

Warunki bezpiecznego prowadzenia prac makroniwelacyjnych z zastosowaniem materiału wybuchowego

Safety requirements of macro-levelling works by use of explosives



Mgr inż. Arkadiusz Grześkowiak^{*)}



Mgr inż. Sławomir Patla^{*)}



Mgr inż. Kamil Rogosz^{*)}

Treść: W artykule przedstawiono rozwiązania techniczno-organizacyjne poprawiające bezpieczeństwo prowadzenia prac makroniwelacyjnych z wykorzystaniem techniki strzałowej. Zebrane doświadczenia związane z udziałem przy projektowaniu oraz wykonywaniu prac wiertniczo-strzałowych w odkrywkowych zakładach górniczych, zweryfikowane pomiarami i oceną oddziaływań środowiskowych pozwoliły na określenie warunków efektywnego prowadzenia urabiania przy pomocy MW i zachowania bezpieczeństwa podczas wykonywania prac makroniwelacyjnych. Rozwiązania stosowane w ostatnich czasach w odkrywkowych zakładach górniczych oraz prowadzone badania i obserwacje pozwalają na weryfikację założeń projektów dotyczących usuwania zwięzłych skał w pracach budowlanych i bieżącą kontrolę efektów strzelania.

Abstract: This paper presents organizational and technical solutions aiming at the improvement of safety of macro-levelling works carried out with the use of blasting techniques. Experience gained in designing and implementation of drilling and blasting works in opencast mining companies, verified by measurements and environmental impact assessments, allowed to define conditions for effective excavation with the use of explosives as well as to maintain safety during macro-levelling works. Analysis of solutions currently applied in opencast mines as well as research and observations enabled the verification of assumptions of projects of cohesive rocks removal during construction works and operational control of blasting effects.

Słowa kluczowe:

surowce skalne, technika strzelnicza, górnictwo, makroniwelacja

Key words:

rock raw materials, blasting techniques, mining, macro-levelling

1. Wprowadzenie

Usuwanie lub profilowanie zwięzłych warstw skalnych, wymaga użycia efektywnych metod strzałowych zapewniających bezpieczeństwo otoczeniu i przyległym obiektom. Celem realizacji takich prac jest równoległe spełnienie wymogów bezpieczeństwa w zakresie rozrzutu odłamków skalnych, powietrznej fali uderzeniowej, drgań parasejsmicznych oraz odspojenia, skruszenia i przemieszczenia skał. Ponadto przygotowanie i wykonanie odstrzałów musi się odbywać najczęściej w czasie niekolidującym z odbywającymi się pracami (budowlanymi, pomiarowymi, dostawami materiałów, sprzętu itp.).

Skoordynowanie prac wiertniczo-strzałowych na ograniczonym terenie, wymaga dobrej organizacji i harmonogramu czynności. Próby usunięcia skał najmniejszym nakładem

energii i środków kończą się najczęściej niepowodzeniem, uszkodzeniem sprzętu lub niebezpiecznymi zdarzeniami.

Do osiągnięcia założonych celów z powodzeniem wykorzystywane są sprawdzone i skuteczne metody prowadzenia robót wiertniczo-strzałowych, zaczerpnięte z odkrywkowych zakładów górniczych.

Zastosowanie na etapie projektowania, specjalistycznego oprogramowania komputerowego do analizy danych przestrzennych oraz użycie nowoczesnych materiałów wybuchowych i środków strzałowych, umożliwia precyzyjny dobór parametrów strzelania. Uwzględniając lokalizację i specyfikę przyległych obiektów podlegających ochronie, możliwa jest istotna redukcja niekorzystnych oddziaływań. Prowadzenie bieżącego monitoringu oddziaływania drgań parasejsmicznych i cyfrowej rejestracji odstrzałów, pozwala na każdorazową analizę wyników oraz możliwość korekty parametrów i minimalizację zagrożeń w kolejnych odstrzałach.

Obiektami podlegającymi ochronie w trakcie realizacji makroniwelacyjnych robót strzałowych są najczęściej są-

^{*)} „Poltegor –Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław.

siednie obiekty kubaturowe i liniowe, ale także maszyny i urządzenia budowlane oraz instalacje lub elementy przyrody. Nowoczesne technologie prowadzenia makroniwelacyjnych robót strzałowych łączą w sobie zaawansowane metody projektowania, analizy i monitoringu oddziaływań i wielokrotnie potwierdziły swą efektywność przy odspajaniu i rozdrabnianiu skał w trakcie realizacji inwestycji drogowych czy wkopów pod rurociągi czy fundamenty na terenach górzystych. Stosowanie materiałów wybuchowych (MW) w robotach budowlanych regulują zapisy zawarte m.in. w odpowiednich rozporządzeniach (Dz.U. Nr 117 poz. 1007, Dz.U. 42 poz. 216).

2. Identyfikacja warunków geotechnicznych i ocena budowy obiektów chronionych

Podstawą każdego projektu robót wiertniczo-strzałowych jest pozyskanie informacji dotyczącej budowy geologicznej skał przewidzianych do usunięcia, ich parametrów wytrzymałościowych oraz ustaleń rzeczywistych warunków dotyczących spękań górotworu, miejsc występowania zwietrzliny oraz lokalizację i specyfikę obiektów chronionych. Poza wizją lokalną, bardzo przydatne okazuje się pozyskanie danych przestrzennych (skanning, fotogrametria) pozwalające na utworzenie cyfrowego modelu terenu i infrastruktury. Projektowanie kształtu wykopu, wielkości zabierek czy rozmieszczenia otworów strzałowych na modelu 3D pozwala precyzyjnie zaplanować prace wiertniczo-strzałowe. Na model taki można także nanieść plany budowlane lub inne elementy, oraz ustalić dokładnie kubaturę skał do rozluźnienia i usunięcia. Możliwe jest także typowanie miejsc rozpoczęcia robót wiertniczo-strzałowych uwzględniających warunki budowy geologicznej. Aktualizowany na bieżąco model przestrzenny stanowi wygodny i precyzyjny materiał porównawczy ułatwiający prowadzenie kolejnych etapów robót strzałowych zapewniających optymalne warunki rozmieszczenia i długości otworów strzałowych oraz ich wypełnienia materiałem wybuchowym. Możliwe jest uwzględnienie oczekiwań dotyczących rozdrobnienia skały, kształtu usypu i ograniczenia zagrożeń (bądź świadomego ukierunkowania niektórych oddziaływań).

Utrudnieniem przeprowadzenia robót strzałowych jest najczęściej bliska lokalizacja obiektów wymagających szczególnej ochrony. Należą do nich elementy infrastruktury (rurociągi, podziemne i naziemne linie energetyczne), obiekty zabytkowe i specjalne.

Każdy z obiektów kubaturowych i liniowych charakteryzuje się najczęściej zróżnicowaną budową, stanem technicznym, lokalizacją względem rejonu projektowanych odstrzałów i wymaga indywidualnego podejścia pod kątem określenia odporności na poszczególne oddziaływania.

Do oceny wpływów dynamicznych na budynki stosowana jest polska norma (PN-85 B-02170) „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki” (Böhmer, Müller 2012), która podaje sposób oceny wpływów parasejsmicznych według skał wpływów dynamicznych - SWD. Dotyczy ona jednak określonej grupy obiektów, do których, można ją stosować (Kawecki, Stypuła 2008). Odporność sejsmiczną obiektów określić można również w oparciu o normy zagraniczne, dotyczące tego typu oddziaływania np. (Norma DIN 4150:1986).

Odporność obiektów liniowych, gazociągów itp. określana jest na podstawie obliczeń wytrzymałościowych bądź literatury krajowej i zagranicznej (Krzewiński, Rekucki 2005, Strelec i in. 2011).

Dla prawidłowego zabezpieczenia obiektów chronionych konieczne jest czasem wykonanie osłon oraz ekranów

obniżających niekorzystne efekty wybuchu i chroniące przed rozrzutem odłamków skalnych. Istotne jest poprawne zidentyfikowanie wszystkich obiektów chronionych leżących w okolicy prowadzenia prac z użyciem MW, zarówno tych najbliższych, jak i położonych w dalszej odległości z uwzględnieniem ich odporności sejsmicznej. W przypadku obiektów szczególnie narażonych na oddziaływanie drgań zalecane jest przeprowadzenie inwentaryzacji i opisu stanu technicznego obiektów wraz z dokumentacją fotograficzną. Opracowanie takie zapewnia prawidłową ocenę powstałych ewentualnych uszkodzeń, stanowi także zabezpieczenie przed próbami nieuzasadnionych roszczeń.

3. Wyznaczenie stref bezpieczeństwa i dopuszczalnych wielkości ładunków MW

3.1. Drgania parasejsmiczne

Zasięg strefy bezpieczeństwa sejsmicznego jest funkcją wielkości i sposobu odpalania ładunku MW oraz warunków tłumienia i propagacji drgań. Wielkość tej strefy uzależniona jest też od odporności sejsmicznej obiektów chronionych. Prawidłowo wyznaczone wielkości ładunków dopuszczalnych oraz przyjęte założenia parametrów i zabezpieczeń, zapewniają ochronę obiektom przed skutkami drgań parasejsmicznych. W celu wstępnego określenia dopuszczalnych wielkości ładunków można wykorzystać ogólne wzory zamieszczone w przepisach górniczych. Możliwe jest także wykorzystanie jednego z wielu wzorów na obliczanie prędkości drgań w funkcji wielkości ładunku na opóźnienie milisekundowe i odległości (Onderka 2006) lub ze wzoru stosowanego w zakładach górniczych eksploatujących skały na kruszywo. Z chwilą przystąpienia do robót strzałowych należy wykonać badania pozwalające określić rzeczywisty model propagacji parasejsmicznej oraz poziom oddziaływania w rejonie posadowienia obiektów chronionych. Na podstawie wyników pomiarów można wówczas zweryfikować parametry robót wiertniczo-strzałowych, zapewniając zachowanie poziomu drgań na bezpiecznym poziomie.

3.2. Rozrzut odłamków skalnych

Konieczność zapewnienia bezpieczeństwa najbliższym obiektom przed rozrzutem odłamków skalnych stanowi ważny element projektu robót strzałowych i wymagań dotyczących zabezpieczeń. Rozwiązanie utrudnień ze względu na ograniczenia związane z rozrzutem może być realizowane na trzy sposoby: objęcie strefą rozrzutu danego obiektu pod warunkiem odpowiedniego zabezpieczenia tego obiektu i ludzi w czasie strzelania bądź też przygotowaniem i prowadzeniem robót strzałowych w sposób zapewniający ograniczoną strefę rozrzutu. Odległość strefy rozrzutu w zakładach górniczych jest wyznaczana wg tabeli nr 1 w załączniku nr 4 do Rozporządzenia Dz. U. 2003 nr 72 poz. 655 w sprawie przechowywania i używania środków strzałowych i sprzętu strzałowego w zakładach górniczych, dla każdej ze stosowanych metod strzelania ustalono stosunkowo duży promień strefy potencjalnego zagrożenia. Korzystnym rozwiązaniem jest wyznaczenie rzeczywistej strefy rozrzutu na podstawie badań i obliczeń wykonanych dla danych warunków geologicznych i przewidywanej do zastosowania metody strzelania oraz określenie wartości granicznych parametrów mających istotny wpływ na wielkość tego oddziaływania.

Najpowszechniej stosowaną metodą strzelania przy pracach makroniwelacyjnych jest metoda określana w górnictwie jako strzelanie zwykłymi otworami strzałowymi (długość

otworu strzałowego $L_0 < 6\text{m}$) pionowymi i odchylonymi od pionu nie więcej niż 20° , zwaną dalej metodą *zwykłych otworów*. Metodę tę można podzielić na warianty ze względu na charakter odstrzału, uwzględniając liczbę płaszczyzn odsłonięcia. Przy pracach makroniwelacyjnych najczęściej występuje jedna płaszczyzna odsłonięcia (powierzchnia terenu - strop warstwy do usunięcia), analogicznie jak w przypadku udostępniania nowego poziomu w zakładzie górniczym. Strzelanie z więcej niż jedną płaszczyzną odsłonięcia stosowane jest w przypadku dużych miąższości usuwanego materiału. Specyfika strzelań makroniwelacyjnych polega na rozluźwaniu masywu skalnego i wybraniu skruszonej skały do dna wykopu. Tak jak w przypadku zakładów górniczych, najczęściej wymagane jest odpowiednie rozdrobnienie i przemieszczenie urobku.

W przypadku jednej płaszczyzny odsłonięcia, przemieszczanie się odłamków skalnych może zawierać się w określonym przedziale kątowym: lina pionu - kierunek ruchu. Teoretycznie odłamki mogą być wyrzucane w górę, pod warunkiem opadnięcia na usyp, co wcale nie jest proste do realizacji i łatwe. Głównym parametrem stosowanym przy projektowaniu odstrzałów jest ładunek jednostkowy q_j [kg/m^3] wyrażany stosunkiem ilości MW na metr sześcienny calizny. Przy poprawnym doborze ładunku jednostkowego głównymi czynnikami mającymi wpływ na możliwość powstania nadmiernego rozrzutu odłamków skalnych jest osłabienie calizny w części przybitkowej oraz jakość i poprawność wykonania samej przybitki. Kluczowe znaczenie ma jednak prawidłowe rozpoznanie właściwości urabianej skały. Uzupełnieniem i weryfikacją tych informacji mogą być dane uzyskiwane w trakcie postępu wiercenia otworów. Dodatkowymi parametrami mającymi znaczący wpływ na rozrzut jest odległość płaszczyzny odsłonięcia od kolumny MW (zabior-z) oraz ilość MW przypadająca na objętość skały na całej długości otworu strzałowego. W jednorodnych warunkach jest ona w przybliżeniu stała, jednak w przypadku np. dużej szczelinowatości górotworu lub zjawisk krasowych może nastąpić miejscowe skumulowanie się, bądź migracja MW w szczeliny, stwarzając bezpośrednie zagrożenie nadmiernym rozrzutem.

W związku z dużym zasięgiem normatywnej strefy rozrzutu odłamków skalnych wg przepisów górniczych, bardzo często konieczne jest określenie granicznych parametrów robót wiertniczo-strzałowych zapewniających bezpieczeństwo w określonym rejonie na podstawie obliczeń teoretycznych i weryfikacji założeń podczas obserwacji odstrzałów.

4. Technologia robót strzałowych

Technologia urabiania lub rozluźwiania skał w trakcie makroniwelacji polega najczęściej na prowadzeniu robót strzałowych zwykłymi otworami pionowymi i odchylonymi od pionu, odpalaniem systemem nieelektrycznym. Do usuwania brył nadwymiarowych stosuje się młoty hydrauliczne lub, gdy jest taka możliwość, bryły te wywożone są w całości. Rozluźwana i spękana skała jest w dalszej kolejności ładowana koparką na samochody i przewożona na wyznaczone składowiska lub częściej ładowana jest do urządzenia krusząco-sortującego. Ponieważ urabianie warstw skalnych prowadzone jest w celu wyrównania podłoża pod budowaną drogę oraz formowania skarp, parametry geometryczne rozmieszczenia otworów oraz wstępne wielkości przewidywanych do zastosowania ładunków, wyznaczane są na podstawie obliczeń i doświadczeń. Wielkość ładunku MW powinna zapewniać ograniczony wpływ na strukturę i wytrzymałość skał podłoża.

Materiałami wybuchowymi, które znajdują coraz szersze zastosowanie są MW emulsyjne, lub MW typu ANFO

inicjowane ładunkami udarowymi uzbrajanymi w zapalniki nieelektryczne.

Nowoczesne, nieelektryczne i elektroniczne systemy inicjacji zapalników pozwalają na jeszcze lepszy dobór czasów opóźnień i odpalanie ładunków MW przy strzelaniach wieloszerogowych, co wpływa korzystnie na racjonalizację i zwiększenie efektywności robót strzałowych przy jednoczesnym ograniczeniu m.in. propagacji drgań parasejsmicznych (Grzeškowiak, Patla 2012). Otwory rozmieszczone są w siatce kwadratowej lub trójkątnej w zależności od sytuacji hipsometrycznej szeregowo. Poszczególne ładunki odpalone są z opóźnieniem milisekundowym $\Delta t \geq 8\text{ms}$, a do łączenia otworów strzałowych wykorzystuje się konektory o czasie $\Delta t = 9 \div 109\text{ms}$. W ramach prowadzonych robót strzałowych odpalane są także serie otworów ekranujących, rozluźwiających bądź konturujących. Z obserwacji i pomiarów prowadzonych w trakcie odpalania MW z użyciem nieelektrycznych systemów odpalania wynika, że dopasowanie czasu opóźnienia milisekundowego do warunków prowadzenia strzelań daje szerokie możliwości kierowania procesem wybuchowego urabiania skał, zwiększając w ogólnym bilansie aktywną energię przeznaczoną na rozdrabnianie skały przy jednoczesnym zmniejszeniu efektu sejsmicznego (Onderka 2006).

Wiercenie otworów strzałowych stanowi pierwszy stopień weryfikacji założonych parametrów geologiczno-górniczych, a informacje uzyskane w trakcie wiercenia decydują o liczbie i sposobie rozmieszczenia ładunków MW w zabierce oraz połączenia ich w sieć strzałową.

Wszystkie etapy: pozyskiwania informacji, projektowania i wykonania robót strzałowych, prowadzone były według nowoczesnych standardów stosowanych zarówno w górnictwie odkrywkowym, jak i makroniwelacyjnych pracach budowlanych, z wykorzystaniem specjalistycznego sprzętu, oprogramowania oraz w oparciu o doświadczenia i wykwalifikowany personel. Pozwoliło to na osiągnięcie założonych celów oraz uniknięcie szkód czy zagrożeń.

5. Monitoring efektów strzelania

Ze względu na konieczność prowadzenia strzelań w pobliżu obiektów chronionych konieczne jest skuteczne ograniczenie zasięgu niebezpiecznych oddziaływań. Monitoring tych oddziaływań prowadzony jest za pomocą automatycznych zestawów czuwająco-pomiarowych typu Vibratloc oraz kamer cyfrowych rejestrujących proces detonacji ładunków MW i przemieszczania urobku.

Pomiary drgań parasejsmicznych wykonywane w trakcie odstrzałów, wykorzystywane są następnie do weryfikacji zależności korelacyjnych propagacji i bezpiecznych wielkości ładunków MW. Dzięki wykorzystaniu programów i procedur obliczeniowych, ustalone zasięgi stref niebezpiecznych oddziaływań skorelowane z odległością do obiektów chronionych i wielkością odpalanych ładunków MW, nie zostają przekroczone.

6. Podsumowanie

Stosowanie rozwiązań i procedur sprawdzonych w odkrywkowych zakładach górniczych, przynosi wymierne efekty ekonomiczne przedsiębiorcom prowadzącym działalność budowlaną. Pozwala na ograniczenie zasięgów niebezpiecznych oddziaływań na otaczające środowisko oraz daje znaczne oszczędności, skraca czas realizacji zadań i zmniejsza zużycie maszyn urabiających. Dotychczasowe doświadczenia zdobyte w ramach prac badawczych prowadzonych

w IGO „Poltegor-Insytut” potwierdzają potrzebę wdrażania nowoczesnych technologii przy rozwiązywaniu problemów związanych z możliwościami stosowania MW w bliskiej odległości od obiektów chronionych. Możliwość adaptacji rozwiązań technologicznych zaczerpniętych z odkrywkowych zakładów górniczych do prac makroniwelacyjnych. Pozwala na kompleksowe i systemowe wykorzystanie procedur analizy warunków i efektów urabiania. Umożliwia stosowanie konkretnych parametrów i środków strzałowych przy ustalonych warunkach urabiania, połączonych z ochroną przyległych obiektów kubaturowych i liniowych. Zastosowania technologiczne, oprócz rozwiązań technicznych i poprawy efektów ekonomicznych, dają możliwość minimalizacji oddziaływania na środowisko naturalne. Należy stwierdzić, że dominujące znaczenie w projektowaniu i optymalizacji technologii makroniwelacyjnych robót strzałowych ma kontrola zjawisk związanych z fizyką wybuchu ładunków MW, a w szczególności propagacji drgań parasejsmicznych, rozrzutu odłamków skalnych oraz prawidłowa identyfikacja warunków geologiczno-inżynierskich.

Do podstawowych sposobów ograniczenia wielkości strefy zagrożeń należy prawidłowe dostosowanie wielkości ładunku MW do warunków podłoża skalnego oraz wykonanie przybitki z frakcji gwarantujących dobre klinowanie w otworze strzałowym.

Stosowanie nieelektrycznych i elektronicznych systemów odpalania oraz prawidłowy dobór czasów opóźnień milisekundowych, pozwala na bezpieczne zwiększenie wielkości ładunku odpalanego w serii oraz lepsze kierowanie procesem urabiania skał i formowania kształtu usypu, bez wzrostu emisji drgań parasejsmicznych.

Literatura

- BÖHMER A., MÜLLER B. 2012 - Sprengtechnische Herstellung eines Tunnels in offener Bauweise im Lausitzer Granodirit unmittelbar neben innerstädtlicher Wohnbebauung 20 Symposium Felsmechanik und Tunnelbau, Böschungen und Baugruben. Mining&Geo 3.
- Dz.U. 42 poz. 216 z dnia 18 lutego 2011 r. w sprawie sposobu prowadzenia prac z użyciem materiałów wybuchowych przeznaczonych do użytku cywilnego oraz podczas oczyszczania terenów.
- Dz.U. Nr 117 poz. 1007 z dnia 21 czerwca 2002 r. o materiałach wybuchowych przeznaczonych do użytku cywilnego (z późniejszymi zmianami).
- GRZEŚKOWIAK S., PATLA S. 2012 - Współczesne metody projektowania i optymalizacji robót strzałowych w odkrywkowych zakładach górniczych. Kopaliny XV Forum Górnictwa Skalnego.
- KAWECKI J., STYPUŁA K. 2008 - Błędy w prognozowaniu i diagnostyce wpływów dynamicznych na budynki. Czasopismo Techniczne z 1-M.
- KRZEWIŃSKI R., REKUCKI R. 2005 - Roboty budowlane przy użyciu materiałów wybuchowych, Warszawa.
- Norma DIN 4150:1986, Teil 3. "Erschütterungen in Bauweisen".
- ONDERKAZ. 2006 - Propagacja fal parasejsmicznych przy strzelaniu długimi otworami w kopalniach odkrywkowych. „Górnictwo Odkrywkowe” 3-4.
- PN-85/B-02170 „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki”.
- STRELEC S., GAZDEK M., MESEC J. 2011 - Blasting design for obtaining desired fragmentation. Tehnički vjesnik 18.

Artykuł wpłynął do redakcji – grudzień 2016
Artykuł akceptowano do druku 15.02.2017

Zwiększajmy prenumeratę najstarszego – czołowego miesięcznika Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa!

Liczba zamawianych egzemplarzy określa zaangażowanie jednostki
gospodarczej w procesie podnoszenia kwalifikacji swoich kadr!

Zapraszamy do publikacji artykułów w wersji angielskojęzycznej