

*skały zwięzłe, technika strzelnicza,
urabianie pod wodą*

Grzegorz LIBERKA*
Leszek PIKUŁA

WYBRANE ASPEKTY URABIANIA SKAŁ ZWIĘZŁYCH POD WODĄ W PORCIE NORRKÖPING

Przedstawiono przykład nowoczesnych rozwiązań wydobywania kopalin spod wody z wykorzystaniem zasad techniki strzelniczej, z uwzględnieniem operacji wiercenia, załadunku MW do otworów oraz sposobów ich inicjacji. Opisano zastosowane sposoby zabezpieczeń przed drganiem oraz perspektywy rozwoju tej metody urabiania skał pod wodą.

1. WSTĘP

W związku z ograniczoną możliwością pozyskiwania kopalin ze złóż lądowych coraz częściej zachodzić będzie potrzeba sięgania po złoża z dna mórz i oceanów. Część kopalin zlokalizowanych pod dnem, mających charakter skał z kategorią zwięzłości powyżej VI (wg BN-72/8932-01) może być urabiana jedynie z wykorzystaniem zasad techniki strzelniczej; inne rozwiązania są nieekonomiczne. Obecnie, w zależności od umiejscowienia stropu złoża pod wodą wyróżnia się rozwiązania eksploatacyjne [1–7]:

- wiercenie i strzelanie calizny skalnej zalegającej na głębokości do 4 m pod wodą wykonywane z nadwodnej powierzchni nasypu wykonanego z kruszywa,
- wiercenie i strzelanie z pokładu jednostek pływających; najczęściej barek przy głębokości zalegania stropu pod wodą od 5 do 20 m,
- wiercenie i strzelanie przez nurków na głębokościach wody od 20 do 30 m,
- nakładane ładunki kumulacyjne; stosowane przy głębokościach stropu powyżej 30 m.

Ponadto przy wyborze rozwiązań wiercenia i strzelania parametry średnicy otworów strzałowych oraz ich rozmieszczenie uzależnione jest od rodzaju skały oraz koparek pływających do wydobywania odstrzelonego pod wodą urobku.

* Maxam Polska Sp. z o.o., 59-140 Chocianów, Duninów 3, grzegorz.liberka@maxam-europe.com.pl

2. OPIS ROZWIĄZAŃ

Jedną z wiodących firm w zakresie stosowania techniki strzelniczej pod wodą jest Maxam Co. Uczestniczyła ona czynnie w projektach związanych z pogłębianiem akwenów, a m.in. portu Norrköping, na rzece Nil, a także Kanału Panamskiego.

Wyszczególnione pogłębianie dna na torze wodnym oraz w porcie Norrköping polegało na urabianiu metodą wybuchową granitowego ośrodka skalnego, którego strop zalegał na głębokości od 14 do 16 m. Zastosowano wiercenie otworów strzałowych z pokładu barki 4 wiertnicami hydraulicznymi BOART ze stałym masztem wysokości 30 m.

W pierwszej fazie wiercenia zostaje opuszczona i stabilizowana na stropie urabianej warstwy rura osłonowa o średnicy 150 mm. Mechanizm wiertnicy z hydraulicznym silnikiem obrotu i udaru rury osłonowej, posiadającej w dolnej części koronkę widiową w formie zębów umieszczonych na obwodzie. Po opuszczeniu rury osłonowej silnik hydrauliczny przesuwany jest w górne położenie w celu przyłączenia zestawu żerdzi roboczej. W tym czasie rura osłonowa podtrzymywana była przez szczęki hydrauliczne. Po przyłączeniu do silnika zestawu żerdzi roboczej $\varnothing 102$ mm o długości około 15 m z dolnym młotkiem i koronką widiową $\varnothing 115$ mm, zestaw wprowadzany był do rury osłonowej i następowało wiercenie. Po wykonaniu wiercenia na odcinku około 3 m zestaw był przedłużany o kolejne 3 m segmenty dla wykonania wiercenia na żadaną głębokość. Bezpośrednio po zawierceniu otworu żerdź była wyjmowana. Następnie do otworu wprowadzano dwa uzbrojone ładunki udarowe (pentolitowe, każdy o masie 450 gram). Ładunki te opuszczano na przewodach zapalników nieelektrycznych Primadet DDX [6]. Po opuszczeniu tych ładunków strzałowy obliczał masę MW do wtłoczenia. Kolejno na dno otworu opuszczany zostaje wąż do wtłaczania płynnego MW o nazwie RIOFLEX. Materiał ten posiada prędkość detonacji (VOD) 5 500 m/s w otworach z przybitką dla ładunków nabojoyanych o średnicy 127 mm lub w wersji pompowanej dla otworów o średnicy 140 mm. Energia jego wybuchu wynosi 911 cal/g. Na końcu węża znajdował się specjalny aplikator służy jako obciążnik węża, ponadto ma on za zadanie sprawne przesuwanie węża ku górze.

Pompowanie zaprogramowanej ilości MW do otworu było ściśle zsynchronizowane z przesuwaniem węża ku górze. Po podaniu wymaganej ilości materiału i odczekaniu kilku minut na uzyskanie efektu gazowania MW wykonywana była przybitka z grysu; której długość wynosiła 1 m. Kolejny etap to usunięcie rury osłonowej i wyłowienie przewodów zapalników. Końcówki zapalników, wypływały na powierzchnię wody, gdyż przymocowano je do bojki z pustej butelki plastikowej.

Sieć strzałowa łączona była na pomoście wiertnicy i wrzucana do wody. W celu zabezpieczenia przed dryfowaniem sieć strzałowa była zakotwiczona i wzmocniona linką przyczepioną do kotwic i boi sygnalizacyjnych. Po tych czynnościach wiertnica przesuwała się po odpowiednich prowadnicach na nową pozycję, o z góry określoną odległość pomiędzy otworami.

Barka wyposażona jest w 4 wiertnice poruszające się na stalowych szynach. Wiertnice operowały w określonej strefie. Po wykonaniu rzędu otworów w zasięgu pokładu, każda z wiertnic wykonywała 3 do 4 otworów w rzędzie, a następnie barka przeholowywana była na nową pozycję, ustaloną przez GPS. Wykonywane z pokładu barki wiercenia stanowią powtarzalny element siatki wierceń. Ogólny widok pokładu barki ilustruje rys. 1.



Rys. 1. Fragment pokładu barki z kasetami i wiertnicą
Fig. 1. Part of the board with cassettes and drilling rig

Stosowane były dwa rodzaje opóźnień: pomiędzy poszczególnymi otworami 42 ms i 25 ms pomiędzy szeregami otworów. Strzelania przeprowadzano kilka razy dziennie lub raz na kilka dni w zależności od potrzeb. Częstotliwość ta uzależniona była od odległości miejsca strzelanie do obiektów chronionych. Według zaleceń NITROCONSULT stosowano kryteria dopuszczalnych prędkości V_{\max} (tab. 1).

Tabela 1

Dopuszczalne prędkości drgań w zależności od obiektów chronionych

Typ instalacji	Odległość [m]						
	1	3	5	10	20	30	50
	Dopuszczalna prędkości drgań [mm/s]						
Nabrzeże Pampus	121	113	106	97	84	77	65
Nabrzeże dla tankowców	64	62	59	55	49	48	44

Występowały przypadki konieczności strzelania skały przy samym nadbrzeżu. Stosowano wówczas specjalne środki zabezpieczające. Takim środkiem była szczelina w caliznie. Wykonywano ją tzw. piłą wiertniczą. Powstająca nieciągłość calizny skutecznie ogranicza zasięg drgań i spękań. Dodatkowo otwory wykonane piłą wiertniczą do projektowanej rzędnej wypełniane były zaślepionymi rurami plastikowymi, częściowo obciążane złomem stalowym.

Materiał wybuchowy RIOFLEX produkowany był na miejscu z kasy mieszalniczo-załadowniczej i wtłaczany do otworów. Zastosowano sprawdzony w warunkach eksploatacji podziemnej układ, jedynie z tą różnicą, że nie użyto mobilnego podwozia. Kasetę do produkcji MW została zbudowana w formie mini kontenera, wyposażonego w:

- zbiorniki na surowce (matryca około 2 ton, woda technologiczna 200 l),
- uczulacz 50 l i kwas octowy 50 l,
- zespół silników i pomp oraz zespół sterujący silnikami elektrycznymi.

Innowacyjnym rozwiązaniem technicznym w kasecie było komputerowe sterowanie silników krokowych. Rozwiązanie to zapewnia precyzyjne dozowanie składników MW. Kasetę była okresowo przeglądana i kalibrowana. Ze względu na wydajności wtłaczania i konieczność zapewnienia niezawodności systemu zainstalowano na barce dwie kasety. Wydajność kasy zmieniała się w granicach 1,5 t do 2 t/zmianę. Ekstremalnie wtłoczono 5,6 t z jednej kasy.

Parametry rozmieszczenia siatki otworów strzałowych uzależnione były od geotechnicznego rozpoznania parametrów skały oraz od rodzaju koparki do wydobywania odstrzelonego urobku spod wody. W opisywanym przypadku stosowano siatkę otworów o zabiorze 4,0 m i odległości między otworami 5,0 m. Parametry te odpowiedni dobierano dla koparki jednonaczyniowej o pojemności łyżki 6 m³. W przypadku mniejszej koparki z łyżką 3 m³ siatka otworów była zagęszczona do zabioru 3,5 m i odległości między otworami 3,5–4,0 m. Wykonano również próbne strzelanie z zagęszczoną siatką przy zabiorze 3,0 m i odległościach między otworami 3,0 m w celu sprawdzenia możliwości wydobywania urobku koparką ssącą z głowicą zruszającą [3]. Przykładowe parametry strzelań pod wodą dla wydobywania urobku różnymi koparkami przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Parametry strzelań; projekt TOSKA wg [5]

Parametr strzelania	Strzelanie wzorcowe	Wydobywanie koparką	
		z łyżką podsiębierną	chwytakową
Średnica otworu [mm]	150	150	150
Zabior \times odległość między otworami [m]	4,5 \times 4,5	6,5 \times 8,0	6,0 \times 6,5
Przewiert [m]	2,0	4,0	3,0
Wskaźnik zużycia MW Rioflex [kg/ m ³]	1,2	0,48	0,65
Opóźnienie między otworami [ms]	25	25	25
Opóźnienie między rzędami otworów [ms]	42	67	42



Rys. 2. Pływająca koparka łyżkowa w trakcie załadunku barki
 Fig. 2. Floating single-bucket excavator loading barge

Na szczególną uwagę zasługiwała sprawna organizacja prac w zakresie dostaw matrycy oraz środków strzałowych, co wynika z wieloletnich doświadczeń przedsiębiorstwa Maxam Co w wykonywaniu dostaw środków strzałowych i MW do strzelań podwodnych. Całość produkcji MW opiera się na składnikach niewybuchowych klasy 5.1 według ADR.

3. PODSUMOWANIE

Przedstawione rozwiązania zapewniały wysoką wydajność pracy i niezawodność urządzeń. Rozpatrując opisane rozwiązania z punktu widzenia poniesionych kosztów jednostkowych, to wynosiły one 2,92 \$/m³ urobionej skały; w przypadku ładunków nabożowanych koszt ten wyniósłby około 6,52 \$/m³.

Przy zastosowaniu innego rodzaju wiertnic istnieje możliwość zwiększenia pionowego zakresu wydobywania z większych głębokości bez konieczności stosowania bardzo drogich i niebezpiecznych wierceń prowadzonych z dna przez nurków.

Technika urabiania skał zwięzłych pod wodą będzie się rozwijać. Jej efektywne wdrażanie uzależnione jest od popytu i cen na rynku surowcowym oraz ograniczonego dostępu do ładowych zasobów niektórych kopalin.

LITERATURA

- [1] Blasters Handbook CIL. Montreal 1970.
- [2] CANO M.L., *Maxam Panama Canal Project V.1.2*, 2010.
- [3] GLAPA W., KORZENIOWSKI J.I., *Mały leksykon górnictwa odkrywkowego*, WiSG Burnat & Korzeniowski, Wrocław 2005.
- [4] *Manual de empleo de explosivos*, Graficas Rogar, Madryt 2004.
- [5] OLOFSSON S.O., *Applied explosives technology for construction and mining*, Ärla 2004.
- [6] PERSON P.A., HOLMBERG R., Lee J., *Rock Blasting and Explosives Engineering*, CRC Press, 1994.
- [7] Tamrock Handbook 1984.

SELECTED TECHNOLOGY ASPECTS OF UNDERWATER HARD ROCK BLASTING EXPLOITATION BY EXAMPLE SUPPORTED OF WORK IN NORRKÖPING PORT

Revue of new technology used for underwater exploitation by using blasting works with consideration of drilling, charging and initiating. Method used for vibration protection was presented and development perspectives of underwater exploitation was qualified.