

OCHRONA BLOCZNOŚCI ZŁOŻA Z WYKORZYSTANIEM SKANINGU LASEROWEGO

PROTECTION BLOCK SEPARATENESS OF DEPOSITS BY LASER SCANNING

Magdalena Mania, Szymon Modrzejewski - Poltegor-Instytut IGO, Wrocław

W artykule przedstawiono metodę identyfikacji bloczności złoży, pozwalającą na racjonalne wykorzystanie zasobów. W celu wyodrębnienia partii blocznych poszczególnych rejonów złoży oraz dostosowania techniki urabiania, oprócz tradycyjnych badań podzielności ciosowej, wykorzystano także pomiary skaningowe. Przedstawiony sposób ochrony partii blocznych z zastosowaniem nowoczesnych narzędzi w postaci skanera laserowego, stwarza nowe możliwości optymalizacji efektywności eksploatacji i poprawy bezpieczeństwa wydobywania. Przedstawiono procedurę aplikacyjną techniki strzelniczej, do wspomaganie eksploatacji złoży blocznych.

In the article were presented results of the conducted identification of block separateness deposits. It shows that the laser scanning could be good alternative to determinate rock's block separateness. Results of the research allow to improve the rational use of resources. It also presents that obtaining of block elements is possible.

Słowa kluczowe: górnictwo odkrywkowe, bloczność, skaner laserowy

Key words: opencast mining, block separateness, laser scanning

Wprowadzenie

Wzrost zapotrzebowania na surowce skalne, przeznaczone do produkcji kruszyw łamanych stwarza zwiększoną konieczność ochrony zasobów złoży blocznych. W praktyce dochodzi często bowiem do sytuacji, gdy przedsiębiorca staje przed dylematem czy dane złoże eksploatować na kruszywo czy na bloki, a podstawowym czynnikiem decyzyjnym jest rzeczywista bloczność złoży. Wiadomo, że racjonalne wykorzystanie surowców skalnych opiera się na dokładnej identyfikacji budowy geologiczno-tektonicznej. Brak odpowiedniej metodyki oceny bloczności złoży kończy się niejednokrotnie uszkodzeniem i zmniejszeniem naturalnej bloczności. Efektem tego jest drastyczny spadek wychodowości bloków. Przeciwdziałaniem dla tych negatywnych zjawisk jest wdrożenie odpowiednich metod identyfikacji bloczności złoży. Precyzyjne określenie rejonów blocznych w danym złoży pozwala także na równoczesną eksploatację na potrzeby kruszyw i elementów foremnych.

W artykule przedstawiono metodę skaningu laserowego i podano sposób wyodrębniania partii blocznych. Pozwoliło to na poprawę racjonalnego wykorzystania zasobów i zwiększenia ochrony partii blocznych złoży [3].

Celowość i potrzeby oceny bloczności

W celu oceny i wyodrębnienia partii blocznych złoży możemy korzystać z kilku metod identyfikacyjnych. Do dotychczasowych metod oceny bloczności złoży możemy zaliczyć analizę dokumentacji geologicznej i bezpośrednie pomiary liniowe. Najnowsze, dostępne środki techniczne, pozwalają obok kartowania ścian czy pomiarów geodezyjnych na zastosowanie metod fotogrametrycznych oraz pomiarów cyfrowych i

laserowych. W przyszłości podstawową metodą będzie zapewne identyfikacja georadarowa.

W przypadku określania kierunku wykorzystania danego surowca oraz określania technologii urabiania niezbędna jest identyfikacja geoprzestrzenna bloczności złoży, która opiera się między innymi na badaniach szczelinowatości skał. Badanie szczelinowatości skał pozwala doprecyzować kierunki i sposoby wykorzystania surowca. W praktyce przyjmowane są różnego rodzaju kryteria. Jednym z takich, jest kryterium wielkości bloku wyznaczone w oparciu o geometryczne parametry szczelinowatości przedstawione w tabeli 1 [1].

Stosowanie materiałów wybuchowych przy urabianiu skał na bloki powinno być traktowane jedynie jako metoda wspomagająca ten proces. Praktyka wskazuje, że wszędzie tam, gdzie w sposób nieodpowiedni zastosowano technikę strzelniczą nastąpił gwałtowny spadek wychodowości bloków. W wyniku stosowania materiałów wybuchowych dochodzi do osłabienia calizny. Spadek naprężeń szkodliwych dla struktur blocznych związany jest z dekrementem tłumienia drgań, który z kolei zależy między innymi od rodzaju i szczelinowatości złoży. Dekrement tłumienia (zaniku naprężeń szkodliwych) w funkcji odległości od miejsca wybuchu można skojarzyć ze współczynnikiem osłabienia calizny k_c , stanowiącym stosunek krytycznej prędkości podłużnej fali sejsmicznej w bloku i w szczelinowatej caliznie. Zależy on od szerokości i gęstości szczelin, a jego wielkości przedstawiono w tabeli 2 [4]. Widać, że odporność calizny blocznej górotworu w zależności od wielkości bloków, obniża się od 2 do 6 razy. Jest to istotna wskazówka dla techników strzałowych z jakimi skutkami deformowania struktur skalnych należy się liczyć.

Wyjaśnienia wymaga również samo pojęcie bloczności złoży. Górnictwem miarą bloczności jest ilość uzyskanego

Tab. 1. Klasyfikacja bloczności górotworu pod względem szczelinowości

Tab. 1. Classification of block separateness on account of rock separateness

Kategoria	Szczelinowość (bloczność górotworu)	Średnia odległość między szczelinami [m]	Szczelinowość właściwa [m-1]	Zawartość brył [%]			Akustyczny wskaźnik szczelinowości
				+0,3m	+0,7m	+1,0m	
I	Bardzo gęstoszczelinowaty (drobnobloczny)	< 0,1	> 10	< 10	0	-	0 – 0,1
II	Gęstoszczelinowaty (średniobloczny)	0,1 - 0,5	2 – 10	10 – 70	< 30	< 10	0,1 - 0,25
III	Średnioszczelinowaty (grubobloczny)	0,5 - 1,0	1 – 2	70 – 100	30 – 80	5 – 40	0,25 - 0,40
IV	Małoszczelinowaty (bardzo grubobloczny)	1,0 - 1,5	1,5 - 0,65	100	80 – 100	40 – 100	0,40 - 0,60
V	Praktycznie monolityczny	> 1,5	> 0,65	100	100	100	0,60 - 1,0

Tab. 2. Współczynnik osłabienia calizny k_f Tab. 2. Factor of the weakness rock mass k_f

Kategoria szczelinowości	Rozmiar bloku [cm]	Szerokość szczelin [cm]				
		0,05	0,05-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0
I	10	1,5	2,0	3,0	6,0	6,0
II	10-50	1,0	1,5	2,0	3,0	3,0
III	50-100	1,0	1,0	1,5	2,0	3,0
IV	100-150	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0

materiału blocznego w stosunku do ilości wydobytego urobku, natomiast geologiczną miarą bloczności jest zawartość materiału blocznego w całym złożu. Stąd możemy rozróżnić następujące kryteria bloczności:

- geologiczne $D \sim 0,6 \text{ m}$
- przemysłowe $\text{Kruszywa } d < d_{\text{min}}, D_{\text{max}} < D$
Bloki $D > 1,0 - 1,4 \text{ m}$

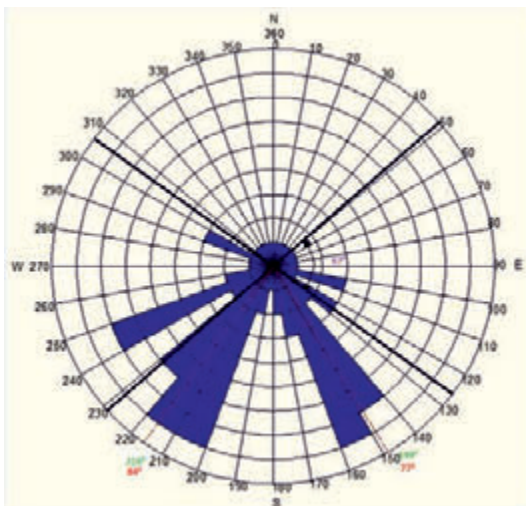
gdzie:

- d - górna średnica frakcji podziarna,
- $d_{\text{min}} \div D_{\text{max}}$ - granulacja urobku,
- D - maksymalna średnica bryły nadawy.

Pomiary tradycyjne

Uwzględniając powyższe, w celu racjonalnego wykorzystania zasobów bocznych, opracowano na przykładzie jednego z dolnośląskich kamieniołomów metodę identyfikacji partii blocznych w złożu. W wyniku własnych badań oszacowano wykształcenie powierzchni ciosowych skał na wybranych ścianach wyrobiska. Powierzchnie te zostały scharakteryzowane za pomocą kartowania oraz pomiarów ich azymutów zapadu oraz wielkości kąta upadu (rys. 1).

Uzyskano obraz pozwalający na wyodrębnienie dwóch



Rys. 1. Róża spēkań ściany wyrobiska
Fig. 1. A radial diagram of wall

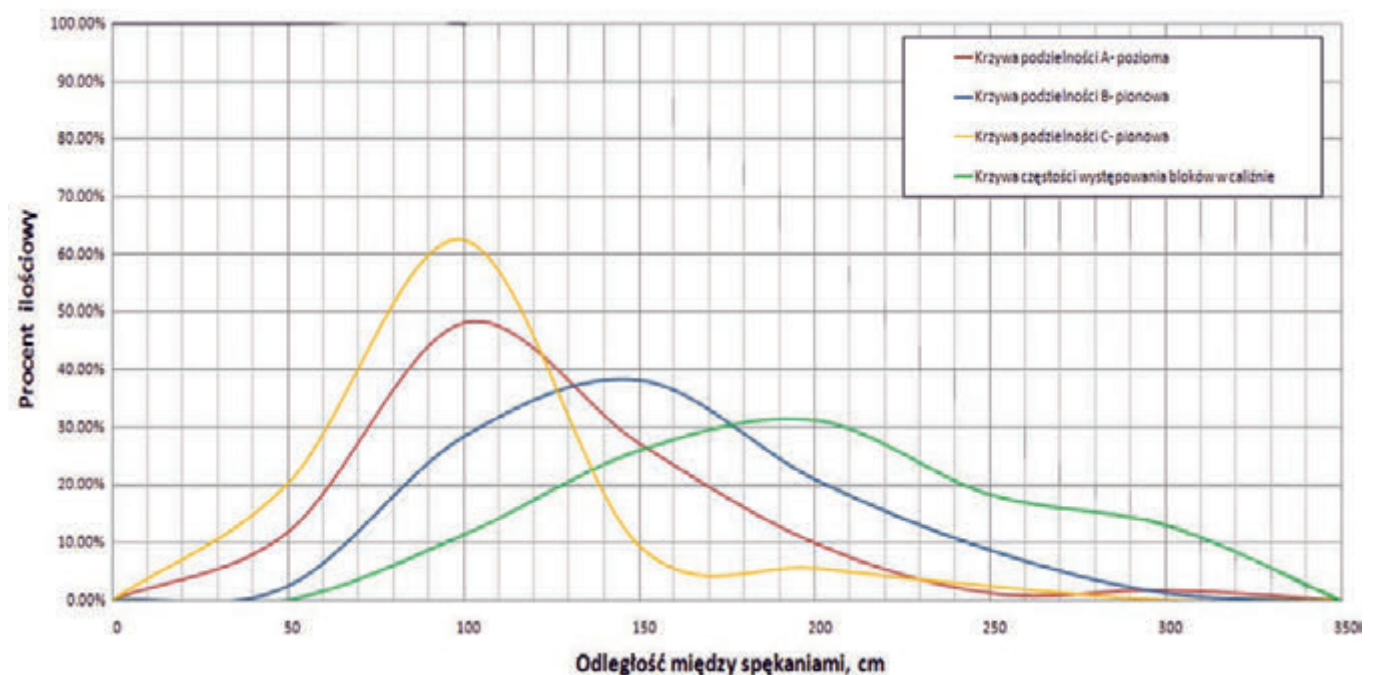
dominujących zespołów spękań wraz z określeniem płaszczyzn podzielnosci. Interpretując powyższy nomogram nasuwa się wniosek, że front eksploatacyjny powinien być prowadzony prostopadłe do dwusiecznej kąta, pod którym przecinają się dominujące zespoły spękań, a więc w kierunku południowym o azymucie wynoszącym około 183°. Dodatkowo określono pionową i poziomą częstość występowania płaszczyzn podzielnosci. Pomiary wykonano w kilku profilach podzielnosci pokładowej i kilku poziomych podzielnosci stromo zapadającej. Wyniki pomiarów odległości liniowej w poziomie (pomiędzy kolejnymi pionowymi płaszczyznami spękań ciosowych) oraz w pionie (pomiędzy płaszczyznami ciosu pokładowego) zestawiono w tabeli 3. Na podstawie uzyskanych danych wykreślono krzywe częstości spękań (rys. 2), które obrazują rozkład natężenia spękań dla każdego z kierunków płaszczyzn

podzielnosci [1].

Zbliżony charakter krzywych I, II i III wykazuje, iż wszystkie kierunki spękań występują w złożu z podobnym natężeniem. Krzywa częstości występowania bloków w caliznie pozwala w sposób przybliżony ustalić procentowy wychód poszczególnych klas wielkości bloków w caliznie. Z powyższego wynika, że w rozpatrywanym przypadku możemy się spodziewać znacznego udziału bloków o wymiarach ok. 160 cm (9,5 %), 190 cm (7,5 %), 230 cm (6,5 %). Przeprowadzona ocena bloczności metodami tradycyjnymi, pozwoliła wyznaczyć średnie rozmiary pozyskiwanych bloków (0,98 m x 1,3 m x 0,7 m) i bloku maksymalnego (2,9 m x 2,8 m x 2,4 m). Z danych kopalni wynika że, średnia objętość wydobytego bloku w roku 1999 wynosiła 0,83 m³, w roku 2000 r. 0,93 m³, a w 2011 roku - 0,98 m³.

Tab. 3. Wyniki pomiarów liniowej gęstości spękań dla płaszczyzn podzielnosci A,B,C
Tab. 3. Results of incidence fractures measurements

Klasa [cm]	Płaszczyzna podzielnosci A (horyzontalna), B (wertykalna) i C (wertykalna)								
	Ilość pomiarów			Procent ilościowy [%]			Objętość całkowita danej klasy [m ³]		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0-50	28	2	26	11,91	2,47	20,31	0,44	0,03	0,41
50-100	113	23	80	48,09	28,40	62,50	47,7	9,7	33,8
100-150	64	31	12	27,23	38,27	9,38	125,0	60,6	23,4
150-200	23	17	7	9,79	20,99	5,47	123,3	91,1	37,5
200-250	3	7	3	1,28	8,64	2,34	34,2	79,7	34,2
250-300	4	1	0	1,70	1,23	0,00	83,2	20,8	0,0
300-350	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0
Σ	235	81	128	100	100	100	413,8	261,9	129,3



Rys. 2. Charakterystyka bloczności górotworu
Rys. 2. Block separateness of rock mass

Skaning laserowy

Obecnie, w coraz szerszym stopniu, jako narzędzie pomiarowo-wizualizacyjne znajdują zastosowanie skanery laserowe. Zalety skanera laserowego wpływają na jego szerokie spektrum zastosowania. Skaning laserowy wykorzystywany jest w działalności górniczej. Może być on używany nie tylko do ochrony partii bocznych złóż ale i szacowania wielkości zasobów, identyfikacji i projektowania przestrzennej konfiguracji wyrobiska, szacowania objętości zabierki oraz wyznaczania objętości hałd, składowisk i osuwisk. Ponadto jest bardzo przydatny przy projektowaniu robót strzałowych oraz szacowaniu wielkości wód spływu powierzchniowego. Zalety i wady jak i możliwości wykorzystania zestawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Zalety i wady skanera laserowego
Tab. 4. The advantages and disadvantages of the laser scanner

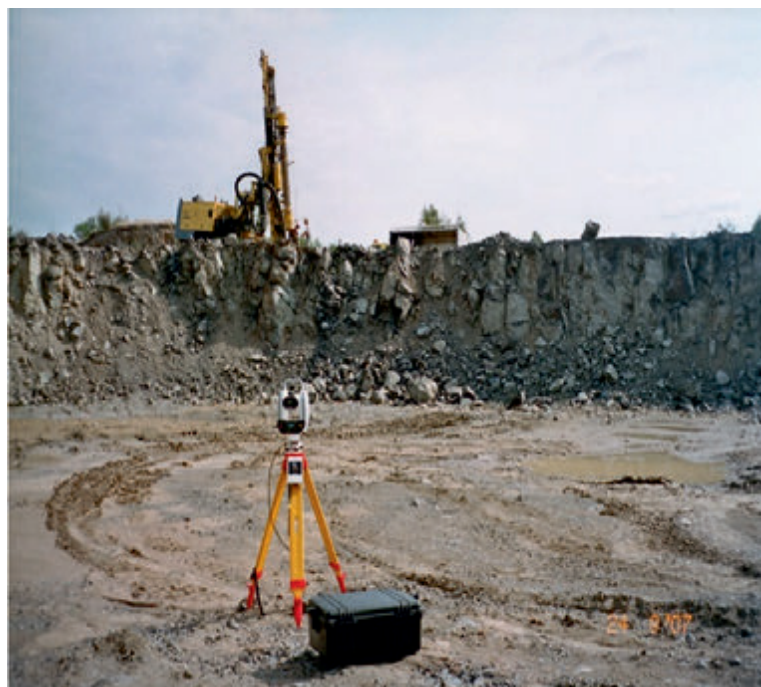
Zalety	Wady
Dokładność pomiaru porównywalna do tradycyjnych metod pomiaru geodezyjnego	Brak możliwości skanowania podczas złych warunków atmosferycznych
Szybkie pomiary dużych obiektów nawet trudno dostępnych	Uzyskanie sporych ilości danych ze skanowania powoduje wydłużenie okresu ich przetwarzania
Pomiar bezinwazyjny (nie trzeba wstrzymywać pracy maszyn)	Konieczność operowania specjalistycznym, skomplikowanym oprogramowaniem
Uzyskana z pomiarów „chmura punktów”, przedstawia obiekt w układzie 3D	Wysoka cena sprzętu i oprogramowania do przetwarzania danych
Trójwymiarowy model wyrobiska oraz zdjęcia przekazują więcej informacji aniżeli tradycyjna mapa wektorowa	
Duża szczegółowość danych, krótki czas pomiaru, wysoka precyzja	

Ocena bloczności przy zastosowaniu skanera laserowego jest nową alternatywą dla metod tradycyjnych. W ramach badań posłużono się skanerem laserowym MDL QuarryManPro (rys. 3).

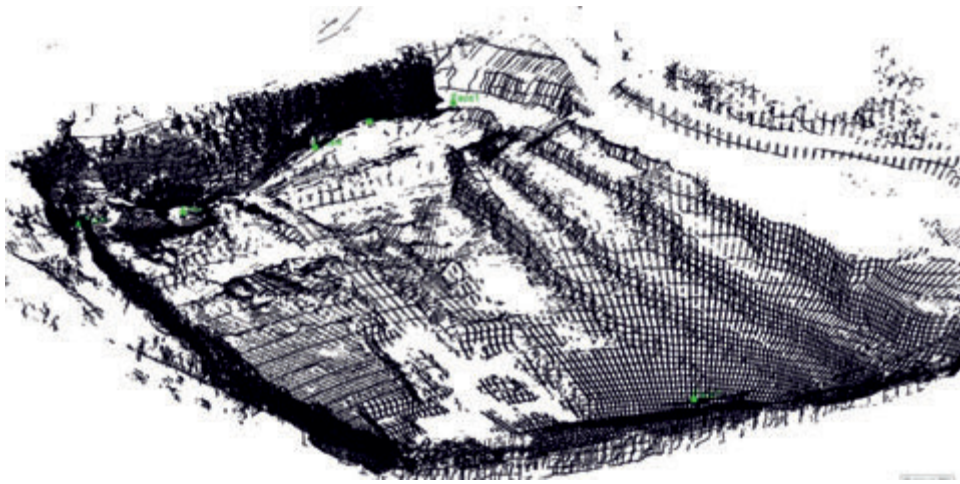
Po przeskanowaniu wyrobiska uzyskano zbiór 1,3 miliona punktów. Każdy z punktów miał przypisane do siebie trzy współrzędne x, y, z, które po nałożeniu i zorientowaniu ich do jednego układu współrzędnych utworzyły trójwymiarowy model wyrobiska (rys. 4). Po sczytaniu z karty pamięci (znajdującej się w skanerze) punktów z wyrobiska, za pomocą programu MDL, przeprowadzono filtrację danych, które powstały po odbiciu wiązki lasera np. od poruszających się samochodów po skanowanym obszarze. Dodatkowo, usunięto w programie takie elementy jak drzewa, które znajdowały się na skanowanej ścianie. Pozostałe punkty niezbędne do utworzenia modelu zostały wyeksportowane do edytowalnego formatu *dxg*. Rozszerzenie *dxg* pozwala opracowywać dalej model w takim programie jak Microstation czy AutoCad. Następnie posiadając

chmury punktów model poddano triangulacji. Otrzymano w ten sposób model odpowiadający rzeczywistemu kształtowi skanowanej ściany [6].

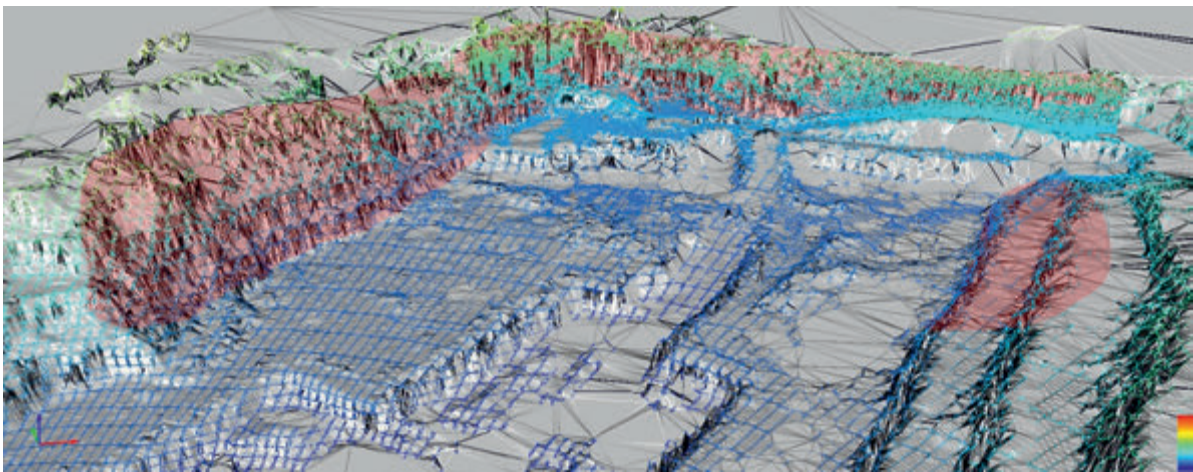
W celu jego sprawdzenia, otrzymany model zestawiono



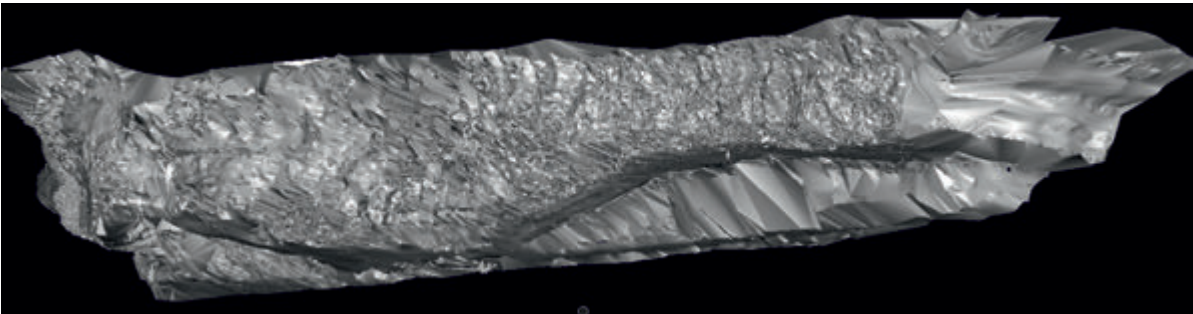
Rys. 3. Skaner laserowy MDL QuarryMan Pro
Fig. 3. Laser scanner MDL QuarryMan Pro



Rys. 4. Trójwymiarowy model wyrobiska po skaningu laserowym z nałożeniem i zorientowaniem punktów pomiarowych
 Fig. 4. A three-dimensional mining excavation model after the imposition and oriented measurement points



Rys. 5. Wizualizacja wyrobiska z wyodrębnionymi partiami blocznymi
 Fig. 5. Visualization of mining excavation with parties of block separateness



Rys. 6. Odzworowanie numeryczne ściany eksploatacyjnej
 Fig. 6. Numerical model of wall



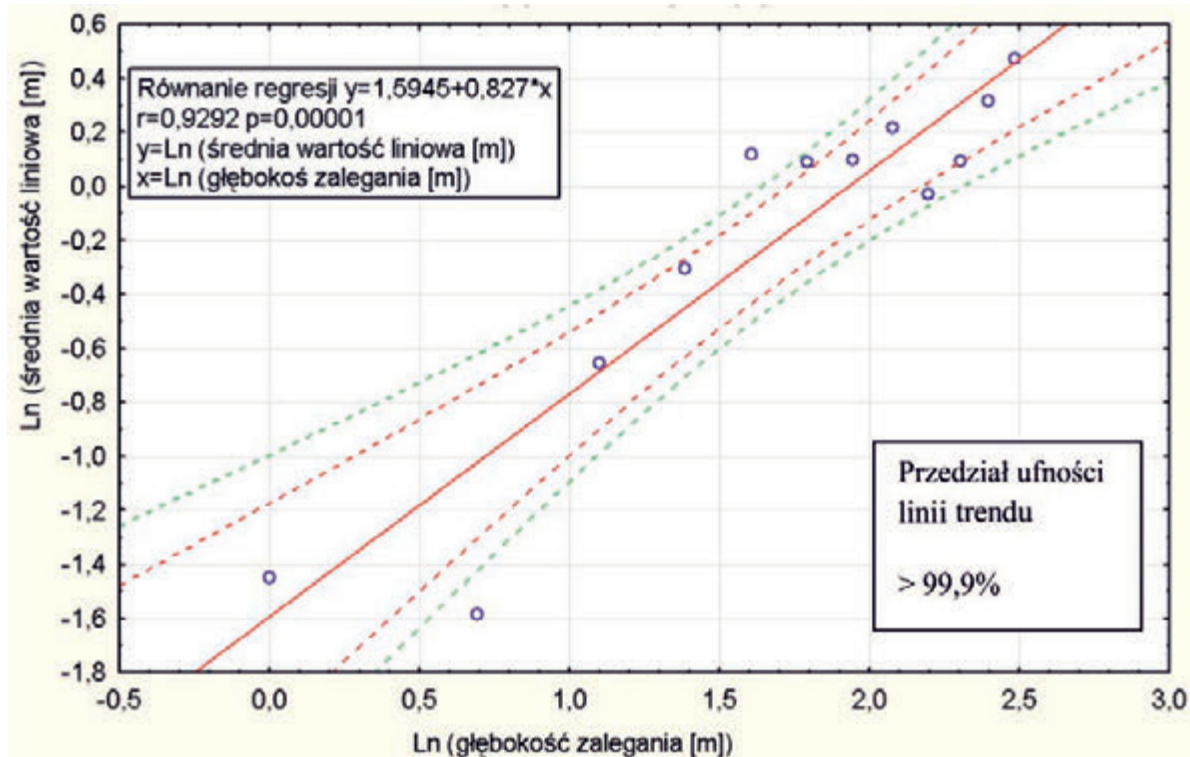
Rys. 7. Widok na ścianę eksploatacji w formie modelu numerycznego z teksturą
 Fig. 7. View on the eastern side wall - numerical model with a texture

z fotografiami, które wykonano na terenie kopalni (rys.7). W wyniku tego zabiegu możliwe było naniesienie tekstury złoże. Pozwoliło to na określenie lokalizacji partii blocznych złoże, wgłębień, nawisów na ociosie, a przede wszystkim ukazaniu systemu charakterystycznych spękań.

W celu dalszej oceny określono zmiany naturalnej bloczności oraz wyznaczono liniową gęstość spękań w funkcji głębokości zalegania. Wyniki zostały uśrednione i zestawione w tabeli 5. Po uśrednieniu wyników przedstawiono analizę trendu zmienności bloczności złoże (rys. 8). Widoczny jest wyraźny trend o ufności powyżej 99,9%. Wykonany skaningu pozwolił też na sporządzenie wykresu zmienności naturalnej bloczności (rys. 9).

Tab. 5. Uśrednione wyniki liniowej gęstości spękań w funkcji głębokości zalegania
Tab. 5. Averaged results of the linear density of chaps in the function of the depth of lying

H [m]											
0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
0,24	0,21	0,52	0,74	1,13	1,10	1,10	1,24	0,97	1,10	1,37	1,60



Rys. 8. Analiza trendu zmienności bloczności złoże
Rys. 8. Trend analysis of the changeability deposit's block separateness

Analiza zmienności bloczności sporządzona w oparciu o skaningu laserowy pokazuje, że surowiec kruszywowy zalega do głębokości 3,7 m. Strefa przejściowa ma około 5 m, a po niej od głębokości około 8,5 m występuje strefa bloczna. Wyodrębnienie tych stref jest cenną wskazówką dla technologów i górników, jak należy poprowadzić piętra eksploatacyjne aby otrzymać zarówno kruszywo jak i bloki.

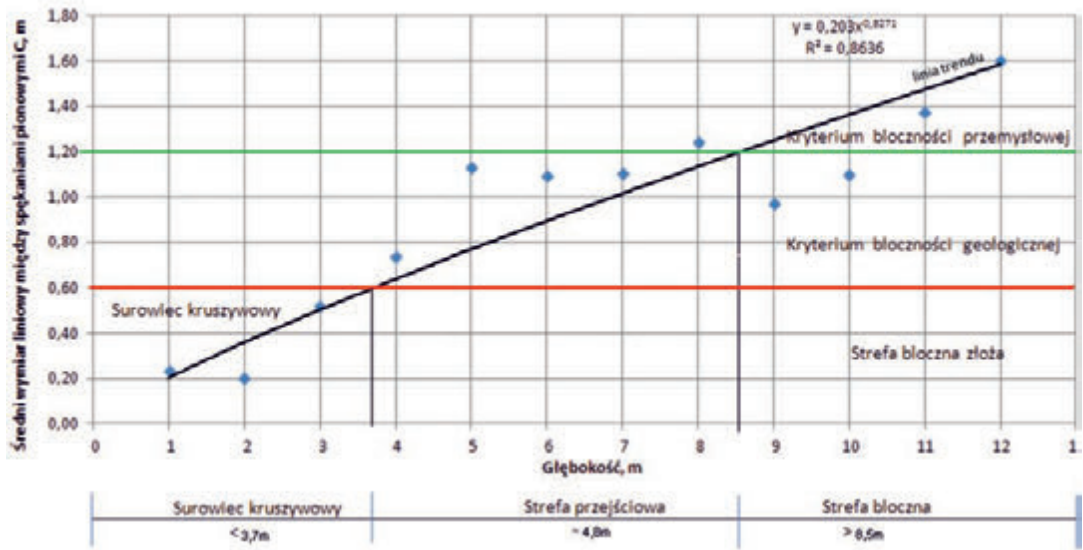
Wykonany skaningu laserowy pozwala na uzyskanie obrazu ściany wyrobiska wraz z zabierką strzałową (rys.10). W oparciu o to, możemy odpowiednio dobrać parametry strzałowe tj. wielkość przybitki, przewiertów oraz ilość MW przeznaczanego na urobienie.

Przedstawiona ściana charakteryzuje się różną gęstością spękań. Z jednej strony spękania są bardzo gęste, a z drugiej rzadsze. W związku z tym, parametry strzelania w obu przypadkach będą dobrane różnie w tym rejonie. Mając taki obraz, dostosowujemy parametry do siatki otworów strzałowych, aby uzyskać materiał skalny na kruszywo, nie niszcząc przy tym partii blocznej złoże.

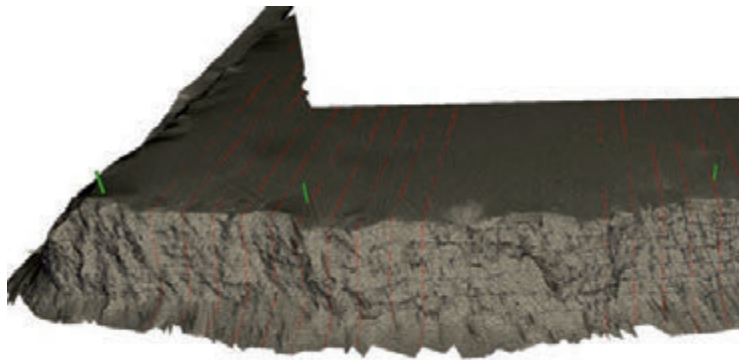
W celu praktycznego wykorzystania wyników przeprowadzonych badań opracowano ogólną procedurę wykorzystania skaningu laserowego w racjonalnym wykorzystaniu zasobów i optymalizacji technologii wydobywania. Schemat procedury w celu racjonalnego wykorzystania zasobów złoże surowców skalnych i rozdziału surowca na bloczne i kruszywowe przedstawiono

na rysunku 11.

Przedstawiona metoda pozwala w obrębie jednego złoże wyodrębnić różne, pod względem możliwości wykorzystania partie tego samego surowca, które mogą być traktowane jako kopalina towarzysząca [5]. I tak w złoże blocznym część spękania nie spełniająca technologicznych kryteriów bloczności może zostać wyodrębniona jako pełnowartościowy surowiec do produkcji kruszyw. Wykorzystanie procedury aplikacyjnej umożliwiło z kolei opracowanie procedury technologicznej wspomagającej urabianie złoże blocznych techniką strzelniczą (rys. 12).



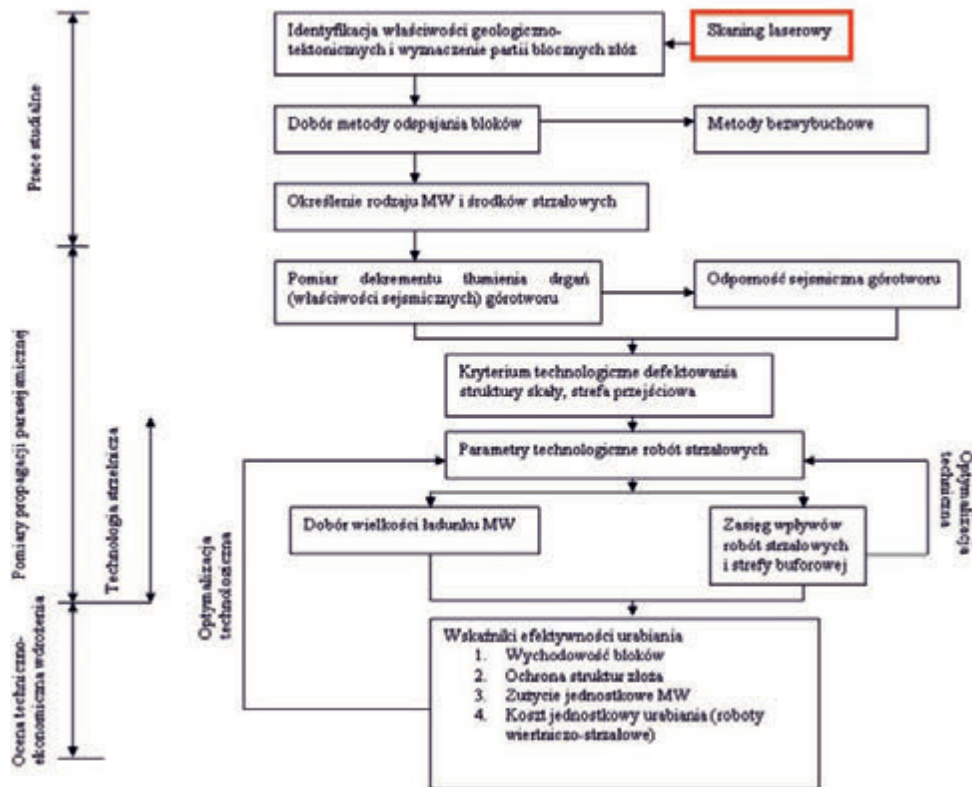
Rys. 9. Wyniki zmian naturalnej bloczności w funkcji głębokości zalegania
 Rys. 9. Results of changes natural block separateness in the function of the depth of lying



Rys. 10. Wizualizacja parametrów geometrycznych siatki otworów strzałowych
 Rys. 10. Visualisation of geometrical parameters of the net of blasthole



Rys. 11. Procedura aplikacyjna kierunków wykorzystania złoża surowców skalnych
 Rys. 11. The application procedure showing the directions of the mineral deposits



Rys. 12. Procedura wdrożenia techniki strzelniczej w urabianiu złóż blocznych
 Rys. 12. The procedure of blasting work in getting deposit's block separateness

Podsumowanie

Ochrona partii blocznych złóż wymaga przy zastosowaniu w eksploatacji materiałów wybuchowych szczególnej uwagi. Skaner laserowy pozwala uwzględnić wpływ robót strzałowych na przyległe partie bloczne. Otrzymany ze skanowania model numeryczny z teksturą złoża umożliwia odpowiedni dobór parametrów do siatki otworów, aby uzyskać materiał skalny na kruszywo, nie niszcząc przy tym partii blocznej złoża. Dostępne na rynku nowoczesne materiały wybuchowe pozwalają na jednoczesne skojarzone urabianie złóż, zarówno na potrzeby produkcji kruszyw łamanych, jak i elementów blocznych.

Praktyka wykazuje, że niejednokrotnie na skutek nieumiejętnego stosowania materiałów wybuchowych ulegała obniżeniu bloczność złoża lub wręcz całkowita jego utrata. Wykorzystując pomiary skaningowe, w celu wyodrębnienia partii blocznych i dostosowania techniki urabiania, uzyskano nowe możliwości ochrony bloczności złóż. Przedstawiona metoda ochrony partii blocznych za pomocą skanera laserowego stwarza nowe możliwości poprawy efektywności eksploatacji i bezpiecznego wydobywania oraz racjonalnego wykorzystania zasobów.

Artykuł powstał w ramach projektu rozwojowego NR09-0061-10/2011 pt.: „Zintegrowany system sterowania technologią odkrywkowa wydobywania surowców skalnych” finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Literatura

- [1] Bromowicz J., Karwacki A., 1982. Metodyka badań bloczności złóż budowlanych materiałów kamiennych, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa
- [2] Brych M., Grześkowiak A., 2008. Wykorzystanie systemu skanującego w projektowaniu i eksploatacji złóż kopalni skalnych, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego nr 6
- [3] Modrzejewski Sz., 2003. Urabianie złóż blocznych techniką strzelniczą, Kopaliny ISSN1730-7848
- [4] Modrzejewski Sz., 2003. Uwarunkowania zachowania bloczności złóż urabianych techniką strzelniczą, Zbiorowe Wydawnictwo Konferencyjne Akademii Górniczo-Hutniczej
- [5] Nieć M., 2010. Kopaliny towarzyszące i złoża antropogeniczne problemy definicji i wykorzystania, Górnictwo Odkrywkowe nr 2
- [6] Rogosz K., Ślusarczyk S., 2011. Laser na granicy, Surowce i maszyny budowlane