



Wpływ parametrów geometrycznych robót strzałowych na stopień rozdrobnienia urobku przy eksploatacji magnezytu systemem komorowo-filarowym

Andrzej BIESSIKIRSKI¹⁾, Dušan TERPÁK¹⁾, Michał DWORZAK¹⁾,
Józef PYRA¹⁾, Michał TWARDOSZ¹⁾

¹⁾ AGH w Krakowie; email do korespondencji: abiess@agh.edu.pl

DOI: 10.29227/IM-2017-02-33

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki wstępnych badań dotyczących wpływu zmiany parametrów geometrycznych robót strzałowych na stopień rozdrobnienia otrzymywanego urobku. Ponadto opisano ogólną charakterystykę filarowo-komorowego systemu eksploatacji, który jest stosowany do prowadzenia eksploatacji magnezytu w jednej ze słowackich kopalń podziemnych. Na podstawie przeprowadzonych badań określono optymalną siatkę strzałową pod kątem rozdrobnienia urobku. Zauważono, że dla występujących warunków górniczo-geologicznych należałoby zastosować siatkę trójkątną, która zapewniała uzyskanie dużej ilości dobrze rozdrobnionego urobku przy minimalnym wychodzie brył nadgabarytowych.

Słowa klucze: roboty strzałowe, system komorowo-filarowy, fragmentacja urobku, Split Desk-top 2.0

Wprowadzenie

Roboty wiertniczo-strzałowe stanowią jedną z podstawowych operacji technologicznych realizowanych w górnictwie podziemnym (kopalniach rud metali) i stanowią główną część prac potrzebnych do urobienia surowca. Prace wiertnicze oraz strzałowe są ze sobą ściśle powiązane w układzie technologicznych, gdyż precyzja wykonanych otworów bezpośrednio wpływa na stopień rozdrobnienia urobku po strzelaniu. Możliwość powstania nadgabarytów podczas odstrzału negatywnie wpływa na efektywność kolejnych operacji technologicznych zakładu, tj. ładowanie i transport urobku, rozdrobnienie w pierwszym i kolejnych stopniach kruszenia, będąc w konsekwencji czynnikiem wpływającym na wskaźniki techniczno-ekonomiczne poprzez możliwy wzrost kosztów eksploatacji.

Jednym ze sposobów oceny oraz ewentualnej modyfikacji parametrów strzałowych jest przeprowadzenie oceny rozdrobnienia urobku. Zagadnienie to było szeroko dyskutowane zarówno w literaturze polskiej jak i światowej. Należy jednak zaznaczyć, że większość prac z zakresu optymalnego doboru parametrów strzałowych tj.: geometrii siatki, opóźnień milisekundowych czy rodzaju stosowanego materiału wybuchowego (MW) można znaleźć w pracach dotyczących górnictwa odkrywkowego.

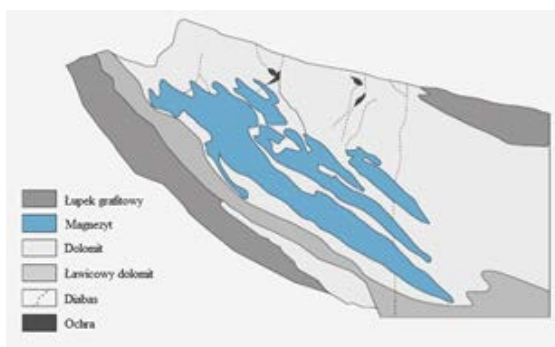
Singh i in. stwierdzili, że rozmiar ziarna ulega zwiększeniu wraz ze wzrostem stosunku pomiędzy wielkością zabioru a średnicą otworu strzałowego. Spadek fragmentacji następuje zaś w przypadku wzrostu stosunku odległości między otworami a wielkością zabioru (Singh i in. 2016). Spostrzeżenie to zostało

poparte badaniami (Yang i Rai 2011). Ponadto Singh i in. określili, że gdy stosunek pomiędzy odległością między otworami a zabiozem wynosi pomiędzy 1,1÷1,3 to uzyskuje się urobek o najbardziej optymalnym rozdrobnieniu (Singh i in. 2016). Monjezi i Dehghani stwierdzili, że w przypadku gdy stosunek pomiędzy wielkością przybitki a zabiozem ulegnie zmniejszeniu z 1,2 do 0,8 to towarzyszyć temu będzie redukcja spękań wstecznych z 20 do 4 m (Monjezi i Dehghani 2008). Yang i Rai zalecają stosowanie włomu środkowego zamiast włomu bocznego przy jednej powierzchni odsłonięcia, a Bergmann i in. opracowali model umożliwiający określenie wpływu opóźnienia międzustrzałowego oraz schematów odpalania na wielkość rozdrobnienia urobku (Rai i Yang 2014; Bergmann i in. 1974).

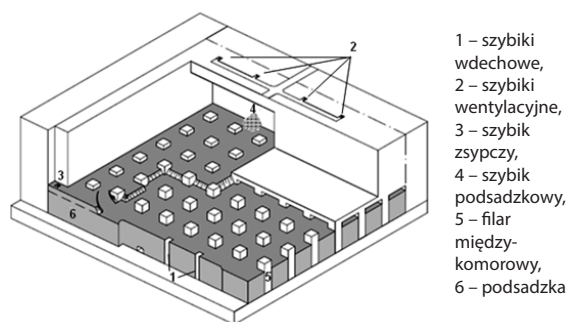
Casali zwraca uwagę, że wielkość ziarna które może zostać poddane kruszeniu wstępnemu z góry narzuca dopuszczalną maksymalną wielkość rozdrobnienia urobku. W tym celu wskazuje na konieczność opracowania odpowiedniego modelu teoretycznego (Casali 1990).

Bauer opisał dobór materiałów wybuchowych dla jednej ze słowackich kopalń magnezytu celem uzyskania lepszej efektywności wykonywanych prac strzałowych m.in. poprzez użycie w konsekwencji lepszej fragmentacji urobku (Bauer 2012).

Zastosowanie techniki fotogrametrycznej zarówno w zakładach podziemnych jak również odkrywkowych było szeroko dyskutowane również w literaturze polskiej (Biessikirski i in. 2016a; Biessikirski i in. 2016b; Biessikirski i in. 2017a; Biessikirski i in.



Rys. 1. Przekrój przez złożo magnezytu (Atlas Copco 2007)
Fig. 1. Cross section of magnesite deposit (Atlas Copco 2007)



Rys. 2. System filarowo-komorowy z podziałem na warstwy z podsadzką suchą kamienną (ELTE 1988)
Fig. 2. Room and pillar mining system (ELTE 1988)

2017b). Należy zauważyć, że zastosowanie techniki fotogrametrycznej może stanowić element technologii umożliwiający ocenę robót strzałowych oraz przyczynić się do ewentualnej modyfikacji stosowanych parametrów strzałowych celem uzyskania optymalnie rozdrobnionego urobku, co może w konsekwencji prowadzić do racjonalnej eksploatacji złoża i minimalizacji strat kopaliny.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wpływu parametrów geometrycznych robót strzałowych na wielkość rozdrobnienia urobku oraz wybór najbardziej optymalnego schematu odpalania dla danych warunków geologiczno-górnictwa.

Charakterystyka geologiczna złoża magnezytu

Długość złoża wynosi 4,5 km w kierunku wschodnio-zachodnim, a jego miąższość osiąga wartość ponad 600 m. Kąt nachylenia waha się od 20 ÷ 60°. Nadkład zbudowany jest z dolomitów i łupków grafitowych, a spąg tworzą ławicowe dolomity, dolomity i łupki grafitowe (por. rys.1), a jego grubość wynosi od 40 ÷ 50 m. Magnezyt występuje w nieforemnych soczewkach i gniazdach w części dolomitowej złoża. Największe jego nagromadzenie znajduje się w spągowych partiach masywu węglanowego, zaś w górnej jego części soczewki i gniazda magnezytu są mniejszych gabarytów i posiadają nieregularny kształt.

Charakterystyka systemu eksploatacji

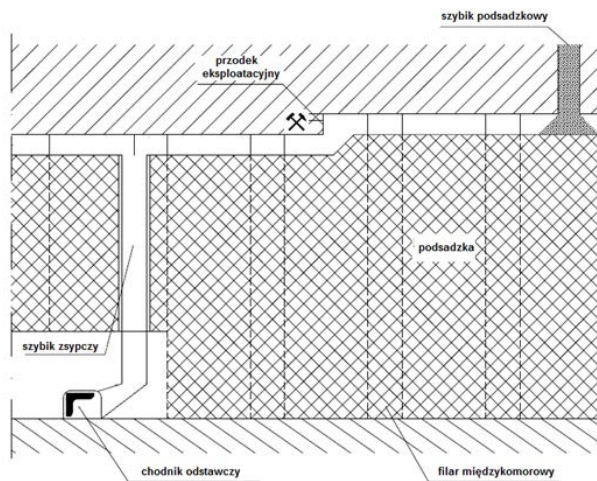
Obecna eksploatacja złoża magnezytu realizowana jest z wykorzystaniem systemu filarowo-komorowego, który pozwala na eksploatację selektywną (rys.2). Eksploatacja odbywa się warstwami poziomymi z dołu do góry, a robocze wypełnia się podsadzką suchą kamienną, (rys. 3 i rys. 4). Wysokość furty eksploatacyjnej wynosi 4,8 m, a szerokość komór 10 m. Prze-strzeń roboczą zabezpieczają filary słupowe o wymiarach 5x5 m odtwarzane w kolejnych urabianych warstwach. Blok eksploatacyjny ograniczony jest filarami międzyblokowymi. Długość bloków eksploatacyjnych wyno-

si od 150–250 m, szerokość 100–150 m, wysokość 75 m, zaś grubość półki ochronnej do 20 m.

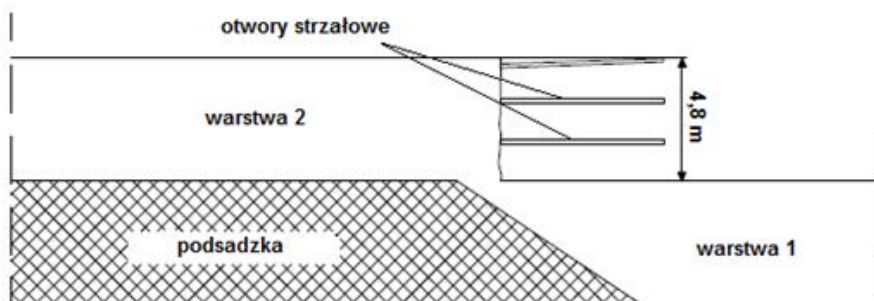
Złożo urabia się z zastosowaniem metody strzałowej. Odspojony materiałem wybuchowym urobek grawitacyjnie spada do przestrzeni warstwy dolnej. Po odebraniu urobku następuje podsadzanie komory do wysokości jej dolnej krawędzi. Materiał podsadzkowy dostarczany jest z powierzchni lub z pozabilansowych części złoża. Odstawa urobku realizowana jest przy pomocy wozów odstawczych.

Badania przeprowadzono na poziomie wydobywczym A1 na wysokości warstwy 7, jednej z podziemnych słowackich kopalń magnezytu. W celu określenia składu granulometrycznego magnezytu przygotowano przodki eksploatacyjne 88-95B oraz 95-95B, w których według opracowanej metryki strzałowej wykonano siatkę otworów urabiających z użyciem wozu wiertniczego Rocket Boomer 282 (rys. 5a). Należy zaznaczyć, że przed przystąpieniem do prac w przodkach nie zaobserwowano spękań i zaburzeń tektonicznych. Po wykonaniu otworów strzałowych, każdy z otworów został oczyszczony sprężonym powietrzem, a następnie pneumatycznie załadowano materiał wybuchowy typu ANFO korzystając z samojedźnego wozu strzałowego (rys. 5b). Roboty strzałowe przeprowadzono poza i między filarami międzykomorowymi, co bezpośrednio wpłynęło na konieczność zastosowania otworów konturowych, celem zapobiegnięcia wystąpienia spękań w przodku (rys 5c). Uzyskany w ten sposób urobek poddano dalszej analizie fotogrametrycznej (por. rys. 5d).

Roboty strzałowe realizowano na podstawie opracowanych czterech różnych schematów odpalania (siatki prostokątne oraz siatki trójkątne) przedstawionych na rys. 6a-d, zgodnie z parametrami znajdującymi się w tabeli 1. Konstrukcje ładunków MW przedstawiono na rys. 7. Należy zaznaczyć, że podczas realizowanych prac masy ładunków, zastosowane czasy opóźnień międzystrzałowych oraz długości otworów strzałowych nie ulegały zmianie.



Rys. 3. Przekrój przez blok eksploatacyjny
 Fig. 3. Cross section through exploitation block



Rys. 4. Przekrój przez przodek eksploatacyjny
 Fig. 4. Cross section through the mining face

a)



b)



c)



d)



Rys. 5. Kolejność prowadzonych prac: a) wyznaczenie otworów strzałowych w przodku, b) wiercenie otworów strzałowych, c) widok na przodek po robotach strzałowych, d) przykładowy urobek

Fig. 5. Work order: a) borehole design, b) borehole drilling, c) view on mining face, d) muck pile

Parametr	Wartość	Jednostka
Miejsce wykonania robót strzałowych:	Sektor A1 88 – 95B (10 m x 4,8 m)	-
Zastosowany materiał wybuchowy:	DaP –K, Ergodyn 30E	–
Zastosowane środki inicjujące:	DeM – S; zapalniki elektryczne	-
Sposób połączenia zapalników:	Szeregowy	-
Rodzaj przybitki:	Brak	-
Sposób inicjowania MW:	Od dna otworu	–
Maksymalna ilość otworów strzałowych:	24	sztuki
Maksymalny ładunek w otworze:	5,2 +/- 0,2	kg
Maksymalny ładunek w serii:	129,6	kg
Długość otworu strzałowego:	4,0	m
Maksymalny ładunek w otworze konturowym:	1,5	kg

Metodyka badawcza

Ocena rozdrobnienia urobku została wykonana dla czterech różnych usypów urobku otrzymanych w wyniku zmiany parametrów geometrycznych robót strzałowych. Analizę przeprowadzono za pomocą programu komputerowego SPLIT Desktop 2.0 znajdującego się na wyposażeniu Pracowni Technik Strzelniczej i Oddziaływań na Środowisko AGH w Krakowie. Pierwszym etapem prac było sporządzenie niezbędnej dokumentacji fotograficznej zgodnie z zaleceniami opisanymi w pracach (Aler i in. 1996; Batko i Sołtyś 2007; Farmarzi i in. 2013, Li i in. 2016).

Ocenę fragmentacji urobku w przypadku usypu nr 1 i 2 wykonano całościowo (1 sektor badawczy) (rys. 8a-b), a w przypadku usypu nr 3 oraz nr 4 analizowany obszar podzielono na mniejsze sektory (rys. 8c-d. - usyp 3 podzielono na 4 sektory, a usyp 4 na 2 sektory badawcze). Oceniane usypy wraz z zaznaczonymi sektorami badawczymi przedstawiono na rys. 8a-d.

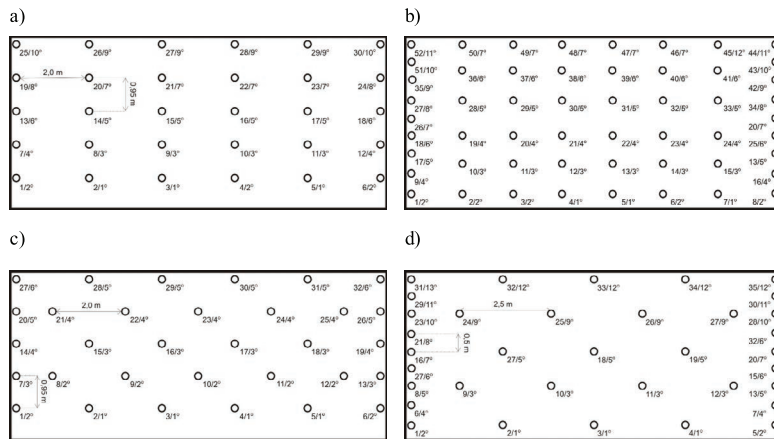
Dla każdego sektora badawczego wykonano po 10 zdjęć, z których następnie wyselekcjonowano po 3 celem poddania późniejszej analizie fotogrametrycznej. Po załadowaniu zdjęcia, program SPLIT Desktop 2.0 samodzielnie dostosowuje fotografię do dalszej analizy poprzez reprezentację kolorów do skali szarości o różnym natężeniu. W pierwszym etapie analizy użytkownik rozpoczyna skalowanie obrazu poprzez umieszczenie kulistego obiektu o znanym rozmiarze w miejscu wykonywanej analizy (w przypadku przeprowadzanych badań była to kula o średnicy 1000 mm). Następnie wybrano typ analizy do przeprowadzenia (Singleobject - tzw. "pojedynczy obiekt", umożliwiający wykonanie analizy fragmentacji urobku wzglę-

dem zeskalowanego obiektu poniżej i powyżej średnicy pojedynczego punktu odniesienia przy zachowaniu perspektywy zdjęcia). Program SPLIT Desktop 2.0 pozwala na przeprowadzenie automatycznej delinacji analizowanego urobku i wykonanie oceny większych ziaren.

Wynikiem wykonanych analiz jest uzyskanie różnych form krzywych składu ziarnowego (np. liniowa-liniowa, logarytmiczno-liniowa, logarytmiczno-logarytmiczna oraz Rosin-Rammler). Oczekiwany poziom istotności analizy odnoszący się do możliwego rozdrobnienia urobku (wystąpienia frakcji najdrobniejszej, to jest w przedziale wielkości ziaren $0 \div 4,75$ mm (PN-B-02480:1986)) oraz natężenie światła wymusiło wykonanie delinacji urobku w sposób manualny, czego celem było uzyskanie jak największej dokładności wyników analizy [16]. Przykładowe okonturowanie urobku dla usypu nr 3 przedstawiono na rys. 9a. Na rys. 9b przedstawiono przetworzoną przez program Split Desktop 2.0. fotografię części usypu.

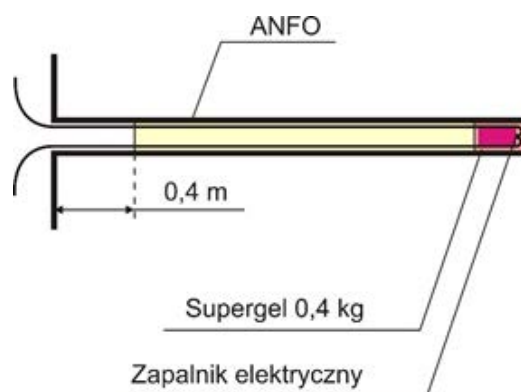
Po wykonaniu okonturowania użytkownik inicjuje w programie funkcję oceny fragmentacji na przykładzie rozkładu Schumanna. W wyniku przeprowadzonej analizy uzyskuje się logarytmiczno-liniowy wykres przedstawiający krzywą składu ziarnowego badanego obszaru usypu. Przykładową krzywą składu ziarnowego otrzymanego dla fragmentu urobku nr 1 przedstawiono na rys 10.

Na podstawie rys. 10 zauważa się, że ilość brył nadgabarytowych (frakcji powyżej 1000 mm) w usypie wynosi ok. 55,72%. Średnica największego ziarna (Top size – rys. 10) jest równa ok. 2217,96 mm. Dodatkowo, należy zauważyć brak występowania frakcji na-



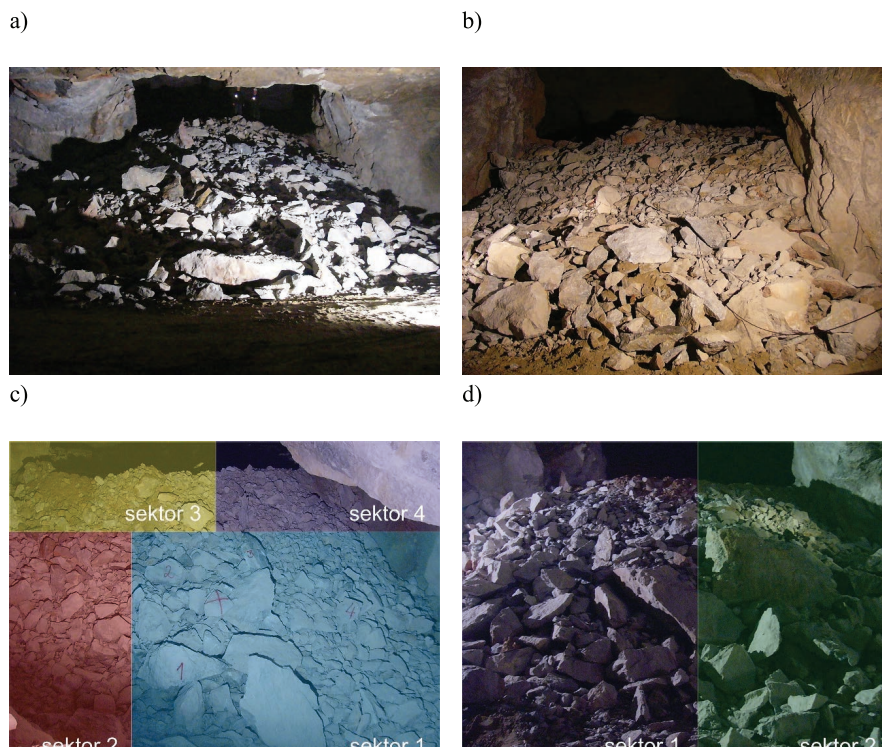
Rys. 6. Schemat rozmieszczenia otworów urabiających

Fig. 6. Blasting patterns



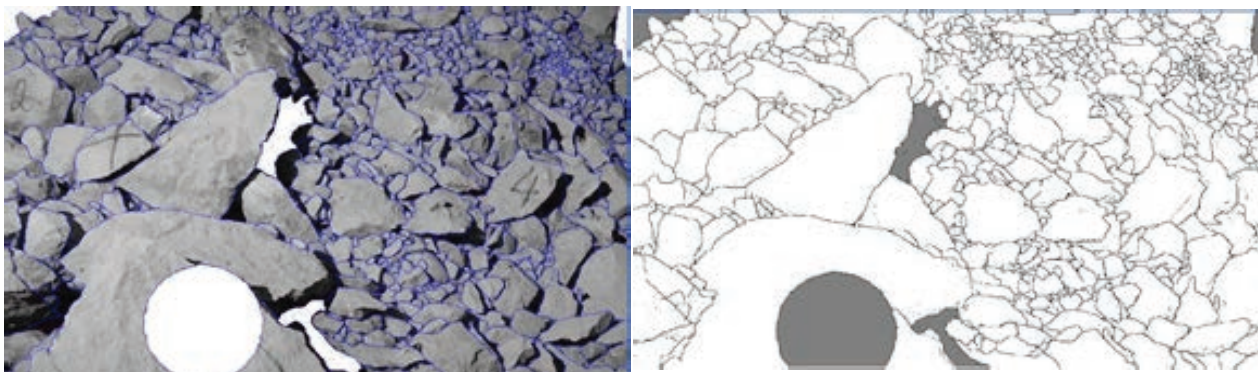
Rys. 7. Konstrukcja ładunku wybuchowego w otworze urabiającym

Fig. 7. Construction of the blasting charge



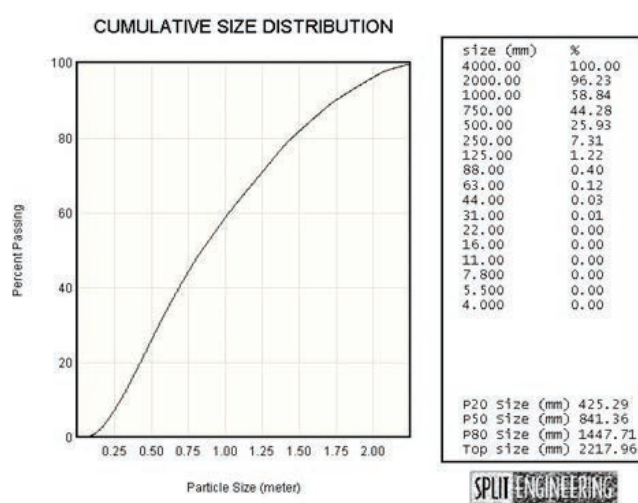
Rys. 8. Analizowany urobek : a) usyp nr 1 – widok ogólny, b) usyp nr 2 – widok ogólny, c) usyp nr 1 – z sektorami badawczymi, d) usyp nr 2 – z sektorami badawczymi

Fig. 8. Analyzed muck pile: a) muck pile no. 1 – general view, b) muck pile no. 2 – general view, c) muck pile no. 1 – with sectors, d) muck pile no. 4 – with sectors



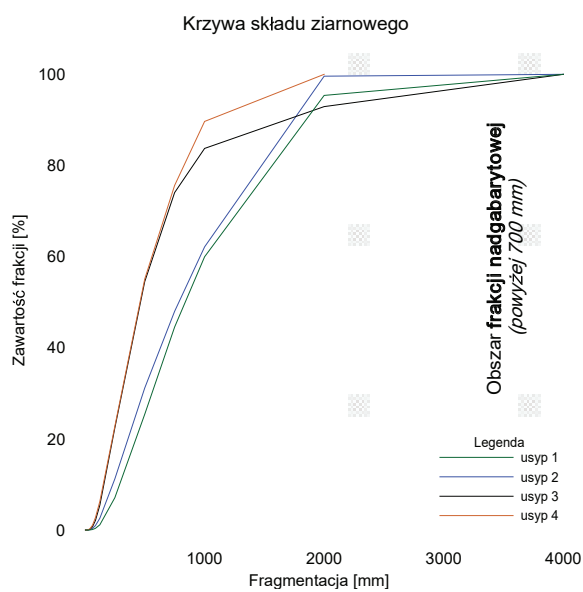
Rys. 9 Analizowany urobek: a) usyp nr 1, fragment urobku nr 1 b) usyp nr 2, fragment urobku nr 2

Fig. 9 Analyzed mock pile a) muck pile no. 1 contour, b) muck pile no. 2 delineation



Rys. 10. Przykładowa krzywa składu ziarnowego dla przekroju usypu nr 1

Fig. 10. Cumulative size distribution muck pile no. 1



Rys. 10. Przykładowa krzywa składu ziarnowego dla przekroju usypu nr 1

Fig. 10. Cumulative size distribution muck pile no. 1

Tab. 1. Średni procentowy udział wielkości ziaren w urobku

Tab. 1. The average percentage of the output particle size

Graniczny rozmiar ziarna [mm]	Średnia wartość procentowych udziałów wielkości ziaren			
	Usyp nr 1, [%]	Usyp nr 2, [%]	Usyp nr 3, [%]	Usyp nr 4, [%]
< 4,00	-	-	-	-
< 5,50	-	-	-	-
< 7,80	-	-	-	-
< 11,00	-	-	-	-
< 16,00	-	-	-	0,01
< 22,00	-	0,01	0,01	0,03
< 31,00	0,01	0,03	0,04	0,10
< 44,00	0,03	0,10	0,17	0,34
< 63,00	0,11	0,34	0,70	1,06
< 88,00	0,38	0,98	2,10	2,71
< 125,00	1,15	2,59	5,44	6,29
< 250,00	7,08	11,22	22,40	22,76
< 500,00	25,40	31,17	54,51	55,07
< 750,00	44,54	47,99	74,05	75,62
< 1000,00	59,97	62,15	83,73	89,67
< 2000,00	95,37	99,58	92,92	100,00
<4000,00	100,00	100,00	100,00	-

Tab. 2. Średni procentowy udział wielkości ziaren w urobku

Tab. 2. The average percentage of the output particle size

Zakres wielkości ziarna [mm]	Średnia wartość procentowych udziałów wielkości ziaren			
	Usyp nr 1, [%]	Usyp nr 2, [%]	Usyp nr 3, [%]	Usyp nr 4, [%]
0-4	-	0,00	0,00	0,00
4-5,5	-	0,00	0,00	0,00
5,5-7,8	-	0,00	0,00	0,00
7,8-11,0	-	0,00	0,00	0,00
11,0-16,0	-	0,00	0,00	0,01
16,0-22,0	-	0,01	0,01	0,02
22,0-31,0	0,01	0,02	0,03	0,07
31,0-44,0	0,02	0,07	0,14	0,24
44,0-63,0	0,09	0,24	0,53	0,72
63,0-88,0	0,26	0,64	1,40	1,65
88,0-125,0	0,77	1,61	3,34	3,58
125,0-250,0	5,93	8,63	16,95	16,46
250,0-500,0	18,31	19,95	32,11	32,32
500,0-750,0	19,14	16,82	19,54	20,55
750,0-1000,0	15,43	14,16	9,69	14,05
1000,0-2000,0	35,40	37,44	9,18	10,33
2000,0-4000,0	4,63	0,42	7,08	0,00

jdrobniejszej (poniżej 4,75 mm) (PN-B-02480:1986). Należy zaznaczyć, że wielkość brył nadgabarytowych jest determinowana przez wielkość ustalonej szczeliny wlotowej kruszarki wstępnej.

Analiza fragmentacji urobku

Ocenę fragmentacji urobku sporządzono dla jednej ze słowackich kopalni podziemnych prowadzących eksploatację magnezytu. Dla każdego z usypów

dokonano analizy fragmentacji urobku z wykorzystaniem programu Split Desktop 2.0. na podstawie 3 zdjęć wykonanych z różnych punktów, których wyniki następnie uśredniono (tabela 1) uzyskując tym samym krzywą składu ziarnowego dla poszczególnych usypów (rys. 11). Szczegółową średnią zawartość poszczególnych frakcji przedstawiono w tabeli 2.

Na podstawie tabeli 1 oraz rys. 11 można stwierdzić, że w przypadku wszystkich analizowanych

powierzchni usypów praktycznie nie występuje frakcja najdrobniejsza. Zmiana parametrów geometrycznych oraz schematu odpalania spowodowała zmianę rozdrobnienia urobku zwłaszcza w obszarze frakcji nadgabarytowej. W przypadku zastosowania siatki prostokątnej – usyp nr 1 (rys. 8a) zauważa się, że zawartość nadgabarytów wynosiła ok. 40,03% (vide tabela 1 i rys.11), a najbardziej dominujące frakcje znajdują się w przedziale 250–4000 mm (vide tabela 2, rys. 8a). Modyfikacja zastosowanej siatki otworów poprzez zwiększenie ilości otworów konturowych oraz zmniejszenie odległości między otworami z 2 m na 1,45 m (rys. 6b) spowodowało, że w analizowanym urobku (rys. 8b) obserwuje się nieznaczne zmniejszenie ilości brył nadwymiarowych, która wynosiła ok. 37,85% (tabela 1 i rys. 11). Podobnie jak w przypadku usypu nr 1 dominująca część urobku znajduje się w przedziale 250–4000 mm z tym, że w usypie nr 2 zauważa się, że ponad 55,38% urobku zawiera się w przedziale 250–750 mm. Poprawę rozdrobnienia urobku w usypie nr 2 widać zwłaszcza w górnej części usypu (rys. 8b). Celem uzyskania lepszej fragmentacji zastosowano zamiast siatki prostokątnej, siatkę trójkątną. W wyniku przeprowadzonych robót strzałowych zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 6c widać wyraźną poprawę rozdrobnienia zwłaszcza w zakresie zawartości brył nadgabarytowych (rys. 8c). W przypadku usypu nr 3, zawartość brył nadwymiarowych wynosiła ok. 16,27% (tabela 1 i rys. 11), a dominująca zawartość brył w profilu usypu (ok. 68,60%) znajdowała się w przedziale 125–750 mm (tabela 2). Celem zapewnienia lepszej ochrony filarów zaproponowano modyfikację siatki trójkątnej z rys. 6c poprzez zwiększenie ilości otworów obrysowych oraz zmianę odległości między otworami. W wyniku zastosowanego schematu uzyskano najmniejszą zawartość brył nadwymiarowych (ok. 10,33%) z pośród wszystkich analizowanych metryk (tabela 1, rys. 11). Dodatkowo, należy zauważyć brak występowania brył nadwymiarowych w zakresie 2000–4000 mm (por. tabela 1 i 2), zaś frakcje które stanowiły największą część usypu (ok. 69,33%) znajdowały się w przedziale 125–750 mm (por. tabela 2). Uzyskane obserwacje popiera zdjęcie usypu (vide rys 8d). Widać na nim zwłaszcza, że zawartość frakcji w przedziale 125–750 mm znajduje się w górnej części usypu.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono wpływ parametrów geometrycznych robót strzałowych na rozdrobnienie urobku. W wyniku przeprowadzonej oceny rozdrobnienia urobku stwierdzono, że zastosowanie siatki prostokątnej jak na rys. 6a powoduje wystąpienie dużej ilości nadgabarytów w całym profilu usypu. Zwiększenie ilości otworów konturowych oraz zmniejszenie odległości pomiędzy otworami urabiającymi spowodowało zmniejszenie ilości nadgabarytów, co jest widoczne zwłaszcza po bokach analizowanego usypu. Wystąpienie dużej ilości nadgabarytów w profilu usypu (ok. 40,03% i 37,85%) w przypadku siatki prostokątnej było prawdopodobnie spowodowane niewystarczającym współdziałaniem ładunków materiału wybuchowego.

Zastosowanie siatki trójkątnej jak na rys. 6c i 6d, znacząco poprawiło rozdrobnienie urobku. Zaobserwowano znacznie mniejsze występowanie brył nadgabarytowych ok. 16,27% w profilu usypu nr 3 oraz ok. 10,33% w profilu usypu nr 2. Zastosowanie większej ilości otworów konturowych jak na rys. 6d pozwoliło uzyskać lepszą ochronę filarów ochronnych oraz filarów międzykomorowych.

Z pośród wszystkich przeanalizowanych parametrów geometrycznych dla panujących warunków górniczo-geologicznych w słowackiej kopalni magnezytu zalecałoby się stosowanie schematu odpalania przedstawionego na rys. 6d. Tak dobrane parametry geometryczne siatki zapewnić powinny uzyskanie dużej ilości dobrze rozdrobnionego urobku w którym znajduje się niewielki wychód brył nadgabarytowych. Dodatkowo, w przypadku usypu nr 4, zwraca zwłaszcza uwagę brak występowania frakcji powyżej 2000 mm.

Należy jednak zaznaczyć, że zastosowana analiza fotogrametryczna umożliwia przeprowadzenie oceny brył znajdujących się tylko i wyłącznie na powierzchni usypu urobku, a więc uzyskane wyniki należy traktować z dużym przybliżeniem. Celem dokładniejszej oceny należałoby ocenić urobek znajdujący się w profilach usypu otrzymanych po częściowym jego odebraniu. Przypuszcza się, że odebrany urobek odsłoniłby dużą ilość frakcji najdrobniejszej, która prawdopodobnie znajduje się wewnątrz usypu w wyniku zastosowanego systemu eksploatacji (grawitacyjne opadanie odsponowanego urobku). Spostrzeżenia to należałoby poprzeć dalszymi badaniami.

Badania zostały zrealizowane z ramach działalności statutowej AGH nr 11.11.100.597

Literatura – References

1. Aler i in. 1996 – Aler, J., Du Mouza, J., Arnould, M. 1996. Measurement of the fragmentation efficiency of rock mass blasting and its mining applications. *International Journal of Rock Me-chanics and Mining Sciences Geomech.* 33(2), s. 125–139.
2. Atlas Copco. 2007. Mining methods in underground mining. Atlas Copco 2nd edition 2008.
3. [Online] Dostępne w: <https://drive.google.com/file/d/0B4tgawQkOMiAbm40bUpJRmpO-QWs/view> [Dostęp: 01 września 2017]]
4. Batko, P. i Sołtys, A. 2007. O sposobach określania składu ziarnowego urobku po strzelaniu. *Magazyn WUG: Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* 9(1), s. 5-8.
5. Bauer, V. 2012. Drilling and blasting technics by underground magnesite mining in Slovakia. *Proceedings of The 10th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting.* New Delhi. 26-29 listopad 2012. London: Taylor and Francis London 2013, s. 129-135.
6. Bergmann i in. 1974 – Bergmann, O.R., Wu., F.C. Edl, J.W. Model rock blasting measures effect of delays and hole patterns on rock fragmentation. *International Journal of Rock Me-chanics and Mining Sciences and Geomechanics.* 11(11) s. 124-127.
7. Biessikirski i in. 2016a – Biessikirski, A., Dworzak, M., Pyra, J. 2016. Pośrednia analiza frag-mentacji urobku otrzymanego w wyniku robót strzałowowych wykonywanych w kopalni dolomi-tu. *Przegląd górniczy.* 72(7), s. 33-38.
8. Biessikirski i in. 2016b – Biessikirski, A., Dworzak, M., Pyra, J. 2016. Analiza porównawcza fragmentacji urobku na przykładzie jednej z kopalń dolomitu. *Przegląd górniczy.* 72(12), s. 48-53.
9. Biessikirski i in. 2017a – Biessikirski, A., Terpák, D., Mustafin, V., Romanov, V., Suchov. D. 2017. Analiza fragmentacji rudy niklowo-miedziowej eksploataowanej systemami z czołowym wypuszczaniem urobku na przykładzie rosyjskich kopalń podziemnych. *Przegląd górniczy.* (złożone do druku)
10. Biessikirski i in. 2017b – Biessikirski, A., Terpák, D., Mustafin, V., Romanov, V., Suchov. D. 2017. Zastosowanie analizy fotogrametrycznej oraz wskaźnika hazena do oceny fragmentacji urobku w rosyjskich kopalniach rud. *Inżynieria mineralna.* (złożone do redakcji)
11. Casali, A. 1990. Primary crusher optimal feed commanding the blast patterns in a quarry. *Min-erals Engineering.* 3(5), s. 517-523.
12. ELTE. 1988. Spracovanie magnezitu v Jelšave. Banská Bystrica: ELTE, s.r.o., 1988.
13. Farmarzi i in. 2013. – Farmarzi, F., Mansourin, H., Ebrahimi Farsangi, M.A. 2013. A rock en-gineering systems based model to predict rock fragmentation by blasting. *International Jour-nal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 60, s. 82–94.
14. Li I in. 2016 – Li, X.F., Li, H.B., Liu, Y.Q., Zhou, Q.C., Xia, X. 2016. Numerical simulation of rock fragmentation mechanism subject to wedge penetration for TBMs. *Tunneling and Un-derground Space Technology.* 53, s. 96-108.
15. Monjezi i Dehghani. 2008 - Monjezi, M., Dehghani, H. 2008. Evaluation of effect of blasting pattern parameters on back break using neural networks. *Journal of Rock Mechanics and Min-ing Science.* 45(8), s. 1446-1453.
16. PN-B-02481:1998. Geotechnika – Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar
17. Rai i Yang. 2014 - Rai, P., Yang, H.-Y. 2014. Assessment of firing patterns on moderately strong and weak sandstone cover rocks in a surface mine. *Powder Technology.* 263, s. 66-73. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.* 8(2), s. 225-237.

18. Singh i in. 2016 – Singh, P.K., Roy, M.P., Paswan, R.K., Sarim, Md., Kumar, S., Jha, R. R. 2016. Rock fragmentation control in opencast blasting. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 8(2), s. 225-237.
19. Yang i Rai. 2011 – Yang, H.-S., Rai, P. 2011. Characterization of fragment size vis-à-vis de-lay timing in quarry blasts. *Powder Technology*. 211, s. 120-126.

*Influence of Blasting Works Parameters on the Magnesite Size Distribution Obtained
by Room and Pillar Mining*

The preliminary research on the influence of blasting pattern, burden and spacing on the muck pile size distribution was presented in this paper. Furthermore, general information about room and pillar mining system, which is applied in one of the Slovak underground magnesite mine, were given. Based on the preliminary analysis an optimum blasting pattern was chosen. It was observed that staggered blasting pattern gives optimum size distribution with a minimum exit of the oversize rocks in existing mining and geological conditions.

Keywords: blasting works, muck pile fragmentation, Split Desktop 2.0