja podziemna, opłacalność

Krzysztof GALOS, Katarzyna GUZIK¹
Andrzej STACHOWIAK²

WSTĘPNA OCENA OPŁACALNOŚCI PODZIEMNEJ EKSPLOATACJI KAMIENI BLOCZNYCH W POLSCE

Podziemna eksploatacja kamieni blocznych jest rozpowszechniona w wielu krajach europejskich. Jej popularność będzie niewątpliwie rosła, przede wszystkim w związku z uwarunkowaniami środowiskowymi, przestrzennymi i ekonomicznymi. Najczęstszą przyczyną uruchamiania eksploatacji podziemnej tych skał jest rosnące zapotrzebowanie na niektóre materiały kamienne, których wydobycie metodą odkrywkową jest utrudnione lub niemożliwe. Istotnym aspektem eksploatacji podziemnej musi być gwarantowana długoterminowa stabilność geomechaniczna górotworu. W artykule przedstawiono ocenę możliwości i celowości podziemnej eksploatacji 19 złóż kamieni blocznych w Sudetach i Górach Świętokrzyskich. W wyniku przeprowadzonej wielokryterialnej oceny, uwzględniającej czynniki geologiczno-zasobowe, geologiczno-górniczne, środowiskowe, jakościowe i ekonomiczne, do szczegółowych analiz wytypowano cztery złoża: wapieni jurajskich Wola Morawicka, wapieni dewońskich Szewce, zlepieńców permskich Zygmontówka w Górach Świętokrzyskich, oraz piaskowca Radków w Górach Stołowych na Dolnym Śląsku. W każdym z czterech analizowanych przypadków ustalono podstawowe założenia rynkowe, produkcyjne, techniczne udostępniania i eksploatacji złoża, szacunkowe wielkości nakładów inwestycyjnych i kosztów operacyjnych. Niestety, przy przyjętych założeniach wartość wszystkich analizowanych projektów, określona z zastosowaniem podejścia dochodowego metodą zdyskontowanych przepływów pieniężnych, była zdecydowanie ujemna. Największa szansa podjęcia takiej eksploatacji istnieje w przypadku złoża piaskowca Radków i złoża wapienia Wola Morawicka, ale pod warunkiem wzrostu cen bloków o min. 20% i/lub znaczącego wzrostu wielkości zakładanej sprzedaży.

¹ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków,
k.galos@min-pan.krakow.pl, guzik@min-pan.krakow.pl

² Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Oddz. Dolnośląski, Wrocław,
andrzej.stachowiak@pig.gov.pl

1. WSTĘP

Skały bloczne pozyskiwane są z reguły w wyrobiskach odkrywkowych. W określonych przypadkach istnieją jednak przesłanki przemawiające za uruchomieniem ich eksploatacji podziemnej. Należą do nich przede wszystkim uwarunkowania środowiskowe, np. ochrona krajobrazu oraz kwestia dostępności terenu pod eksploatację odkrywkową złóż. Istotne znaczenie mają także czynniki techniczno-ekonomiczne, takie jak wysokie koszty zdejmowania i składowania nadkładu oraz koszty rekultywacji, znaczna głębokość wyrobisk odkrywkowych, niestabilność skarp i sezonowość produkcji (Kortnik 2009). Uwarunkowania te powodują, że liczba podziemnych kopalń kamieni blocznych rośnie, w szczególności w Europie. Pierwsze podziemne kamieniołomy w Europie istniały już około 2500 lat temu na greckiej wyspie Paros. Liczne wyrobiska świadczą o prowadzeniu tego rodzaju eksploatacji w średniowieczu m.in. w Grecji, Chorwacji, Włoch, Francji i Wielkiej Brytanii. Na większą skalę metoda ta zaczęła jednak być stosowana w Europie dopiero w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat (Coli i in. 2003; Galos i in. 2014). Coraz częstsze uruchamianie wyrobisk podziemnych było możliwe dzięki rozwojowi nowych technik urabiania skał, głównie metod mechanicznych, jak odspajanie diamentową piłą linową i wrębiarkami łańcuchowymi oraz cięcie wysokociśnieniową strugą wody. Z drugiej strony rozwój podziemnej eksploatacji w krajach europejskich dotyczy przede wszystkim kamieni architektonicznych o długich tradycjach stosowania na rynku danego kraju, a czasami również na rynku międzynarodowym. Obecnie jej przedmiotem są niemal wyłącznie złoża skał osadowych (wapienie, rzadziej piaskowce) oraz niektórych metamorficznych (głównie marmury), w pojedynczych przypadkach skał magmowych. Wynika to zarówno z braku uzasadnionej ekonomicznie technologii urabiania twardszych skał magmowych i metamorficznych metodami mechanicznymi, jak i z faktu większej dostępności bloków z takich skał w kopalniach odkrywkowych w wielu krajach świata. Szczegółową charakterystykę podziemnej eksploatacji kamieni blocznych w Europie podano w pracy (Galos i in. 2014).

Wobec coraz częstszej praktyki podziemnej eksploatacji kamieni blocznych w Europie oraz rosnących problemów w dostępności niektórych skał blocznych ze źródeł krajowych, w latach 2013–2015 Państwowy Instytut Geologiczny – PIB oraz Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN wspólnie realizowali wspólnie projekt pt. *Uwarunkowania geologiczno-górnictwo-środowiskowe możliwości podziemnej eksploatacji wybranych kopalń skalnych w Sudetach i Górach Świętokrzyskich*. Niniejsza praca jest próbą podsumowania wyników tego projektu, w szczególności pod kątem oceny celowości ewentualnej podziemnej eksploatacji kamieni blocznych w Polsce.

2. UWARUNKOWANIA EKSPLOATACJI PODZIEMNEJ SKAŁ BLOCZNYCH

Wśród najważniejszych uwarunkowań potencjalnej podziemnej eksploatacji skał blocznych należy wymienić uwarunkowania: geologiczno-litologiczne, tektoniczne i inne, górnicze-techniczne, operacyjne, środowiskowe i ekonomiczne.

W przypadku planowanej eksploatacji podziemnej skał blocznych należą wziąć pod uwagę szeroki zestaw czynników geologicznych, spośród których ważniejszymi są:

- znajomość podstawowych litotypów skał oraz ich zmienności w złożu,
- identyfikacja przerostów skał płonnych, a w przypadku skał węglanowych także wiedza o obecności i zasięgu zjawisk krasowych,
- znajomość występujących nieciągłości, zwłaszcza uskoków, ich stref, znaczenia i zasięgu,
- wiedza o naturalnych płaszczyznach podzielnosci i innych czynników wpływających na bloczność,
- parametry fizykomechaniczne kopaliny,
- rodzaj nadkładu oraz zmienność jego grubości,
- warunki hydrogeologiczne w złożu, zwłaszcza położenie pierwszego stałego poziomu wodonośnego.

Równie ważne są niektóre czynniki górnicze, w szczególności te, które mają związek z gwarancją długoterminowej stabilności geomechanicznej przyszłych wyrobisk podziemnych. Wymagana jest zatem szczegółowa znajomość jakości górotworu, ustalona zgodnie z odpowiednimi klasyfikacjami geotechnicznymi, np. wskaźniki RMR wg Bieniawskiego, GSI, RQD. Co więcej, w przypadku zalegania w nadkładzie skał o słabszych parametrach geomechanicznych konieczna bywa potrzeba zapewnienia w stropie projektowanych wyrobisk podziemnych tzw. półki zabezpieczającej o odpowiedniej miąższości i wytrzymałości. Bardzo istotnym czynnikiem są parametry zalegania warstw, gdyż w większości znanych przypadków podziemnej eksploatacji skał blocznych warstwy zalegają poziomo lub są co najwyżej słabo nachylone. Dopiero biorąc pod uwagę całość uwarunkowań geologiczno-górniczych, na etapie projektowania kopalni podziemnej możliwe jest ustalenie odpowiedniego systemu eksploatacji, planu i kierunków tej eksploatacji oraz rozmiarów wyrobisk udostępniających i eksploatacyjnych (Guzik i in. 2015).

Niebagatelne znaczenie w przypadku rozważania podziemnej eksploatacji skał blocznych mają uwarunkowania środowiskowe. Niewątpliwie ważną zaletą metody podziemnej jest minimalny jej wpływ na krajobraz, gdyż na powierzchni terenu widoczne są tylko wyrobiska udostępniające, np. sztolnie. Metoda umożliwia równoczesne zagospodarowanie powierzchni terenu nad złożem w inny sposób, czego przykładem są pola krykietowe nad kopalnią górnourajskich wapieni na angielskiej wyspie

Portland. Warto też zauważyć czynnik istotny szczególnie w krajach Europy i Ameryki Płn., jakim jest rosnąca wrażliwość społeczna na kwestie związane z ochroną środowiska, prowadząca niejednokrotnie do działań mających na celu ograniczenie dostępności terenów pod eksploatację odkrywkową. Nie dziwi więc, że podziemna metoda jest preferowana ze względów środowiskowych, a po spełnieniu określonych kryteriów może być stosowana nawet na terenach chronionych środowiskowo, czego przykładem jest podziemna kopalnia włoskich marmurów Acqua Bianca w Parku Narodowym Stelvio: położona wysoko w górach, z transportem urobku kolejką usytuowaną na stromym, górskim zboczu (Galos i in. 2014).

Poza wymienionymi uwarunkowaniami geologiczno-górnictwymi i środowiskowymi, kluczowe znaczenie odgrywają uwarunkowania ekonomiczne, a w szczególności konieczność zapewnienia opłacalności ekonomicznej; jest ona wypadkową wielu czynników, m.in.:

- planowane rozmiary wyrobisk eksploatacyjnych,
- przewidywany uzysk bloków (zwykle 15–80%),
- stopień wykorzystania zasobów złoża (zwykle 60–95%),
- stosowana technologia eksploatacji,
- koszty udostępnienia złoża,
- konieczność stosowania regularnego lub punktowego kotwienia,
- konieczność długoterminowego monitorowania stabilności wyrobisk, również po zakończeniu funkcjonowania kopalni,
- wyeliminowanie kosztów usuwania i składowania nadkładu,
- możliwość późniejszego zagospodarowania wyrobisk poeksploatacyjnych do innych celów (Guzik 2015).

Wszystkie wymienione aspekty były uwzględnione i miały wpływ na przyjęte założenia techniczne i szacunki ekonomicznej opłacalności podziemnej eksploatacji, przeprowadzone dla kilku najbardziej perspektywicznych pod tym względem złóż, co zostanie zaprezentowane w dalszej części pracy.

3. WYBÓR ZŁÓŻ KAMIENI BLOCZNYCH DO SZCZEGÓŁOWEJ ANALIZY

Projekt dotyczył złóż kopalni skalnych w Sudetach i Górach Świętokrzyskich. Nie brano zatem pod uwagę złóż kamieni blocznych, potencjalnie możliwych do zagospodarowania metodą podziemną, położonych w innych regionach Polski (np. w regionie śląsko-krakowskim). Do analiz wybrano 19 złóż kamieni blocznych i dekoracyjnych, w tym 10 złóż w Górach Świętokrzyskich i 9 złóż w Sudetach; było to 7 złóż piaskowców, 6 złóż wapieni, 2 złoża marmuru oraz pojedyncze złoża zlepieńca węglanowego, kalcytu żyłowego, granitu i sjenitu (tab. 1). Przy ich wyborze kierowano się istnieniem przynajmniej jednego z czynników: duża miąższość nadkładu nad intere-

sującymi grubymi ławicami kamienia blocznego, ograniczenia środowiskowe i/lub przestrzenne związane z prawną ochroną przyrody czy sposobem użytkowania terenu nad złożem, uniemożliwiające lub utrudniające eksploatację odkrywkową złoża (Guzik & Kot-Niewiadomska 2015), a także obecny brak na rynku krajowym danej odmiany kamienia blocznego o wieloletnich tradycjach jego stosowania.

Tab. 1. Przedmiot analizy – wybrane złoża kamieni blocznych w Górach Świętokrzyskich i Sudetach
Tab. 1. Subject of analysis – selected dimension stone deposits in the Świętokrzyskie Mtns and the Sudetes

Góry Świętokrzyskie	Sudety
Bolechowice (wapień)	Bieganów (piaskowiec)
Gołuchów (wapień)	Nowa Wieś Grodziska II (piaskowiec)
Morawica III (wapień)	Radków (piaskowiec)
Szewce (wapień)	Słupiec-Kościelec (piaskowiec)
Wola Morawicka (wapień)	Szczytna-Zamek (piaskowiec)
Zawada (wapień)	Biała i Zielona Marianna (marmur)
Skrzelezyce (kalcyt żyłowy)	Sławniowice (marmur)
Zygmuntówka (zlepieńiec węglanowy)	Michałowice (granit)
Kopulak (piaskowiec)	Przedborowa (sjenit)
Tumlin-Gród (piaskowiec)	

Biorąc pod uwagę przytoczone uwarunkowania, zaproponowano pięć grup kryteriów, które jako całość posłużyły do wytypowania, spośród analizowanych 19 złóż, obiektów najbardziej perspektywicznych do potencjalnej eksploatacji podziemnej. Były to kryteria geologiczno-zasobowe, geologiczno-górnice, jakościowe, środowiskowe i ekonomiczne. W obrębie każdej z tych grup zaproponowano parametry szczegółowe, w stosunku do których poszczególnym złożom przypisywano odpowiednią liczbę punktów (tab. 2). Maksymalna możliwa do uzyskania liczba punktów wynosiła 28.

Przeprowadzona wielokryterialna ocena analizowanych 19 złóż kamieni blocznych wykazała, że najwyższą ocenę pod kątem potencjalnej możliwości i celowości zastosowania eksploatacji podziemnej uzyskały trzy złoża skał węglanowych w Górach Świętokrzyskich: złożo permskich zlepieńców węglanowych Zygmuntówka, złożo dewońskich wapieni Szewce i złożo jurajskich wapieni Wola Morawicka oraz dolnośląskie złożo kredowych piaskowców Radków w Górach Stołowych (tab. 3). Dla fragmentów tych złóż, analizowanych pod kątem możliwości uruchomienia przyszłej podziemnej kopalni, dokonano terenowych pomiarów bloczności (w przypadku ich dostępności uwzględniano też dane z otworów wiertniczych). Na ich podstawie można stwierdzić, że najwyższą bloczność geologiczną stwierdzono w złożu Wola Morawicka – ok. 67%, wysoką w złożu Zygmuntówka – ok. 52% i Radków – ok. 45%, najniższą w złożu Szewce – 33%.

Tab. 2. Kryteria oceny złóż pod kątem możliwości i celowości zastosowania eksploatacji podziemnej
 Tab. 2. Criteria of deposits assessment in terms of possibilities and purposefulness of underground extraction

Parametr	Wartość	Punktacja
Kryteria geologiczno-zasobowe		
dostępność kopaliny ze źródeł krajowych (wielkość wydobycia)	< 10 tys. t/r. lub brak wydobycia	3
	10–100 tys. t/r.	2
	>100 tys. t	1
zasoby udokumentowane	<100 mln t	3
	100–1000 mln t	2
	>1000 mln t	1
Tradycja zastosowania		3–1
Kryteria geologiczno-górnictwa		
zawodnienie	złoże suche	1
	złoże zawodnione	0
miąższość nadkładu	>10 m	3
	5–10 m	2
	<5 m	1
kąt upadu warstw	do 5° (10°)	3
	5° (10°) – 30°	2
	30°–90°	1
wytrzymałość na ściskanie	>50 MPa	3
	<50 MPa	1
Kryteria jakościowe		
błocność	wysoka	3
	średnia	2
	niska	1
walory dekoracyjne	wysokie	2
	przeciętne	1
Kryteria środowiskowe		
park narodowy, otulina parku narodowego, rezerwat		3
park krajobrazowy, Natura 2000		2
inne (obszar chronionego krajobrazu, lasy ochronne)		1
brak ograniczeń środowiskowych		0
Kryteria ekonomiczne		
dostępność opłacalnej ekonomicznie technologii urabiania	dostępna	1
	brak	0

Tab. 3. Wyniki wielokryterialnej oceny analizowanych złóż kamieni blocznych
 Tab. 3. Results of multicriteria assessment of analyzed dimension stone deposits

Złoże	Ocena (punkty)	Złoże	Ocena (punkty)
Zygmuntówka (zlepieniec węglan.)	27	Kopulak (piaskowiec)	20
Radków (piaskowiec)	25	Bolechowice (wapień)	19
Szewce (wapień)	24	Zawada (wapień)	19
Wola Morawicka (wapień)	24	Bieganów (piaskowiec)	19
Biała i Zielona Marianna (marmur)	21	Słupiec-Kościelec (piaskowiec)	19
Sławniowice (marmur)	21	Gołuchów (wapień)	18
Michałowice (granit)	21	Tumlin-Gród (piaskowiec)	18
Szczytna-Zamek (piaskowiec)	21	Przedborowa (sjenit)	17
Morawica III (wapień)	20	Nowa Wieś Grodziska (piaskowiec)	16
Skrzelczyce (kalcyt żyłowy)	20		

4. OSZACOWANIE EKONOMICZNEJ OPŁACALNOŚCI

Podstawą szacunku ekonomicznej opłacalności podziemnej eksploatacji wybranych 4 złóż kamieni blocznych była szczegółowa analiza rynku dla każdej z odmian kamieni blocznych, obejmująca ocenę poziomu zapotrzebowania i dostępności na rynku krajowym oraz ceny możliwych do uzyskania produktów (bloki różnej wielkości, bloczki, formaki, kamień łamany). Na podstawie analizy rozdrobnienia materiału blocznego wykonano projekcję struktury produkcji w każdej z kopalń przy założeniu eksploatacji podziemnej. Roczna produkcja bloków w poszczególnych kopalniach wynosiłaby: Wola Morawicka 43% – Zygmuntówka 34% – Radków 33%, Szewce – tylko 21%. Biorąc pod uwagę te czynniki możliwe było oszacowanie wskazanego poziomu łącznego rocznego wydobycia w danej kopalni (tab. 4).

Dla każdej z proponowanych podziemnych eksploatacji wzięto pod uwagę uwarunkowania geologiczno-górnice, w tym poza blocznością, m.in. miąższość ławic, kąt upadu warstw, sieć spękań itp. Pozwoliło to na zaprojektowanie miejsc udostępniania (rys. 1) oraz sieci wyrobisk udostępniających (przekopy, upadowe, pochylnie) wraz ze wskazaniem ich wielkości, geometrii oraz kolejności prac.

Pozwoliło to na stworzenie harmonogramu planowanej eksploatacji podziemnej. W analizowanych złóżach założono udostępnienie co najwyżej dwóch pól eksploatacyjnych o wymiarach $70 \div 100 \times 40 \div 50$ m, udostępnianie jednego pola eksploatacyjnego przez okres około roku przy postępie prac ok. 2 m/dobę (tab. 5).

We wszystkich wytypowanych złóżach założono eksploatację systemem komorowo-filarowym. W złóżach Szewce, Wola Morawicka i Zygmuntówka założono wysokość furty eksploatacyjnej 3 m, szerokość komór 6 m, a wielkość filarów 4×4 m. W złożu Radków, ze względu na nieco słabsze parametry fizykomechaniczne piaskowców, założono wysokość furty 3,5 m, szerokość komór 4 m, przy identycznej wielkości filarów.

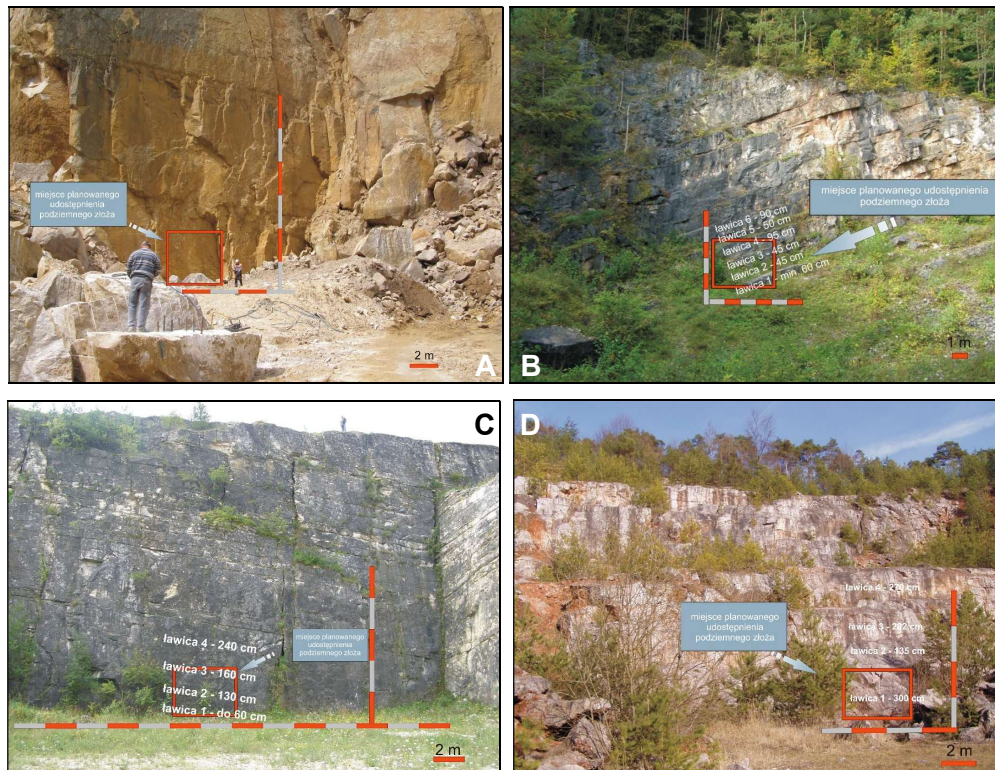
Tab. 4. Podstawowe założenia produkcyjne i rynkowe potencjalnej eksploatacji podziemnej
 Tab. 4. Basic production and market assumptions of potential underground extraction

Parametr	Radków	Szewce	Wola Morawicka	Zygmuntówka
możliwość ulokowania bloków na rynku [tys. t/r]	3–5	1,5	2–3	< 1
Założenia dotyczące cen głównych produktów [zł/m ³]				
– bloki bardzo duże >2 m ³	1600	1340	1030	1030
– bloki średnie i duże 1–2 m ³	1466	1270	980	980
– bloki małe 0,5–1 m ³	1333	1180	910	910
– bloki bardzo małe 0,25–0,5 m ³	1200	1030	790	790
– bloczki/formaki <0,25 m ³	700	850	650	650
Struktura produkcji [%]				
– bloki bardzo duże >2 m ³	19,7	1,9	11,4	11,6
– bloki średnie i duże 1–2 m ³	4,6	4,3	13,1	4,9
– bloki małe 0,5–1 m ³	5,1	6,0	10,9	10,1
– bloki bardzo małe 0,25–0,5 m ³	3,4	9,2	7,3	7,2
– bloczki/formaki <0,25 m ³	11,5	16,4	17,3	12,4
– kamień łamany	55,7	62,2	40,0	53,8
Wielkość rocznej produkcji [m ³]				
– wydobywanie łączne	1750	2120	2120	2120
– bloki >0,5 m ³	515	258	750	564
– bloczki <0,5 m ³	260	543	521	414
– kamień łamany	975	1319	849	1142

Tab. 5. Podstawowe założenia techniczne udostępnienia w przypadku potencjalnej eksploatacji podziemnej
 Tab. 5. Basic deposit development assumptions of potential underground extraction

Parametr	Radków	Szewce	Wola Morawicka	Zygmuntówka
zakres udostępnienia	rok 7–10			
	70 m × 50 m	100 m × 40 m	100 m × 50 m	70 m × 50 m
sposób udostępnienia	upadowa 10 m, 2 przekopy po 70 m, 2 pochylnie po 50 m, 2 pochylnie po 50 m, przekop 70 m	przekop 60 m, 2 pochylnie po 40 m, 2 przekopy po 100 m, 2 pochylnie po 40 m, przekop 100 m otwór wentyl. 25 m	upadowa 30 m, 2 pochylnie po 50 m, 2 przekopy po 100 m, 2 przekopy po 100 m, pochylnia 50 m otwór wentyl. 28 m	chodnik 50 m, 2 pochylnie po 70 m, 2 pochylnie po 50 m, 2 przekopy po 50 m, 2 przekopy po 50 m, pochylnia 70 m otwór wentyl. 25 m
postęp prac [m/dobę]	2	2	2	2
kubatura wyrobisk [m ³]	3500 – rok 1 2380 – rok 7	4080 – rok 1 2160 – rok 7	3960 – rok 1 3000 – rok 8	3480 – rok 1 2040 – rok 6

Urabianie skały, zarówno w trakcie prac udostępniających, jak i eksploatacyjnych, prowadzone miałyby być z użyciem piły łańcuchowej (cięcie ścian bocznych) oraz diamentowej piły linowej (cięcie z tyłu). Biorąc pod uwagę parametry skał, przyjęto szybkość urabiania określonej calizny o objętości 28 m³ łącznie przez 4 zmiany (złoża Radków) lub calizny o objętości 36 m³ łącznie przez 4,25 zmiany (złoża pozostałe).



Rys. 1. Miejsca potencjalnego udostępnienia złoża metodą eksploatacji podziemnej
 A – Radków, B – Szewce, C – Wola Morawicka, D – Zygmuntówka; fot. K. Guzik
 Fig. 1. Location of possible providing excavation for potential underground extraction
 A – Radków, B – Szewce, C – Wola Morawicka, D – Zygmuntówka; photo K. Guzik

Łączny okres planowanej eksploatacji byłby najkrótszy dla złoża Zygmuntówka – 10 lat, najdłuższy dla złoża Wola Morawicka – 14 lat, przy czym dwa początkowe lata byłyby poświęcane na udostępnienie najpierw pierwszego, potem drugiego pola eksploatacyjnego (tab. 6).

Szczegółowo określone założenia techniczne podziemnego udostępnienia i eksploatacji wskazanych złóż pozwoliły na oszacowanie rodzaju i wielkości nakładów inwestycyjnych, w tym związanych z dodatkowym rozpoznaniem geologicznym i geomechanicznym, wykonaniem wyrobisk udostępniających, zakupem niezbędnych maszyn i urządzeń oraz realizacją niezbędnej infrastruktury technicznej. Szacunkowe wielkości pozycji tych nakładów inwestycyjnych przedstawiono w tab. 7. Najniższe byłyby one dla kopalń Radków i Zygmuntówka, a najwyższe dla kopalni Szewce.

Tab. 6. Podstawowe założenia techniczne eksploatacji w przypadku potencjalnej eksploatacji podziemnej
 Tab. 6. Basic technical assumptions of potential underground extraction

Parametr	Radków	Szewce	Wola Morawicka	Zygmuntówka
system eksploatacji	komorowo-filarowy			
	wys. furty 3,5 m szer. komór 4 m filary 4×4 m	wys. furty 3 m szer. komór 6 m filary 4×4 m	wys. furty 3 m szer. komór 6 m filary 4×4 m	wys. furty 3 m szer. komór 6 m filary 4×4 m
urabianie	piła łańcuchowa (ściany poziome i pionowe), lina diamentowa (ściana tylna)			
sekwencja urabiania	28 m ³ /4 zmiany	36 m ³ /4,25 zmiany	36 m ³ /4,25 zmiany	36 m ³ /4,25 zmiany
harmonogram eksploatacji	rok 1 – udostępnienie pola I			
	rok 2–6	rok 2–6	rok 2–7	rok 2–5
	eksploatacja pola I			
	rok 7	rok 7	rok 8	rok 6
	udostępnienie pola II			
	rok 8–12	rok 8–12	rok 9–14	rok 7–10
	eksploatacja pola II			

Tab. 7. Oszacowanie nakładów inwestycyjnych w przypadku potencjalnej eksploatacji podziemnej [tys. zł]
 Tab. 7. Estimation of capital expenditures for underground extraction [t'000 PLN]

Parametr	Radków	Szewce	Wola Morawicka	Zygmuntówka
dodatkowe rozpoznanie geologiczne i geomechaniczne	200	200	200	200
wykonanie wyrobisk udostępniających	rok 1 – 1260 rok 7 – 964	rok 1 – 1568 rok 7 – 894	rok 1 – 1382 rok 8 – 1242	rok 1 – 1353 rok 8 – 845
zakup maszyn i urządzeń ¹	675			
składniki infrastruktury technicznej ²	100	705	180	240
łącznie	3199	4042	3679	3313
– w tym w pierwszym roku	2235	3148	2437	2468

¹ piła łańcuchowa, maszyna z liną diamentową, ładowarka, młoty pneumatyczne, samochód samowyładowczy
² zasilanie w energię elektryczną i wodę, kontener socjalny, drogi dojazdowe

Poza nakładami inwestycyjnymi konieczne było także oszacowanie całkowitych kosztów operacyjnych, obejmujących koszty stałe; np. koszty osobowe, podatek od nieruchomości oraz koszty zmienne, np. koszty paliwa, energii, napraw i konserwacji, materiałów eksploatacyjnych, koszty sprzedaży, opłata eksploatacyjna. Założono, że niezbędne będzie zatrudnienie 9 pracowników różnych specjalności, a łączne koszty osobowe z tym związane będą wynosić w pierwszym roku około 430 tys. zł. Wysokość podatku od nieruchomości zależeć będzie od powierzchni niezbędnej pod działalność powierzchniową; przyjęto stawkę 9 tys. zł/ha/r. Wysokość opłaty eksploatacyjnej będzie zależna od wielkości wydobycia oraz rodzaju eksploatowanej skały (piaskowiec, wapień, zlepieniec). Podstawowym, poza kosztami osobowymi, kosztem operacyjnym są koszty energii, paliwa, materiałów eksploatacyjnych, serwisu i części zamiennych. Biorąc pod uwagę średnie jednostkowe koszty operacyjne dla podobnej wielkości kopalni podziemnej wapieni Fonte da Moura w Portugalii wynoszące

ok. 83 euro/1 m³ bloków, dla analizowanych złóż przyjęto je na podobnym poziomie, w przeliczeniu około 350 zł/m³ bloków. Koszty zarządu, administracji i sprzedaży przyjęto ryczałtowo na typowym dla tego typu przedsięwzięć poziomie 5% wartości planowanych przychodów ze sprzedaży. Jako dodatkowy, jednorazowy, w ostatnim roku projektu przyjęto koszt likwidacji kopalni. Wobec praktycznego braku konieczności rekultywacji terenu (kopalnia podziemna) przyjęto, że będą one niewielkie, ok. 100 tys. zł (tab. 8).

Tab. 8. Oszacowanie kosztów operacyjnych w przypadku potencjalnej eksploatacji podziemnej
Tab. 8. Estimation of operational costs for underground extraction

Parametr	Radków	Szewce	Wola Morawicka	Zygmuntówka
koszty osobowe, [tys. zł/r]	9 osób – 403	9 osób – 403	9 osób – 403	9 osób – 403
podatek od nieruchomości, tys. [zł/r]	4 ha – 36	0,5 ha – 4,5	4 ha – 36	6 ha – 54
opłata eksploatacyjna, [zł/t] urobku	0,82	0,74	0,74	3,87
koszty energii, paliwa, materiałów eksploatacyjnych, serwisu i części zamiennych, [zł/m ³] bloków	350	350	350	350
koszty zarządu, administracji i sprzedaży [%] przychodów ze sprzedaży	5	5	5	5
koszty likwidacji kopalni, tys. [zł]	100	100	100	100

Przyjęte założenia techniczne i kosztowe stały się podstawą do wstępnego oszacowania ekonomicznej opłacalności eksploatacji podziemnej analizowanych złóż, z zastosowaniem podejścia dochodowego metodą zdyskontowanych przepływów pieniężnych. Do tych celów przyjęto uzupełniające założenia finansowo-ekonomiczne:

- wskaźnik wzrostu cen produktów oraz kosztów produkcji równy wskaźnikowi inflacji założonemu na stałym poziomie 2%/r.,
- stawki amortyzacyjne: maszyny i urządzenia (używane) – 5 lat, wartości niematerialne i prawne – 5 lat, budowle – 10 lat,
- udział własny w inwestycji – 20%, udział obcy (kredyt) – 80%,
- stopa kredytu inwestycyjnego – 10% (WIBOR 3m. + marża + prowizja), spłata przez 10 lat od roku drugiego,
- należności i zobowiązania w uproszczeniu na identycznym poziomie i równoważą się,
- stopa dyskontowa: 10% (stopa wolna od ryzyka – 3%, premia za ryzyko branżowe – 4%, za ryzyka formalne, techniczne i inne – 3%).

Zgodnie z przyjętymi wyżej założeniami szacuje się, że wartość bieżąca netto wszystkich analizowanych projektów jest wyraźnie ujemna (tab. 9). Najmniej korzystną wartość otrzymano dla złoża Zygmuntówka (–3174 tys. zł) i Szewce (–3300 tys. zł); nieco lepszą, ale wciąż ujemną dla złóż Wola Morawicka (–1931 tys. zł) i Radków (–676 tys. zł).

Tab. 9. Wyniki wstępnej oceny ekonomicznej opłacalności w przypadku potencjalnej eksploatacji podziemnej [tys. zł]

Parametr	Radków	Szewce	Wola Morawicka	Zygmuntówka
łącznie prognozowane przychody ze sprzedaży	13 589	11 302	17 621	9 155
łącznie prognozowane koszty operacyjne	10 852	10 369	16 204	10 084
łącznie prognozowane koszty inwestycyjne	3 199	4 042	3 679	3 313
łącznie prognozowane koszty finansowe	983	1 386	1 122	888
wartość bieżąca netto projektu przy przyjętych założeniach	- 676	- 3 300	- 1 931	- 3 174
warunki potencjalnej efektywności ekonomicznej projektu	ceny bloków wyższe o 20% lub ponad 1,5-krotne	ceny bloków wyższe o 50% lub ponad 2-krotne	ceny bloków wyższe o 30% lub ponad 2-krotne	ceny bloków wyższe o 60% lub ponad 2-krotne
zwiększenie produkcji i sprzedaży				

W sposób zasadniczy o ujemnym wyniku decyduje poziom możliwych do uzyskania cen bloków, przy mniejszym znaczeniu innych parametrów. Jednocześnie we wszystkich przypadkach największe poniesione koszty wiążą się z koniecznością udostępnienia pól eksploatacyjnych. Szansa na to, aby któryś z rozważanych projektów stał się efektywny ekonomicznie, istnieje głównie w przypadku, gdyby możliwe było uzyskanie wyraźnie wyższych cen zbywanych bloków: wyższych o co najmniej 20% w przypadku Radkowa, 30% dla Woli Morawickiej, 50% dla Szewce i 60% dla Zygmuntówki. Inną możliwością osiągnięcia dodatniego wyniku tak planowanej działalności jest zapewnienie sobie zbytu na poziomie co najmniej o 50% wyższym (w przypadku Radkowa) lub około dwukrotnie wyższym (dla pozostałych złóż). To oczywiście wiązałoby się z krótszym okresem trwania takich przedsięwzięć.

5. PODSUMOWANIE

Podziemna eksploatacja należy do coraz częściej stosowanych metod wydobywania skał bocznych, szczególnie w Europie. Dotyczy głównie niektórych metamorficznych skał węglanowych (marmury) oraz skał osadowych (wapienie, piaskowce, łupki). O wyborze tej metody decydują obecnie przede wszystkim względy ekonomiczne, geologiczne i środowiskowe. Najważniejsze korzyści wynikające z zastosowania eksploatacji podziemnej to przede wszystkim: nieznaczny wpływ na powierzchnię terenu nad złożem, ograniczenie potrzeby składowania powstających odpadów, możliwość eksploatacji w miejscach, gdzie eksploatacja odkrywkowa jest niemożliwa ze względów geologicznych, środowiskowych lub ze względu na obecne zagospodarowanie powierzchni terenu.

O możliwości podjęcia eksploatacji podziemnej decyduje szereg czynników, które podzielić można na trzy zasadnicze grupy: geologiczno-górnictwo, środowiskowe i ekonomiczne. Wprowadzenie tej metody wymaga szczegółowego rozpoznania geologicznego i geomechanicznego górotworu (identyfikacja występujących odmian skał, stref spękań, ocena stanu naprężeń panujących w górotworze), co pozwala na wybór odpowiedniego systemu i kierunku eksploatacji oraz wymiarów i rozmieszczenia wyrobisk podziemnych. Najczęściej stosowanym systemem eksploatacji jest system komorowo-filarowy.

W prezentowanym projekcie do rozważań pod kątem potencjalnej eksploatacji podziemnej skał blocznych w kraju wytypowano wstępnie 19 złóż kamieni blocznych w Górach Świętokrzyskich i Sudetach, przy czym najczęściej były to złoża wapieni i piaskowców. Po przeprowadzonej ocenie wielokryterialnej do szczegółowej analizy techniczno-ekonomicznej zakwalifikowano cztery złoża: wapieni jurajskich Wola Morawicka, wapieni dewońskich Szewce, permskich zlepieńców węglanowych Zygmunówka (wszystkie w Górach Świętokrzyskich) oraz złoża piaskowców kredowych Radków w Górach Stołowych (Sudety).

W każdym z czterech analizowanych przypadków ustalono podstawowe założenia rynkowe, produkcyjne, techniczne udostępniania i eksploatacji, szacunkowe wielkości nakładów inwestycyjnych i kosztów operacyjnych. Przy przyjętych założeniach, niestety wartość wszystkich analizowanych projektów jest wyraźnie ujemna.

Największą szansą na podjęcie takiej eksploatacji istnieje dla złoża piaskowca Radków i złoża wapienia Wola Morawicka. Jednak i w tych przypadkach warunkiem decydującym o ekonomicznej opłacalności przedsięwzięcia byłby wzrost cen bloków odpowiednio o minimum 20% i 30% i/lub znaczący wzrost wielkości zakładanej sprzedaży. To ostatnie można byłoby osiągnąć przez zwiększenie sprzedaży bloków (lub produktów pochodnych) z tych złóż na rynkach zagranicznych.

LITERATURA

- COLI M., LIVI E., TANINI C., 2003, *Historical and cultural recovery of the Pietra Serena Quarrying in Fiesole (Firenze – Italy)*, 4th Europ. Congr. On Reg. Cartography and Inf. System, Bologna.
- 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).
- GUZIK K., 2015, *Ekonomiczne aspekty podziemnej eksploatacji kamieni blocznych*, XXXIV Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Chęciny.
- GUZIK K., GALOS K., KOT-NIEWIADOMSKA A., STACHOWIAK A., 2015, *Uwarunkowania eksploatacji podziemnej skał blocznych*, Górn. Odkr. 56, 2.
- GUZIK K., KOT-NIEWIADOMSKA A., 2015, *Środowiskowe ograniczenia eksploatacji złóż kamieni blocznych w Sudetach i Górach Świętokrzyskich*, Zesz. Nauk. IGSMiE PAN, 91.
- KORTNIK J., 2009, *Underground natural stone excavation technics in Slovenia*, RMZ – Materials and Geoenvironment, 56, 2.

INITIAL ASSESSMENT OF PROFITABILITY OF UNDERGROUND EXTRACTION OF DIMENSION STONE IN POLAND

Underground extraction of dimension stone is widespread in many European countries. Its popularity will undoubtedly grow, mainly due to environmental considerations and the accessibility of deposits for extraction. The most common reason for launch of underground dimension stone mining is demand for some stone materials which commonly can not be obtained from opencast mining. An important aspect of such operation is guaranteed long-term geomechanical stability of post-mining voids. In the paper, there is presented assessment of possibilities and purposefulness of underground extraction for 19 dimension stone deposits located in the Sudetes and in the Świętokrzyskie Mountains. As a result of multi-criteria assessment taking into account geological, resource, mining, environmental and economic factors, four deposits were selected for detailed analysis: Wola Morawicka Jurassic limestone deposit, Szewce Devonian limestone deposit, Zyguntówka Permian carbonate conglomerate – all in the Świętokrzyskie Mountains, as well as Radków Cretaceous sandstone deposit in the Sudetes. In each case, some basic assumptions on market, production and deposit development, as well as estimated level of capital investments and operation costs, were adopted. Unfortunately, with such assumptions, net present value of each analyzed project, established by discounted cash flow method, was distinctly negative. The most promising for underground extraction are Radków sandstone deposit and Wola Morawicka limestone deposit, provided growth of blocks' prices by min. 20% and/or significant increase of blocks' sales.

Keywords: *dimension stones, underground exploitation, profitability*