

OPTIMALIZACJA ROBÓT STRZAŁOWYCH Z UŻYCIEM NOWOCZESNYCH NARZĘDZI POMIAROWYCH

OPTIMIZATION OF MACRO-LEVELLING WORKS WITH EXPLOSIVE MATERIALS BY USING MODERN MEASURING DEVICES

Kamil Rogosz, Maria Brych – „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

Przeprowadzony zakres badań i zebrane doświadczenia pokazały, że w rejonach prowadzenia robót strzałowych gdzie obiekty chronione znajdują się względnie blisko źródła drgań, niezbędne jest stosowanie nowoczesnych narzędzi pomiarowych.

Łączenie fotogrametrii lotniczej krótkiego zasięgu, GPS, fotogrametrii naziemnej oraz skaningu laserowego pozwala na uzyskanie dokładnego modelu 3D, z możliwością jego uszczegółowienia w miejscach wrażliwych np. zabioru na całej długości otworu.

Umiejętne wykorzystanie dostępnych, nowoczesnych narzędzi pomiarowych prowadzi do uzyskania pożądanego efektu sejsmicznego, przy zachowaniu możliwości technologicznych prowadzenia robót strzałowych.

Słowa kluczowe: fotogrametria, prace makroniwalacyjne, roboty strzałowe

Buildings are often situated close to the blasting works which are a part of macro-leveilling works. The aim of this paper is to describe using the modern measuring devices in macro-leveilling design works for the protection inhabitant and buildings against influences of vibrations, flyrock and air blast. It is possible to lower the intensity of impacts by appropriately matched parameters: charges in the blast-hole, length of stemming, blast-hole diameter, burden, spacing between blast-holes and rows, etc. Combine spatial data from different sources: GPS, aerial photogrammetry and laser scanning system results make a convenient, high level of accuracy 3D visualization and digital terrain model on the basis of which it is possible to design safe macro-leveilling works.

Keywords: photogrammetry, macro-leveilling works, blasting works

Wstęp

Wzrost intensywności prowadzenia robót strzałowych w odkrywkowych zakładach górniczych oraz konieczność pozyskiwania coraz większej ilości kruszywa w trakcie pojedynczego odstrzału, wymaga doskonalenia metod projektowania, identyfikacji i obserwacji parametrów robót strzałowych. Postęp w zakresie nowoczesnych środków strzałowych i materiałów wybuchowych (MW), daje możliwości efektywniejszego wykorzystania energii chemicznej MW oraz jego wydajniejszej pracy polegającej na odpajaniu, kruszeniu i przemieszczaniu urobku. Używanie MW wiąże się jednak z możliwością wystąpienia zagrożeń związanych z drganiami sejsmicznymi, powietrzną falą uderzeniową i rozrzutem odłamków skalnych. Prawidłowa ocena i identyfikacja charakterystycznych cech procesu detonacji, precyzyjny obraz efektów odstrzału, prawidłowa identyfikacja wszystkich obiektów chronionych m.in. budynków mieszkalno-gospodarczych lub innych obiektów w tym liniowych, mają zasadnicze znaczenie przy doborze parametrów strzelania i wyznaczeniu stref zagrożeń. W celu opracowania fotogrametrycznej metody pomiaru wytypowano rejon prowadzenia prac makroniwalacyjnych, w którym do urabiania skały stosowana jest technika strzałowa.

Budowa projektowanego odcinka drogi ekspresowej S3

Na projektowanym odcinku drogi S3 budowa geologiczna i morfologia terenu są zróżnicowane. Występują deniwelacje i wypiętrzenia terenu, które związane są z obecnością związanych warstw skalnych, co uniemożliwia stosowanie mechanicznych metod urabiania skały. Na odcinku budowy drogi S3 biegnącej na północ od Kamiennej Góry, podłoże skalne w wierzchniej warstwie budują utwory zwietrzelinowe o średniej miąższości 3 - 4 m. W rejonie wzniesień występują skały macierzyste w postaci zlepieńców o spoiwie krzemionkowym oraz piaskowców zlepieńcowatych pochodzących z karbonu dolnego. Lokalnie pojawiają się wtrącenia szarogłazów i przewarstwienia mułowców. Fragmenty występowania skały litej pokryte są zwykle warstwą zwietrzliny zbudowanej z gruntów niespoistych i niewielkim udziałem ilów i osadów piaszczysto - zwirowych. Miąższość zwietrzliny dochodzi miejscami do 6 m, średnio wynosi ok. 2,5 m. Niska zwięzłość warstw zwietrzalnych i niespoistych pozwala na ich mechaniczne urabianie, natomiast warstwy zlepieńców i piasków zlepieńcowatych urabiane są z zastosowaniem techniki strzałowej



Rys. 1. Budynki mieszkalne objęte monitoringiem drgań parasejsmicznych
Fig. 1. Residential buildings were subject to the monitoring of paraseismic vibrations



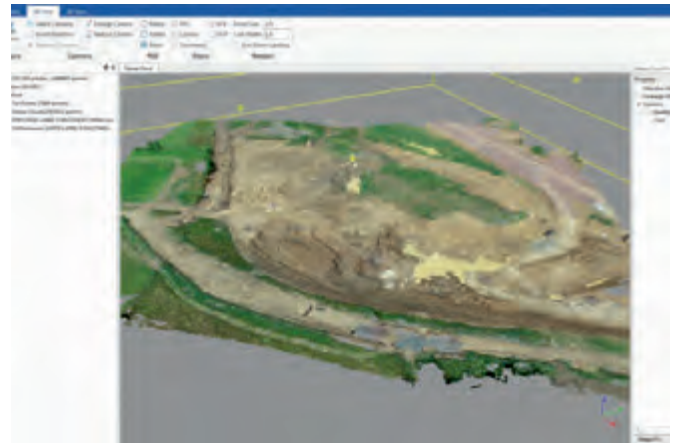
Rys. 3. Przykładowy model siatki strzałowej
Fig. 3. An exemplary model of the blasting network

Identyfikacja obiektów chronionych

Roboty strzałowe prowadzone są na wielu odcinkach budowy drogi ekspresowej S3. Badania przeprowadzono w rejonie prowadzenia strzelań obejmującym północną część gminy Kamienna Góra. Ze względu na duże zróżnicowanie morfologiczne i wielkość obszaru skutków prowadzenia robót strzałowych niezbędne było wykorzystanie bezzałogowego statku powietrznego umożliwiającego jednoznacznie identyfikację obiektów kubaturowych lub liniowych. Pomiar odległości w terenie pozwolił na wytypowanie obiektów wymagających ochrony sejsmicznej oraz wykreślenie na mapie obszaru, w którym mogą odbywać się roboty strzałowe. Należy wspomnieć, że w przypadku prac makroniwelacyjnych nie występują pojęcia obszaru i terenu górniczego. W sąsiedztwie obszaru prowadzenia prac makroniwelacyjnych zlokalizowane są mieszkalne budynki jednorodzinne oraz obiekty gospodarcze. Najbliższy obiekt znajduje się ok 100 m od omawianego rejonu.

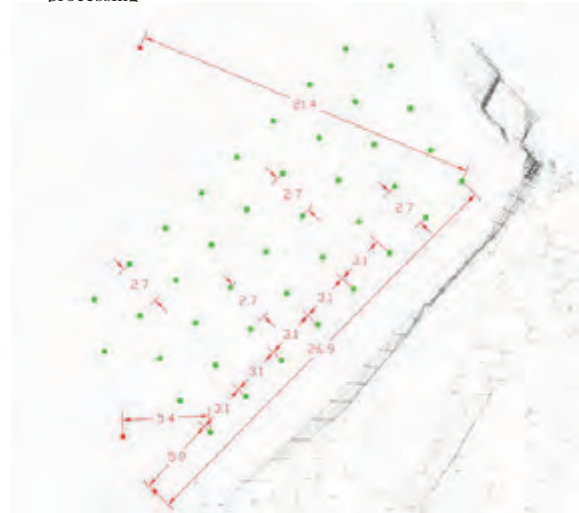
Projekt siatki strzałowej w oparciu o model przestrzenny

W pierwszym etapie mającym się przyczynić do minimalizacji skutków prowadzenia robót strzałowych wykorzystano narzędzia umożliwiające dokładne odwzorowanie terenu. W tym celu wykorzystano metodę pozyskiwania danych z



Rys. 2. Zrzut ekranu – dedykowany program do obróbki zdjęć fotogrametrycznych

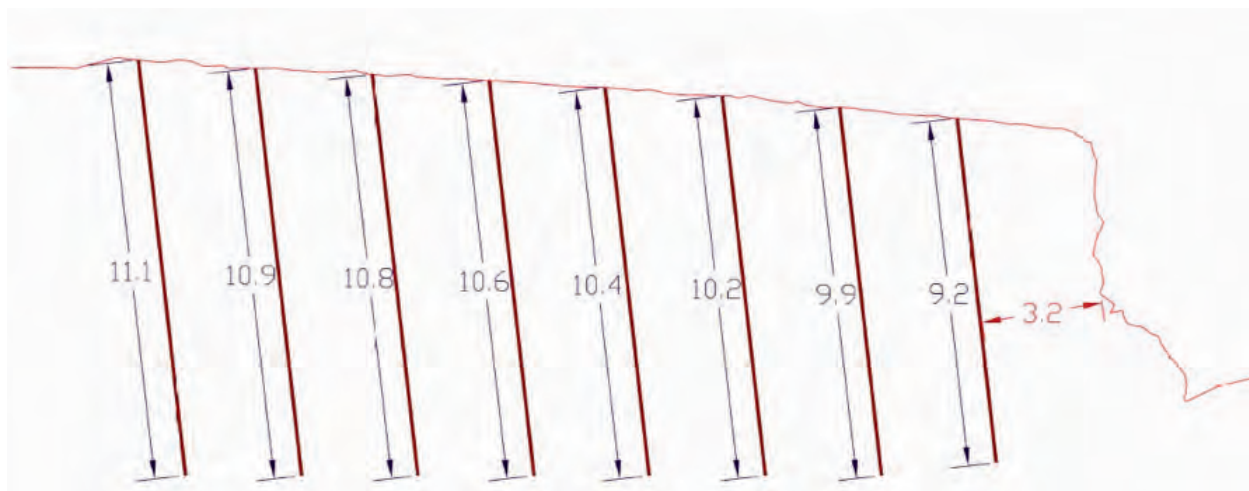
Fig. 2. Screen shot – dedicated program for photogrammetric photos processing



Rys. 4. Rozmieszczenie krzyż otworów na powierzchni stropowej zabierki
Fig. 4. Arrangement of the flange holes on the ceiling surface of the excavation

użyciem fotogrametrii lotniczej krótkiego zasięgu. W terenie za pomocą odbiornika GPS wyznaczono punkty charakterystyczne o znanych współrzędnych tzw. *ground points*. Z wysokości ok. 50 m nad powierzchnią terenu bezzałogowy statek powietrzny wykonywał kolejne serie zdjęć w ramach zadanej misji pomiarowej. Przy określonej wielkości matrycy pokładowego aparatu cyfrowego, zadanej prędkości przelotu i wysokości lotu, dokładność pomiaru wynosiła ok. 1,5 cm na piksel. Po zakończonej misji dane zostały zgrane na komputer osobisty i za pomocą dedykowanego oprogramowania komputerowego i w oparciu o namierzone punkty terenowe, poddano je czasochłonnej obróbce, mającej na celu uzyskanie numerycznego modelu terenu o wysokiej dokładności.

Drugi etap minimalizacji skutków robót strzałowych opierał się na projekcie siatki strzałowej na otrzymanym modelu cyfrowym. Dokładne odwzorowanie powierzchni pozwoliło na dobór parametrów siatki strzałowej z uwzględnieniem wielkości zabioru na całej wysokości i długości ociosu oraz w oparciu o objętość zabierki i jej powierzchnię stropową. Możliwy był dobór parametrów materiału wybuchowego, średnicy otworów strzałowych, określenia miejsca przesyпки w rejonie o zmniejszonej wartości zabioru oraz dobór czasów opóźnień gwarantujący pożądaną rozdrobnienie i efekt sejsmiczny. Wrysowano projektowane otwory w model terenu i zadano odpowiednie kąty wierceń.



Rys. 5. Projekt rozmieszczenia otworów strzałowych i wielkości zabioru
Fig. 5. Location design of the blast holes and the excavation size

Trzeci etap obejmował realizację projektu w warunkach terenowych. W tym celu niezbędna była bieżąca kontrola parametrów strzelania. Na wstępie dane wierceń zostały przekazane wiertaczowi. Po etapie wiercenia, po sprawdzeniu długości otworów, zostały opuszczone ładunki udarowe a następnie otwory wypełniono MW, z wysoką dbałością o jego ilość wyrażoną w kilogramach. W nielicznych otworach znajdujących się w pierwszym szeregu, konieczne było zastosowanie ładunku dzielonego poprzez użycie przesyпки na wysokości obniżonego zabioru. Po załadunku materiałem wybuchowym, przewody zapalników będące na zewnątrz otworów zostały połączone przy pomocy konektorów o ściśle określonych czasach opóźnień w jedną sieć strzałową.

Pomiary oddziaływań

Pomiaru drgań parasejsmicznych wywołanych robotami strzałowymi na terenie budowy drogi ekspresowej S3 dokonano specjalistycznymi zestawami aparaturowymi typu SV258 PRO. Zestawy te służą do pomiarów drgań budynków i gruntu, wykorzystując metody oparte na wyznaczaniu PPV (Peak Particle Velocity) oraz częstotliwości dominującej. Zapis sygnału czasowego drgań w formacie WAVE pozwala na analizę zapisanego sygnału w programie. Specjalny moduł Building Vibration pozwala na wyznaczenie wartości RMS oraz Peak

w pasmach 1/3-oktawowych oraz naniesienie tych wartości na krzywe, zgodne z aktualnymi normami PN-B-02170:2016-12 oraz PN-B-02171:2017-06. Wbudowany modem GSM przesyła dane pomiarowe do serwera, gdzie możliwy jest dostęp do bieżących danych, plików z danymi historycznymi oraz generowanie raportu z pomiarów. Stacja monitoringu drgań i hałasu SV258PRO jest systemem opartym na czterokanałowym analizatorze drgań i hałasu Klasy 1. Wyposażona we własne źródło energii, mobilna stacja może być wykorzystywana do różnych aplikacji monitorujących, jak monitoring placów budów, robót tunelowych czy strzałowych. Walizka o stopniu ochrony IP65 zawiera akumulator, którego czas pracy można łatwo wydłużyć, podłączając zasilanie prądu stałego, akumulator zewnętrzny lub mały panel słoneczny. Inteligentna jednostka ładująca umożliwia korzystanie z panelu słonecznego bez dodatkowych kontrolerów.

SV258PRO - stacja monitoringu drgań zabudowana jest w walizce wyposażonej w bardzo wytrzymałe, wodoszczelne złącza (standard wojskowy) i w zewnętrzny zasilacz (IP65). System wykorzystuje hermetyczny, niskoszumny, trójosiowy przetwornik piezoelektryczny, umożliwiający prace w środowisku zewnętrznym.

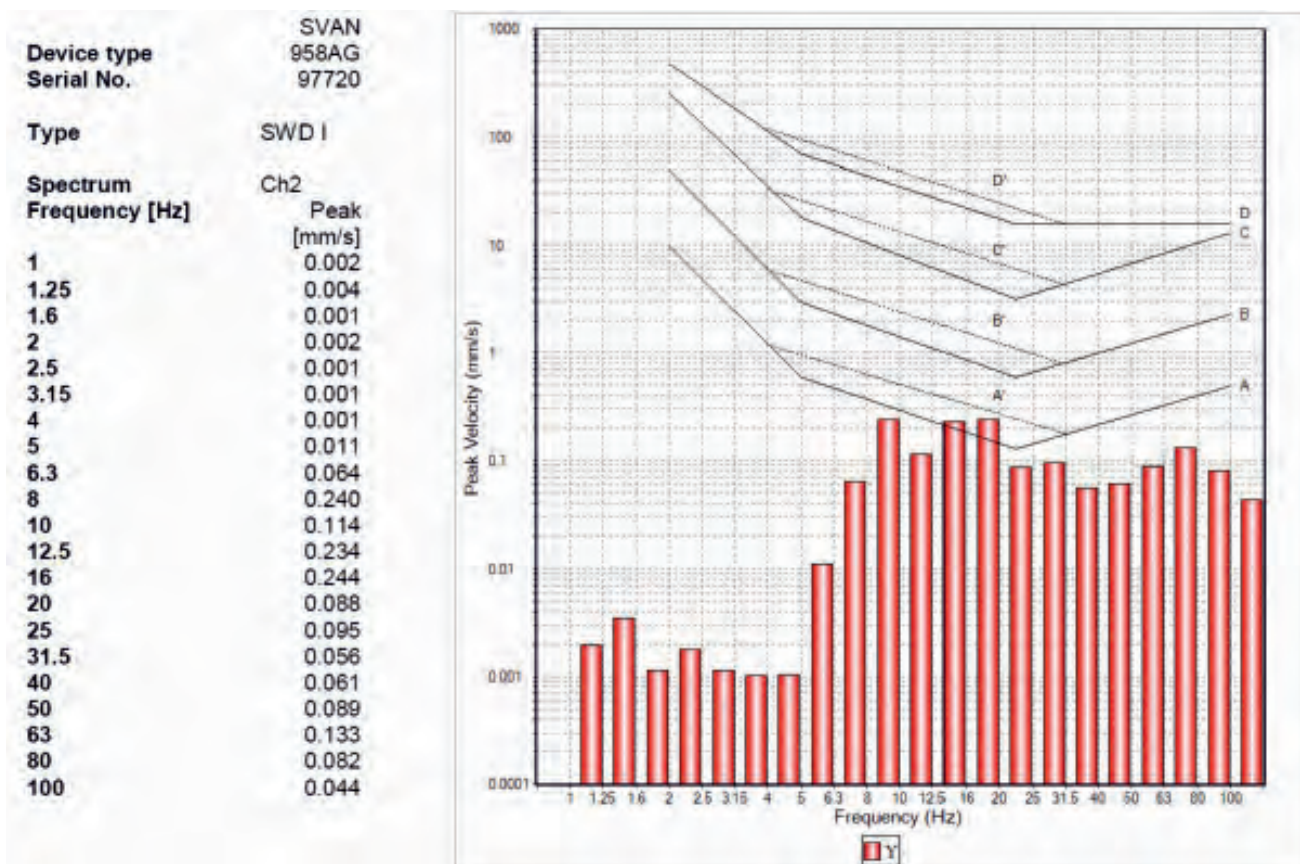
Stacje pomiarowe zostały zainstalowane w wytypowanych obiektach chronionych. Ze względu na przymocowanie czujnika do ściany nośnej w pozycji pionowej, za pomiar w płaszczyźnie poziomej decydują, opisane fabrycznie, osie



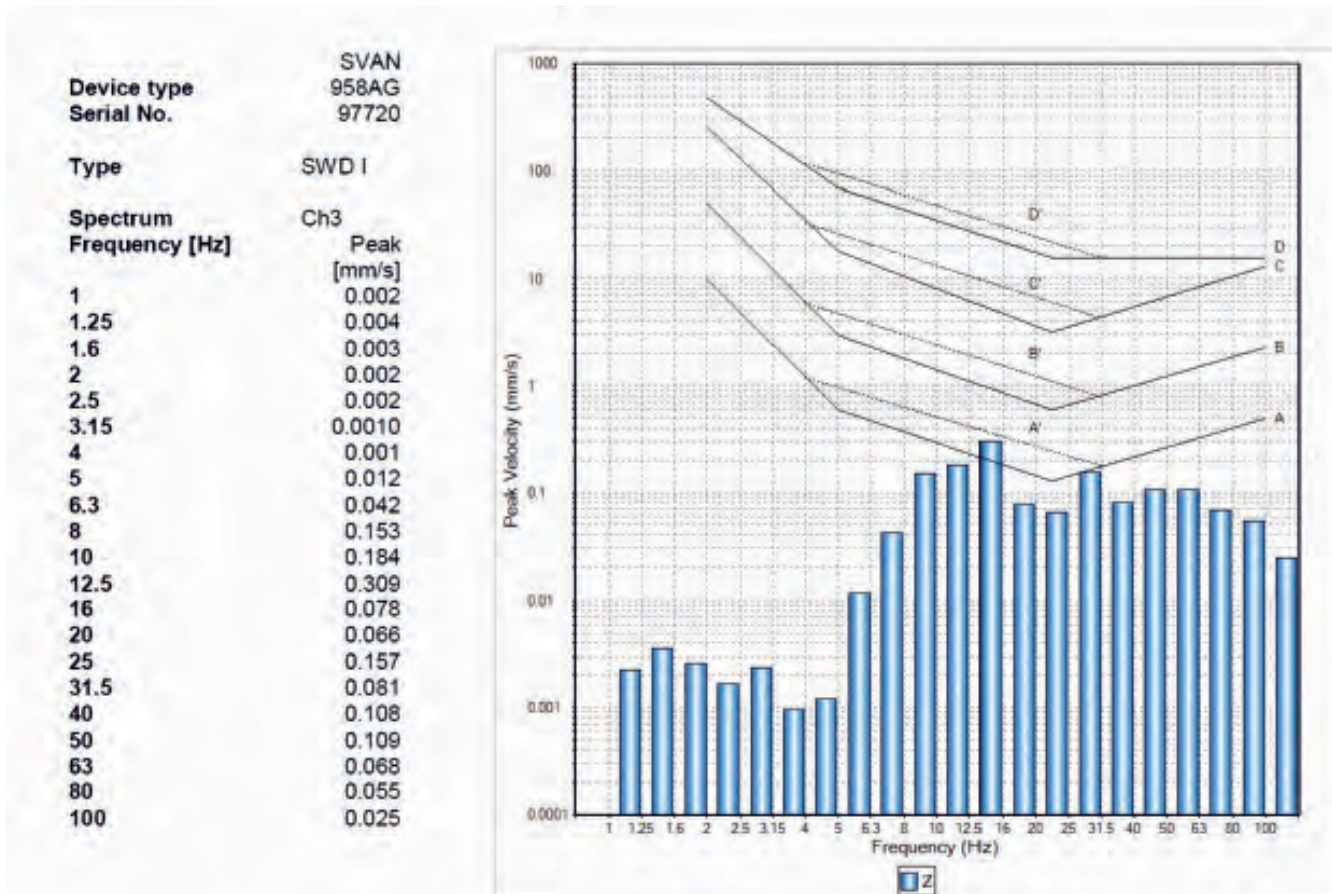
Rys. 6. Łączenie konektorów w sieć strzałową
Fig. 6. Joining connectors into a blasting network



Rys.7. Aparatura pomiarowa
Fig. 7. Vibration measuring device

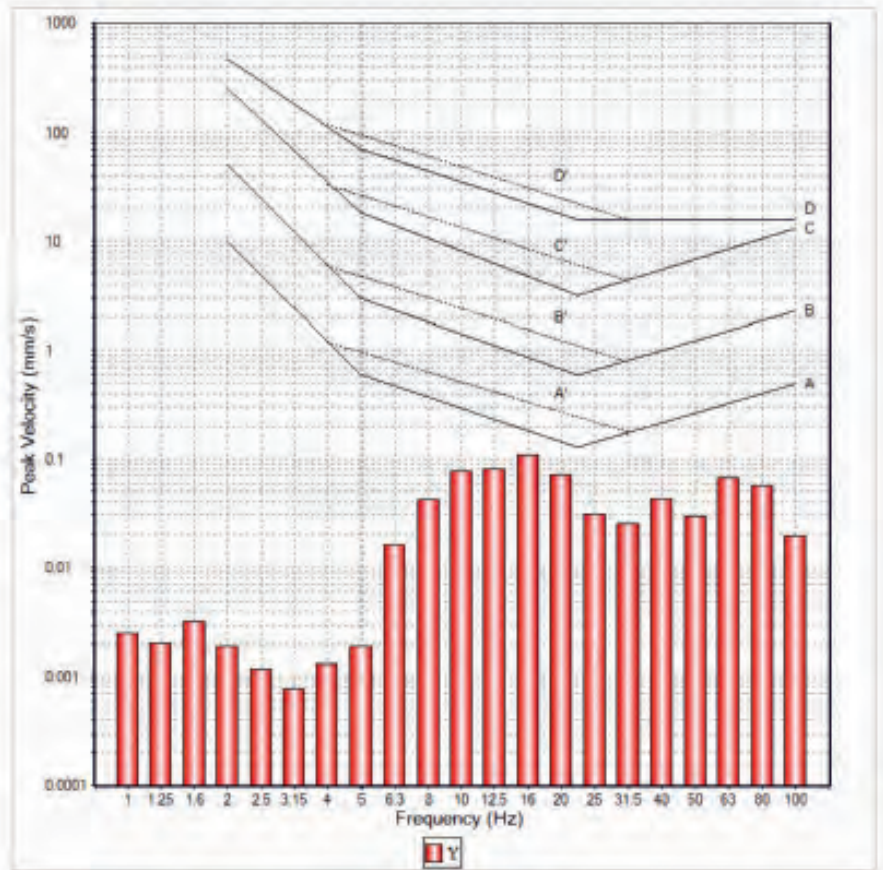


Rys. 8. Wyniki pomiarów drgań poziomych oś Y
 Fig. 8. Vibration measurement results (y axis)



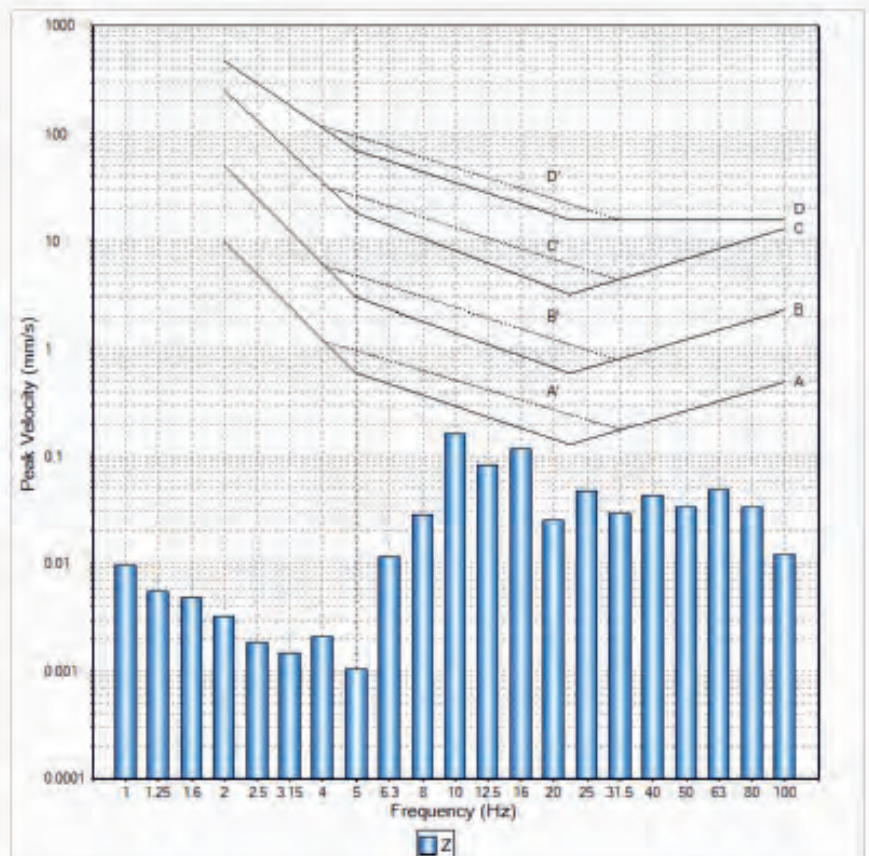
Rys. 9. Wyniki pomiarów drgań poziomych oś Z
 Fig. 9. Vibration measurement results (z axis)

Device type	SVAN
Serial No.	958AG
Type	SWD I
Spectrum	Ch2
Frequency [Hz]	Peak [mm/s]
1	0.003
1.25	0.002
1.6	0.003
2	0.002
2.5	0.001
3.15	0.0008
4	0.001
5	0.002
6.3	0.016
8	0.043
10	0.077
12.5	0.082
16	0.110
20	0.073
25	0.032
31.5	0.025
40	0.043
50	0.030
63	0.068
80	0.058
100	0.020



Rys. 10. Wyniki pomiarów drgań poziomych oś Y
Fig. 10. Vibration measurement results (y axis)

Device type	SVAN
Serial No.	958AG
Type	SWD I
Spectrum	Ch3
Frequency [Hz]	Peak [mm/s]
1	0.009
1.25	0.006
1.6	0.005
2	0.003
2.5	0.002
3.15	0.001
4	0.002
5	0.001
6.3	0.012
8	0.029
10	0.161
12.5	0.084
16	0.119
20	0.025
25	0.048
31.5	0.029
40	0.043
50	0.033
63	0.049
80	0.034
100	0.012



Rys. 11. Wyniki pomiarów drgań poziomych oś Z
Fig. 11. Vibration measurement results (z axis)

Y oraz Z. W celu oceny wpływu drgań parasejsmicznych wywołanych robotami makroniwelacyjnymi w zabudowaniach, dla pomiarów wielkości drgań zarejestrowanych w obiektach mieszkalnych zlokalizowanych w sąsiedztwie miejsca strzelania, przeprowadzono analizę w pasmach 1/3 oktaowych. Otrzymane wyniki zestawiono poniżej oraz przedstawiono graficznie w logarytmicznym układzie współrzędnych: na osi pionowej - prędkość, na osi poziomej - częstotliwość drgań. Porównano prędkości drgań parasejsmicznych do stref szkodliwości skali SWD I.

Wnioski

Wykonane badania oddziaływań drgań parasejsmicznych potwierdziły poprawność przyjętych parametrów strzelania. Zarejestrowane wielkości drgań były nieodczuwalne ze względu na niski poziom emisji drgań i krótkotrwałe oddziaływanie. Utrzymanie poziomów oddziaływania drgań w obiektach poniżej wartości dopuszczalnej jest możliwe dzięki dostosowaniu wielkości ładunków, zastosowaniu zaawansowanych technik

doboru czasów i inicjacji zapalników oraz kontroli parametrów siatki strzałowej. Fotogrametryczna metoda pomiaru pozwala na określenie szeregu parametrów przy zachowaniu wysokiej dokładności pomiaru, zależnej od klasy kamery, obiektywu i wielkości matrycy. Dla uzyskania większej dokładności numerycznego modelu terenu należy łączyć metody pomiarowe. Zdjęcia z fotogrametrii lotniczej krótkiego zasięgu należy uzupełnić punktami o znanych współrzędnych tzw. *ground points*. W przypadku braku danych pomiarowych z widoku z góry, spowodowanych przysłonięciami terenu, należy uzupełnić model danymi pozyskanymi ze skanera laserowego lub fotogrametrii naziemnej. Każdorazowo w miejscach, gdzie obiekty chronione są blisko miejsc wykonywania robót strzałowych, należy dobierać parametry odstrzału indywidualnie. Nowoczesne narzędzia pomiarowe i wieloletnie doświadczenie w temacie prac strzałowych, pozwalają na uzyskanie bezpiecznego efektu sejsmicznego w oparciu o możliwości technologiczne i uwarunkowania terenowe, z jednoczesnym zachowaniem przewagi ekonomicznej prowadzenia robót makroniwelacyjnych z użyciem MW w odniesieniu do metod mechanicznych.

Literatura

- [1] *Prawo lotnicze, Dz. U. 2020.0.1970 z dnia 3 lipca 2002*
- [2] *Ustawa z 21.06.2002 r. o materiałach wybuchowych przeznaczonych do użytku cywilnego (Dz. U. Nr 117 poz. 1007) z późniejszymi zmianami*
- [3] Brych M., Rogosz K., *Wykorzystanie skanującego systemu laserowego w optymalizacji parametrów prowadzenia robót strzałowych*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 134 Seria 41, Wrocław 2012
- [4] Mania M., Rogosz K., *Wyrobisko w obiektywie: fotogrametryczne metody identyfikacji i wizualizacji elementów wyrobisk*, Surowce i Maszyny Budowlane, nr 2, 2013
- [5] Polska Norma PN-85/B-02170:2016, *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki*
- [6] *Pomiary zasięgów oddziaływań od robót strzałowych i sprawdzenie dopuszczalnych wielkości ładunków MW w rejonie prowadzenia prac makroniwelacyjnych na projektowanym odcinku drogi ekspresowej S3*, praca niepublikowana, „Poltegor – Instytut” IGO, Wrocław 2021

