



Analiza możliwości wystąpienia oddziaływań skojarzonych podczas detonacji ładunków MW

Analysis of the possibility of occurrence of associated impacts which may appear during explosive charge detonation

Dr inż. Józef Pyra^{*)}

Treść: W artykule przedstawiono problematykę oddziaływania detonacji ładunków materiałów wybuchowych na otoczenie. Zasadniczymi oddziaływaniami są indukowane drgania, powietrzna fala uderzeniowa, fala akustyczna i rozrzut odłamków. Każde z tych oddziaływań praktycznie zawsze występuje w większym lub mniejszym zakresie. Istnieją techniczne i technologiczne metody ich ograniczania, ale minimalizacja jednego może powodować wzrost oddziaływania drugiego. Ponadto oddziaływania mogą się nakładać - oddziaływania skojarzone, co może powodować problemy przy jednoznacznej identyfikacji i interpretacji zarejestrowanych wyników. W pracy zaprezentowano rezultaty badań wykonanych w skali laboratoryjnej, podczas detonacji ładunków MW o różnicowanej masie.

Abstract: This paper presents an impact resulting from detonation of explosives charges on the environment. Detonation of explosive charge generates ground – borne vibrations, shock wave, acoustic wave and fly rocks. Each of these effects is almost always present in greater or lesser extent. There are technical and technological methods of reduction of the above mentioned effects, but minimization of one can increase the level of intensity of another. Furthermore, the impacts may superpose – associated impacts, which might cause problems during identification and interpretation of the obtained results. This paper presents the results obtained from the field measurements in a laboratory scale where various masses of explosives charges were detonated.

Słowa kluczowe:

oddziaływania skojarzone, powietrzna fala uderzeniowa, drgania indukowane

Key words:

associated impacts, shock wave, ground borne vibration

1. Wprowadzenie

Detonacja ładunków materiału wybuchowego (MW) wiąże ze sobą określone oddziaływania, które występują w mniejszym, bądź większym zakresie. Do najważniejszych oddziaływań należą: wzbudzone drgania, powietrzna fala uderzeniowa (PFU), fala akustyczna (FA), rozrzut, gazy postrzałowe, zapylenie i wiele innych zależnych od specyfiki robót z użyciem MW. Takie oddziaływania jak wzbudzone drgania, PFU i FA mogą się nakładać, ze względu na fakt, iż jako zjawisko fizyczne są falami, które rozprzestrzeniają się w różnych ośrodkach (podłoże, woda, powietrze) z różnymi prędkościami. Współwystępowanie tych oddziaływań może powodować zmianę intensywności występowania innego oddziaływania oraz ograniczenie efektywności stosowania prewencji innego oddziaływania. Oddziaływania znajdujące się w stanie wzajemnych interakcji można zatem nazywać oddziaływaniami skojarzonymi. Szkodliwy wpływ robót z użyciem MW na otoczenie jest niejednokrotnie przyczyną konfliktów z mieszkańcami lub użytkownikami obiektów zlokalizowanych w pobliżu miejsc prowadzenia robót eksploatacyjnych, inżynierskich lub wyburzeniowych. W pracach (Pyra i inni 2009a, Pyra i inni 2009b, Winzer 2013) problematyka ta była sygnalizowana, zwłaszcza w aspekcie likwidacji obiektów budowlanych z użyciem MW. W trakcie robót wy-

burzeniowych z wykorzystaniem metody minerskiej ładunki MW umieszczone są w różnoraki sposób i są bardzo różnej konstrukcji. Jest to spowodowane dostosowaniem technologii obalania do rodzaju obiektu i sytuacji terenowej. Powoduje to bardzo różnorodne oddziaływanie pochodzące zarówno od detonacji ładunków MW, jak i od upadku dużej masy.

W przypadku wykonywania robót strzałowych w odkrywkowych zakładach górniczych ładunki MW zazwyczaj umieszczone są w otworach strzałowych (praktycznie nie stosuje się ładunków nakładanych, czy przykładanych), co powoduje znaczne ograniczenie oddziaływania PFU, natomiast występuje oddziaływanie wzbudzanych drgań i FA. Problematyka oddziaływania PFU w górnictwie odkrywkowym jest prowadzona przez jednostki naukowe na całym świecie od bardzo dawna. Autorzy pracy (Stachura i inni 1981) przedstawiają analizę tego problemu od roku 1939 wykonywaną w Bureau of Mines. Już wtedy zauważono problem związany z możliwością znacznego oddziaływania PFU na obiekty w otoczeniu zakładów górniczych prowadzących eksploatację z użyciem MW. Przedstawiają wymagania jakie powinny spełniać urządzenia do rejestracji PFU oraz podają liczne przykłady różnych rejestracji PFU z ich interpretacją. Aktualna problematyka związana z PFU została również szeroko przedstawiona w pracy (Weitzel 2014), w której autor w oparciu o wytyczne zawarte w (ISEE 2011) zwraca uwagę, iż PFU charakteryzuje się częstotliwościami poniżej 20 Hz, a powyżej tej częstotliwości występuje FA.

^{*)} AGH w Krakowie

2. Zagrożenia jako zjawiska fizyczne

Drgania, powietrzna fala uderzeniowa i fala akustyczna są falami mechanicznymi, a więc rozchodzą się w ośrodkach sprężystych. Gdy pod wpływem jednorazowo przyłożonej siły w badanym ośrodku powstaną przemieszczające się drgania sprężyste jego cząstek, to założyc można, że w środowisku tym powstała przebiegająca ze skończoną prędkością fala sprężysta. Wtedy każda cząstka wyprowadzona z położenia równowagi po ustąpieniu przyczyny wywołującej to zakłócenie zacznie podążać do niego z powrotem, ruchem drgającym prostym z przyspieszeniem zwróconym ku temu punktowi.

Prędkość ruchu cząstki równa się zero przy maksymalnym jej wychyleniu, a osiąga największą wartość przy przechodzeniu przez punkt równowagi. Wychylenie cząstki z położenia równowagi oraz dalszy przebieg takiego ruchu w czasie, przedstawia sinusoida o równaniu:

$$y = a \sin \omega t \quad (1)$$

w którym:

- a – maksymalna amplituda,
- t – czas liczony od momentu gdy punkt drgający ma amplitudę zero,
- ω – prędkość kątowna, $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$,
- T – okres drgania,
- f – częstość drgań.

Pierwsza pochodna z równania (1) daje nam prędkość ruchu drgającego, a druga jego przyspieszenie. Taki opis dotyczy ruchu harmonicznego, z którym mamy bardzo rzadko do czynienia, nawet w przypadku, gdy są to drgania okresowe.

2.1. Drgania w ośrodku skalnym

Ośrodek skalny charakteryzuje się własnościami sprężystymi i w teorii ruchu fal sejsmicznych przyjmuje się, że jest on jednorodny i izotropowy. W rzeczywistości ośrodek skalny jest niejednorodny i anizotropowy, lecz cechy te są trudne do opisanego wzorami matematycznymi i pomijane są w praktyce (Fajkiewicz 1972).

Sejsmologia wyróżnia dwie podstawowe grupy fal sejsmicznych: fale przestrzenne i fale powierzchniowe (Drzęźła i inni 1995, Kowalczyk 1970, Onderka i inni 2003).

Fale przestrzenne dzielą się na dwa rodzaje: fale podłużne (P) i fale poprzeczne (S).

Fale podłużne w ośrodku izotropowym są falami kulistymi, a ruch ich polega na zmianie objętości (proces okresowych zagęszczeń i rozrzedzeń cząsteczek ośrodka), ruch cząstek ośrodka zachodzi w kierunku równoległym do kierunku propagacji fali. Fale te mają największą prędkość propagacji i są rejestrowane jako pierwsze na sejsmogramie.

Fale poprzeczne są wynikiem przenoszenia się zmian postaci cząsteczek ośrodka, a ruch cząstek jest prostopadły do kierunku propagacji fali. Na sejsmogramie pojawiają się jako druga grupa. Fale poprzeczne dzielą się na dwie spolaryzowane prostopadle względem siebie fale: fala poprzeczna o pionowych drganiach SO (SV) i fala poprzeczna o poziomych drganiach SP (SH) (Pyra 2011).

Drugą grupę stanowią fale powierzchniowe, których rozchodzenie obserwuje się na granicy dwóch ośrodków, a szczególnie na powierzchni Ziemi. Odnaczają się one znacznie większą energią niż fale przestrzenne i rozchodzą się w przestrzeni dwuwymiarowej, nie przenikając w głąb Ziemi (Fajkiewicz 1972). Należą do nich fale Rayleigha (R) i Love'a (L).

Fale Rayleigha związane są z obecnością sprężystej spójności. Powstają w wyniku sprzężenia fal P i SO. Prędkość propagacji jest nieco mniejsza od prędkości fali poprzecznej.

Fale Love'a mogą powstać w warstwie leżącej na pół-

przeźreni. Powstają w wyniku nałożenia się wielokrotnych odbić fal SP od stropu i spągu tej warstwy.

Intensywność fali I, czyli ilość energii przechodząca przez jednostkę powierzchni w jednostce czasu, można wyznaczyć z zależności (2):

$$I = \frac{\pi}{2} A^2 f^2 Z_a \quad (2)$$

gdzie:

- A – amplituda fali sprężystej,
- f – częstość drgań fali,
- Z_a – impedancja akustyczna, która wynosi (3):

$$Z_a = \rho v \quad (3)$$

gdzie:

- ρ – gęstość skały,
- v – prędkość rozchodzenia się fali sprężystej w skałe.

Dla uproszczenia oceny oddziaływania drgań na obiekty, za intensywność przyjmuje się wartość maksymalnych przemieszczeń, prędkości lub przyspieszenia (Winzer 2004). Innym parametrem opisującym intensywność jest wektor, jako suma geometryczna składowych, pozbawiony jest on charakterystyki częstościowej, jednakże dobrze opisuje zmianę intensywności z odległością (Biessikirski, Winzer 2008).

Skały są ciałami niejednorodnymi i niezupełnie sprężystymi i dlatego fale sejsmiczne nie rozchodzą się w nich tak jak w ciałach idealnie sprężystych i jednorodnych. W utworach skalnych zachodzi zjawisko pochłaniania i rozpraszania fal sejsmicznych. Powstające przy detonacji kolejnych ładunków MW fale parasejsmiczne mogą się dodatkowo nakładać, odbijać i załamywać, komplikując obraz drgań na sejsmogramie (Pyra 2011).

Problematyka oddziaływania drgań indukowanych detonacją ładunków MW na otoczenie jest szeroko poruszana na całym świecie. Stosuje się coraz to nowsze metody analityczne i modelowania numeryczne w celu dokładniejszego przewidywania intensywności drgań w danym punkcie i sposobie przenoszenia ich do obiektów budowlanych.

2.2. Powietrzna fala uderzeniowa i fala akustyczna

Zaburzenie o małej amplitudzie wzbudzone w powietrzu, którego gęstość i ciśnienie są wszędzie jednakowe, rozprzestrzenia się we wszystkich kierunkach od źródła z prędkością dźwięku. Jest to tak zwana fala akustyczna (FA). Efekty dźwiękowe nie zawsze jednak występują, ponieważ zależne są od częstotliwości (Onderka i inni 2003).

Fala akustyczna jest falą adiabatyczną i wygasa się na skutek lepkości środowiska i rozpraszania ciepła. Prędkość ruchu cząstek gazu jest zgodna z kierunkiem rozprzestrzeniania się fali, jest to więc fala podłużna cechująca się stałą prędkością.

W przypadku zaburzenia o dużej amplitudzie powstaje skok zagęszczeniowy gazu, rozchodzący się szybciej niż dźwięk, nazywany powietrzną falą uderzeniową (PFU).

Gazy te rozprzestrzeniają się w kierunku od centrum wybuchu, w postaci fal o wysokiej temperaturze, gęstości, i ciśnieniu. Za czołem fali uderzeniowej, następuje rozprężanie produktów gazowych, niosąc za sobą łagodny spadek ich ciśnienia. W rezultacie prowadzi to do obniżenia ich prędkości gazów. Spadek ten spowodowany jest przemieszczającymi się tuż za falą uderzeniową odciążeniami (rozrzedzenia) (Cudziło i inni 2000).

W pewnej odległości od źródła detonacji prędkość gazów postrzałowych spada do zera, a FU rozprzestrzenia się dalej na skutek działania sił bezwładności. Następnie ciśnienie fali uderzeniowej osiąga wartość ciśnienia atmosferycznego, a prędkość fali – prędkość dźwięku. FU rozchodzi się dalej jako fala akustyczna (Machowicz 2005).

Autorka pracy (Machowicz 2005) zwraca uwagę na problem opisu intensywności PFU przez przepisy cywilne, a inaczej przez przepisy wojskowe, a przecież wzory opisujące PFU dotyczą tego samego zjawiska. W swojej pracy szczegółowo omawia sposób podejścia jednej i drugiej grupy osób badających tę tematykę i przedstawia szereg wzorów wykorzystywanych do wyznaczania wartości impulsu nadciśnienia i nadciśnienia fali uderzeniowej.

3. Badania, wyniki pomiarów i ich analiza

W pracach (Alcudia 2009, Babcock 2012, Pyra i in. 2009a, Pyra i in. 2009b, Steiner 2015, Weitzel 2014, Winzer 2013) zwrócono uwagę na zakłócanie sygnału sejsmicznego innymi sygnałami. O ile w pracach (Pyra i inni 2009a, Pyra i inni 2009b, Winzer 2013) zauważono problem oddziaływania PFU na mierniki drgań, o tyle w pracach (Alcudia 2009, Babcock 2012, Steiner 2015, Weitzel 2014) skupiono się na oddziaływaniu fali akustycznej na geofony i sposobie ich jednoznacznej identyfikacji i eliminacji.

Ocena oddziaływania prowadzona zgodnie z polską normą PN-B-02170: 1985 dotyczy drgań przenoszonych przez podłoże do obiektów, co oznacza, że nie można stosować tej normy do oceny oddziaływania drgań wzbudzanych przez PFU na obiekty chronione. W związku z tym, że sygnał sejsmiczny może być zakłócony falą akustyczną i PFU, istnieje zagrożenie, iż może dochodzić do nadinterpretacji zarejestrowanych sygnałów i błędów w ocenie oddziaływania drgań na obiekty budowlane.

W celu szerszego rozpoznania możliwości współwystępowania oddziaływania poddano analizie wyniki badań wykonywanych w Centralnym Laboratorium Techniki Strzelniczej i Materiałów Wybuchowych AGH, gdzie rejestrowano jednocześnie drgania podłoża i fundamentu budynku laboratorium, ciśnienie PFU i falę akustyczną.

Do przeprowadzenia badań odpalono szereg ładunków MW, począwszy od lontu detonującego i naboju dynamitu, po ładunki saletrolu umieszczone w rurach PCV. Stanowiska pomiarowe rozmieszczono w odległościach od kilkunastu do

kilkudziesięciu metrów od miejsca detonacji.

Stanowiska pomiarowe zostały przygotowane w następujący sposób:

- stanowisko 1: – miernik drgań w podłożu,
- stanowisko 2: – miernik drgań zakopany na głębokość 0,2 m w podłożu,
- stanowisko M2: – mikrofon do pomiaru PFU,
- stanowisko 3: – miernik drgań na ścianie nośnej na zewnątrz budynku laboratorium,
- stanowisko M3: – mikrofon do pomiaru PFU przed budynkiem laboratorium,
- stanowisko 4: – miernik drgań na ścianie nośnej wewnątrz budynku laboratorium,
- stanowisko M4: – mikrofon do pomiaru PFU wewnątrz budynku laboratorium.

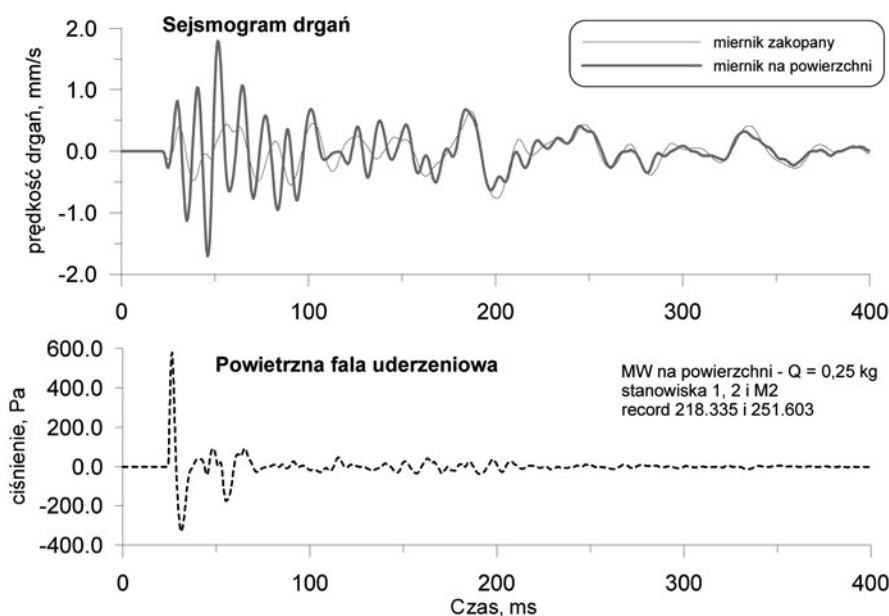
Na rys. 1 – 12 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów oraz analiz wykonanych na podstawie rejestracji dla składowej poziomej x i zapisu PFU.

Na rys. 1 przedstawiono sejsmogram drgań i zapis ciśnienia PFU podczas detonacji 0,25 kg MW bezpośrednio na powierzchni terenu oraz ich struktury częstotliwościowe (rys. 2).

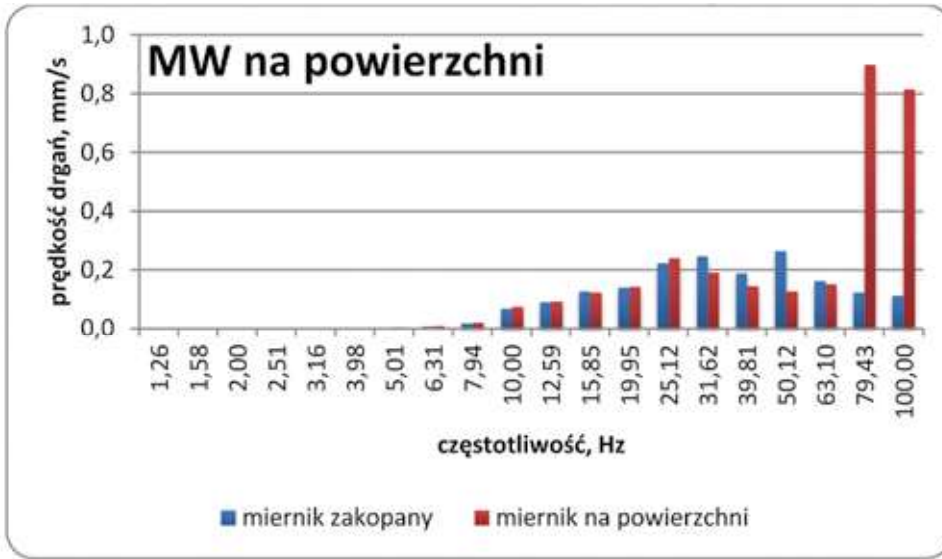
Analizując zapis przedstawiony na rys. 1, można przypuszczać, że drgania zarejestrowane przez miernik zostały wzbudzone oddziaływaniem ciśnienia PFU na sam miernik. Czas wystąpienia impulsu ciśnienia PFU jest taki sam jak czas rejestracji drgań. Widać natomiast, że czujnik zakopany na głębokość 20 cm pod powierzchnią terenu zarejestrował drgania o mniejszej wartości. Analiza struktury częstotliwościowej drgań (rys. 2) przedstawia zbliżoną budowę obu zapisów. Różnica występuje tylko w zakresie częstotliwości 80 Hz i 100 Hz.

W celu zbadania wpływu ciśnienia PFU na miernik drgań, odpalono ładunek 2 kg MW umieszczony w otworze strzałowym na głębokości ok. 0,5 m i dokonano rejestracji drgań i ciśnienia PFU na tym samym stanowisku (rys. 3).

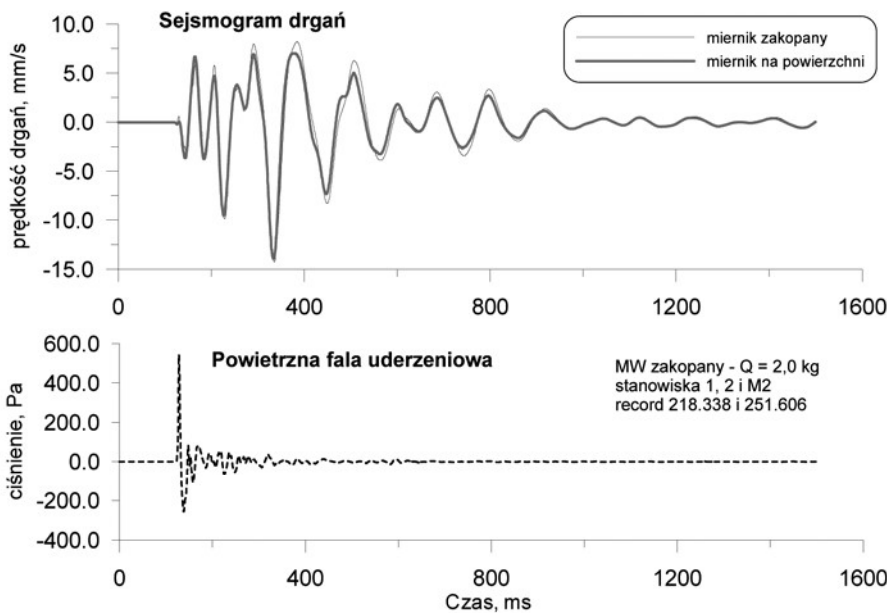
Analiza sejsmogramów pokazuje duże zbliżenie zapisów miernika zakopanego i zainstalowanego na powierzchni terenu. Potwierdza to analiza tercjowa przedstawiona na rys. 4. Można więc zatem przypuszczać, że został wyeliminowany wpływ działania ciśnienia PFU. Jednakże czas wejścia impulsu



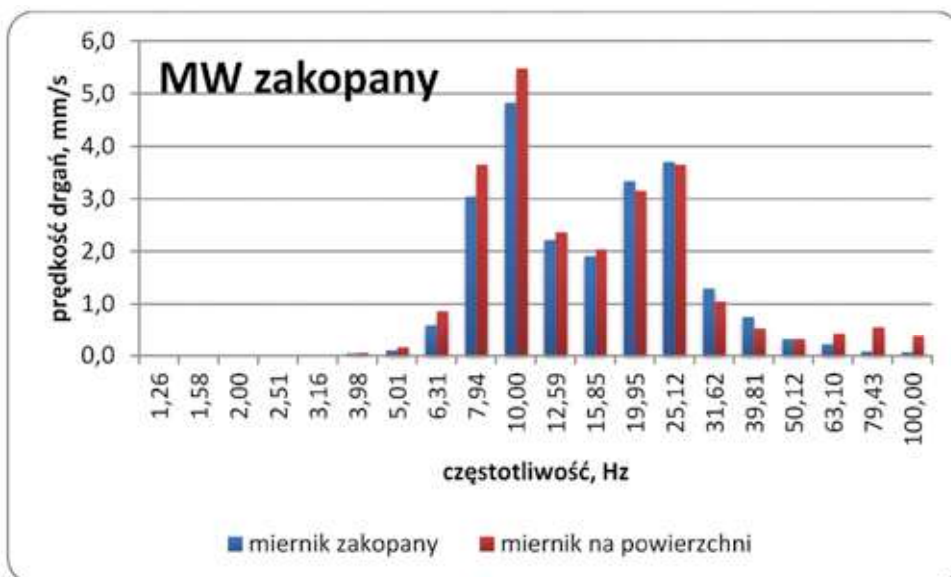
Rys. 1. Sejsmogram drgań i zapis ciśnienia PFU – detonacja odkrytego ładunku MW
Fig. 1. Records of ground – born vibration and air blast – detonation of explosive charge on surface



Rys. 2. Analiza struktury częstotliwościowej drgań z rys. 1
 Fig. 2. Frequency domain analysis from fig. 1

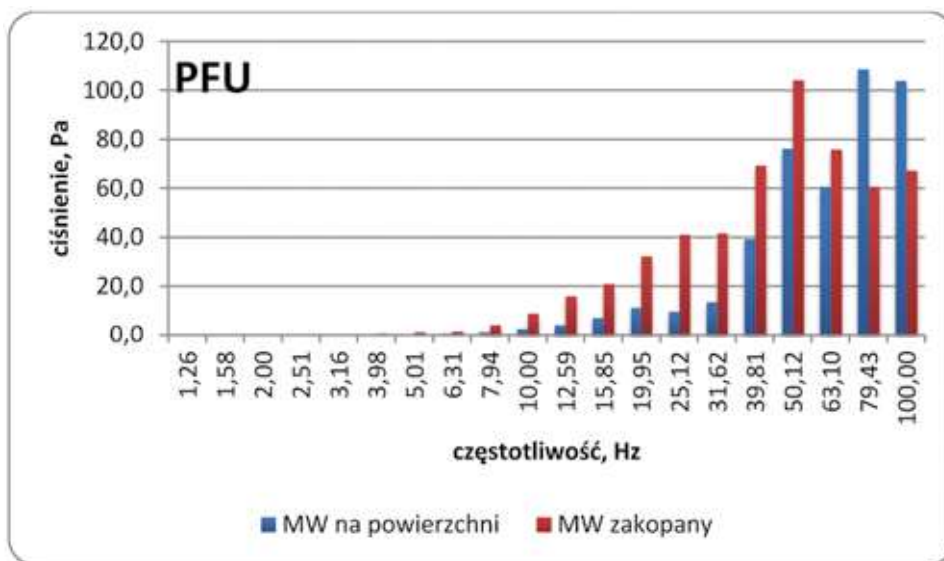


Rys. 3. Sejsmogram drgań i zapis ciśnienia PFU – detonacja zakopanego ładunku MW
 Fig. 3. Record of ground – born vibration and air blast – detonation of explosive charge in blasthole

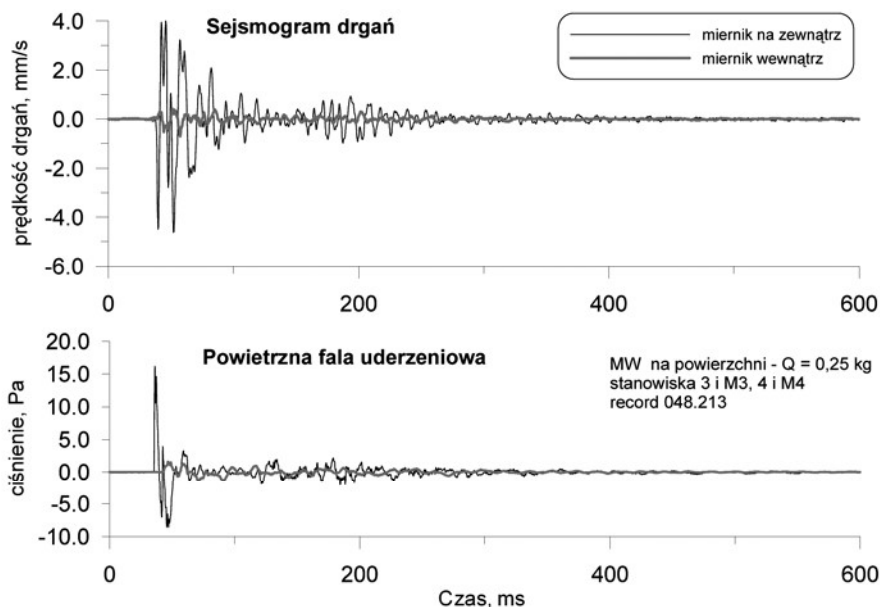


Rys. 4. Analiza struktury częstotliwościowej drgań z rys. 3
 Fig. 4. Frequency domain analysis from fig. 3

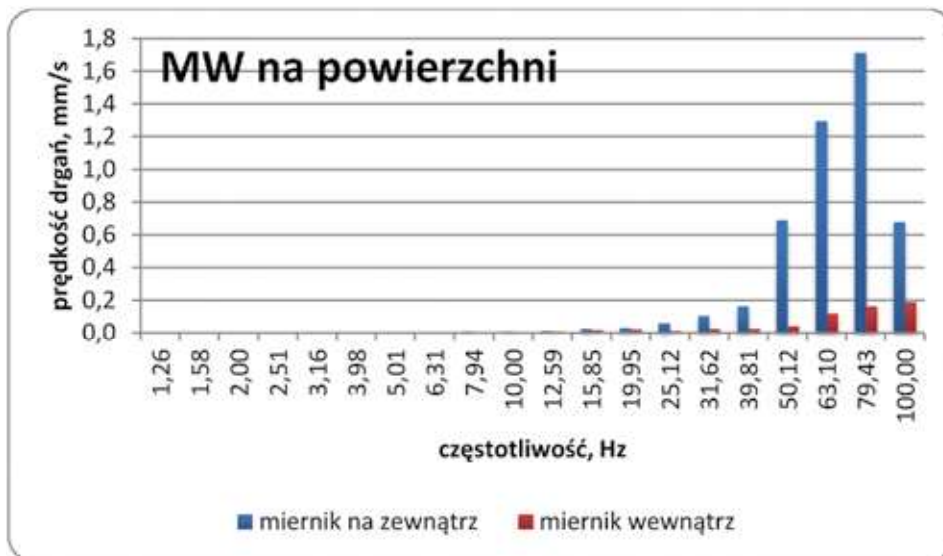
Rys. 5. Analiza struktury częstotliwościowej PFU z rys. 1 i 3
 Fig 5. Frequency domain analysis of air blast from fig. 1 and 3



Rys. 6. Sejsmogram drgań i zapis ciśnienia PFU – detonacja odkrytego ładunku MW
 Fig. 6. Records of ground – born vibration and air blast – detonation of explosive charge on surface



Rys. 7. Analiza struktury częstotliwościowej drgań z rys. 6
 Fig. 7. Frequency domain analysis from fig. 6



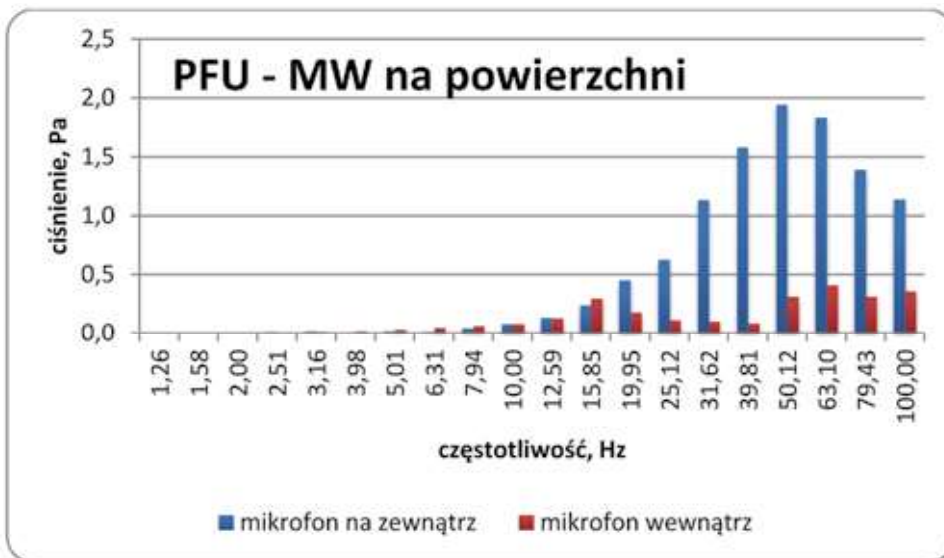
su ciśnienia PFU i czas rozpoczęcia rejestracji przez mierniki drgań są takie same. Dokładniejsza analiza zapisów pozwala stwierdzić, że PFU spowodowała niewielkie zakłócenie rejestracji drgań propagowanych przez podłoże. Zakłócenie to nastąpiło zarówno w mierniku zakopanym, jak i zainstalowanym na powierzchni, co może oznaczać, że zakopanie czujnika nie stanowi znaczącej przeszkody dla PFU.

Analiza struktury zarejestrowanych drgań (rys. 2 i 4) i PFU (rys. 5) wykazuje pełne podobieństwo rejestracji drgań przez mierniki prędkości i całkowicie odmienną charakterystykę częstotliwościową PFU. Dominujące w zapisie PFU częstotliwości powyżej 60 Hz nie są w istotny sposób reprezentowane w histogramach drgań, poza czujnikiem zainstalowanym na powierzchni podczas detonacji ładunku MW również na powierzchni.

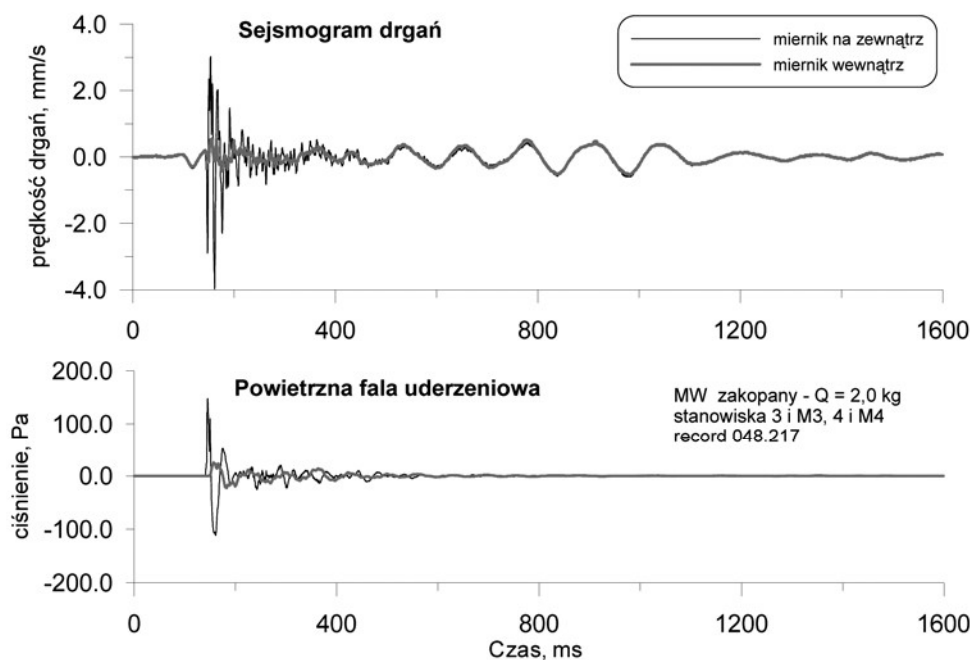
Ponadto analiza struktury częstotliwościowej ciśnienia PFU zarejestrowanego podczas detonacji ładunków MW zakrytego i odkrytego (rys. 5) pokazuje występowanie zdecydowanie wyższych częstotliwości, niż charakterystyczne dla PFU. Czy zatem mikrofony zarejestrowały zmianę ciśnienia PFU, czy może ciśnienie FA?

W trakcie odpalania ładunków MW na powierzchni i w otworze strzałowym, dokonano również pomiarów na obiekcie budowlanym. Mierniki drgań i mikrofony zainstalowano na tej samej ścianie wewnątrz i na zewnątrz obiektu budowlanego. Sejsmogramy drgań, zapisy ciśnienia PFU i wynik analizy trójowej przedstawiono na rys. 6 ÷ 8 dla ładunku MW odpalanego na powierzchni i na rys. 9, 11 i 12 dla ładunku MW umieszczonego w otworze. Ponadto dla lepszego zobrazowania na rys. 10 przedstawiono na jednej osi zapis drgań i ciśnienia PFU.

Zupełnie inaczej wygląda sytuacja w przypadku mierników zainstalowanych wewnątrz i na zewnątrz budynków. Już sama analiza sejsmogramów pokazuje jak duża jest różnica w intensywności rejestrowanej przez te mierniki. Potwierdza to również analiza trójowa, która wyraźnie przedstawia bardzo silne wytłumienie częstotliwości wyższych z zapisu drgań. Podobnie wygląda sytuacja w przypadku zarejestrowanego ciśnienia PFU. Ściana obiektu stanowi swoisty filtr, który nie przepuszcza wyższych częstotliwości. Różnice w zapisie drgań przez czujniki wewnątrz i na zewnątrz obiektu budowlanego mogą świadczyć o oddziaływaniu ciśnienia

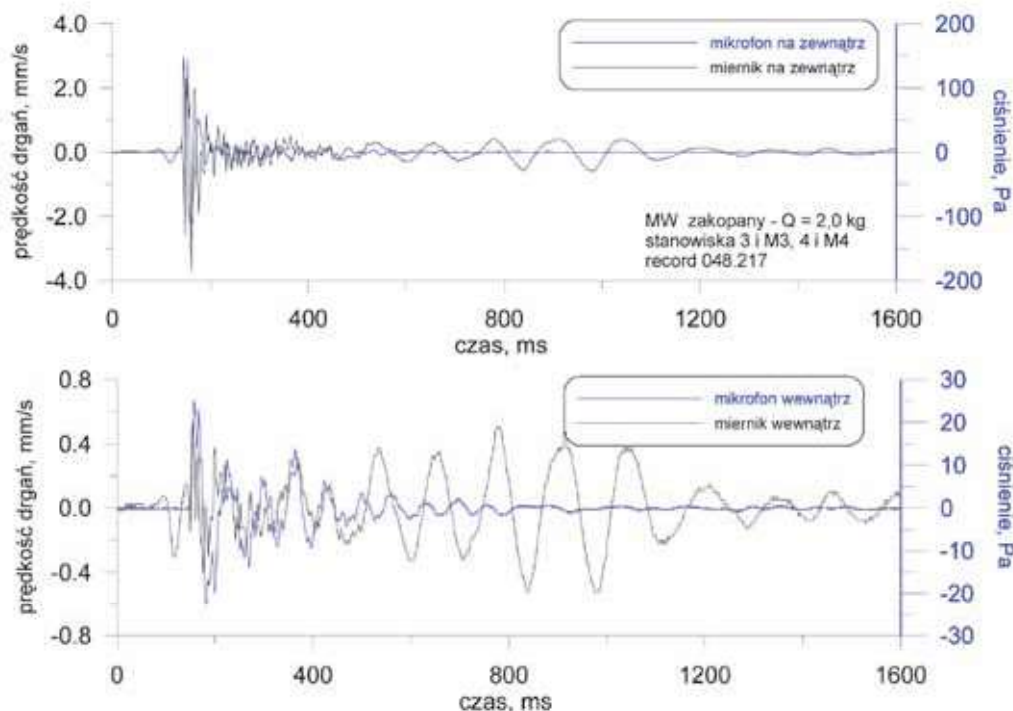


Rys. 8. Analiza struktury częstotliwościowej PFU z rys. 6
Fig. 8. Frequency domain analysis of air blast from fig. 6

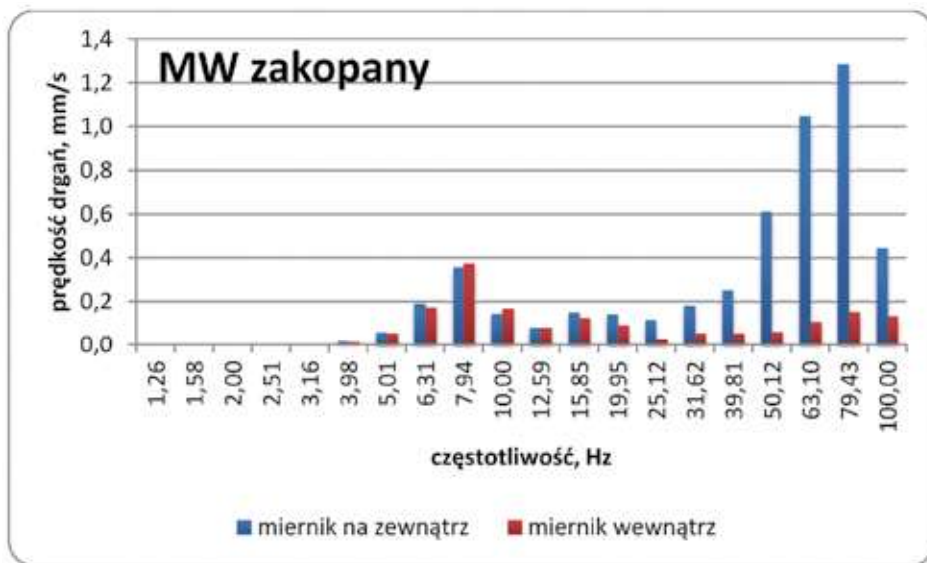


Rys. 9. Sejsmogram drgań i zapis ciśnienia PFU – detonacja zakopanego ładunku MW

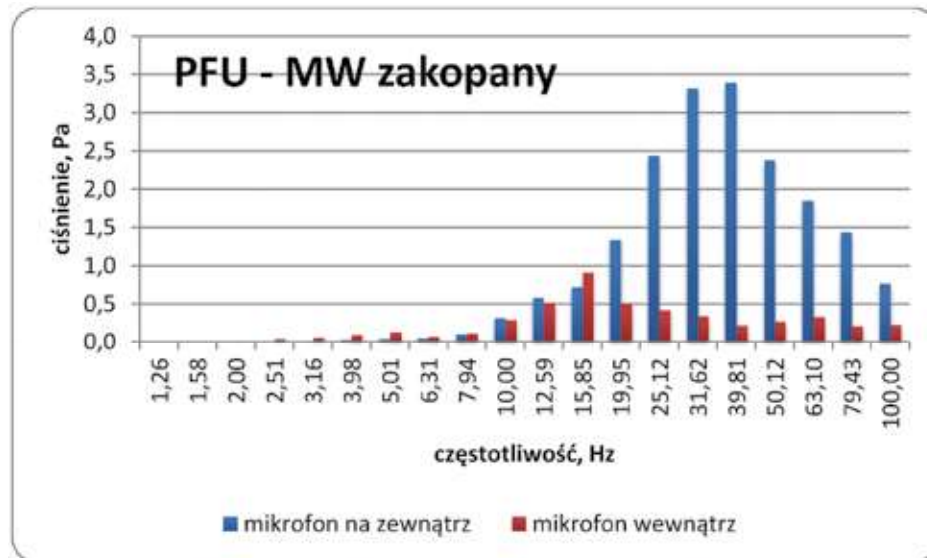
Fig. 9. Records of ground – born vibration and air blast – detonation of explosive charge in blasthole



Rys. 10. Sejsmogram drgań i zapis ciśnienia PFU
Fig. 10. Records of ground – born vibration and air blast



Rys. 11. Analiza struktury częstotliwościowej drgań z rys. 9
Fig. 11. Frequency domain analysis from fig. 9



Rys. 12. Analiza struktury częstotliwościowej PFU z rys. 9
Fig. 12. Frequency domain analysis of air blast from fig. 9

PFU na miernik drgań. W przypadku oddziaływania ciśnienia PFU na cały obiekt budowlany zapisy wewnątrz i na zewnątrz obiektu powinny być do siebie bardzo zbliżone. Analiza struktury częstotliwościowej ciśnienia PFU przedstawia dominację wyższych częstotliwości, zwłaszcza dla mikrofonu znajdującego się przed obiektem budowlanym.

Analiza sejsmogramów i ciśnienia PFU (rys. 9 i 10), wzbudzonych detonacją ładunku MW umieszczonego w otworze strzałowym pokazuje wyraźny wpływ PFU na mierniki drgań. Zarówno w mierniku wewnątrz, jak i na zewnątrz ciśnienie PFU spowodowało wyraźne zakłócenie w zapisie sygnału. Na rys. 11 i 12 przedstawiono wyniki analizy tercjowej.

W zakresie niższych częstotliwości oba mierniki rejestrowały taki sam sygnał, znaczne różnice występuje dopiero w zakresie częstotliwości wyższych (50 Hz, 63 Hz i 80 Hz). Różnica w strukturze częstotliwościowej jest również znaczna w przypadku ciśnienia PFU. Analiza rys. 8 i 12 pozwala stwierdzić, iż umieszczenie ładunku MW w otworze spowodowało przesunięcie maksimum z zakresu 50, 63 Hz do częstotliwości rzędu 30, 40 Hz. Żadne z tych częstotliwości nie są charakterystyczne dla powietrznej fali uderzeniowej, czy zatem została zarejestrowana fala akustyczna?

Druga faza zapisów na sejsmogramach może świadczyć o oddziaływaniu drgań przekazywanych przez podłoże. Jednakże zastanawiający jest fakt, iż zarówno drgania sejsmiczne, jak i prędkość FA w ośrodkach stałych jest większa aniżeli prędkość FA w powietrzu.

4. Podsumowanie

Przedstawione w artykule przykłady rejestracji drgań i ciśnienia PFU w czasie odpalania ładunków materiału wybuchowego umieszczonego na powierzchni i w otworze strzałowym potwierdzają możliwość współwystępowania tych oddziaływań. Mogą one powodować zmianę intensywności występowania innego oddziaływania oraz ograniczenie efektywności stosowania wszelkiego rodzaju środków technicznych i technologicznych mających za zadanie jego ograniczenie. Oddziaływania znajdujące się w stanie wzajemnych interakcji można zatem nazywać oddziaływaniami skojarzonymi.

Przedstawiona analiza pokazuje jak skomplikowaną procedurą jest rzetelna ocena oddziaływania na obiekty budowlane, zwłaszcza z wykorzystaniem normy PN-B-02170: 1985, gdzie warunkiem koniecznym podczas jej stosowania jest fakt, aby drgania były przekazywane przez podłoże. Największy problem występuje w sytuacji, kiedy ładunki MW detonowane są na powierzchni. Taka sytuacja najczęściej występuje w przypadku obalania obiektów budowlanych metodą minerską, gdzie niejednokrotnie stosuje się ładunki kumulacyjne umieszczone na pewnej wysokości.

W dalszym ciągu należy szukać metody pomiaru, lub analizy sygnału, które umożliwią jednoznaczne zidentyfikowanie oddziaływania, a tym samym przeprowadzenie oceny szkodliwości na otoczenie.

Literatura

- ALCUDIA, A. D., 2009 – Microphone and geophone data analysis for noise characterization and seismic signal enhancement: M.Sc thesis, University of Calgary.
- BABCOCK N.M. 2012 – Microphone suppression of air-noise on geophones: M.Sc thesis, Faculty of the Department of Earth and Atmospheric Sciences University of Houston.
- BIESSIKIRSKI R., WINZER J. 2008 – Określenie warunków bezpiecznego wykonywania robót strzałowych w górnictwie odkrywkowym surowców skalnych, „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” 5(165), s. 25 – 35.
- CUDZIŁO S., MARANDA A., NOWACZEWSKI J., TRĘBIŃSKI R., TRZCIŃSKI W. 2000 – Wojskowe Materiały Wybuchowe. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- DRZEŻLA B., DUBIŃSKI J., FAJKLEWICZ Z., GOSZCZ A., MARCAK H., PILECKI Z., ZUBEREK W. 1995 – Poradnik geofizyka górnictwa. Szkoła eksploatacji podziemnej, Kraków.
- FAJKLEWICZ Z. 1972 – Zarys geofizyki stosowanej. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- ISEE (2011). Blasters' Handbook. Cleveland, Ohio, International Society of Explosives Engineers.
- KOWALCZYK J.M. 1970 – Sejsmiczne metody poszukiwawcze. Wydawnictwo AGH, Skrypt uczelniany nr 189, Kraków.
- MACHOWICZ M. 2005 – Oddziaływanie powietrznej fali uderzeniowej na otoczenie – „Górnictwo i Geoinżynieria”, R. 29, z. 3, s. 17 – 30.
- ONDERKA Z., SIERADZKI J., WINZER J. 2003 – Technika strzelnicza 2 – Wpływ robót strzelniczych na otoczenie kopalń odkrywkowych. UWN-D AGH, Kraków.
- PYRA J. 2011 – Wpływ wielkości opóźnień milisekundowych na spektrum odpowiedzi drgań wzbudzanych detonacją ładunków materiałów wybuchowych. Praca doktorska, WGIG AGH, Kraków.
- PYRA J., SOŁTYS A., WINZER J. 2009a – Wybrane problemy oceny oddziaływania powietrznej fali uderzeniowej przy robotach z użyciem MW. W: Problemy bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w polskim górnictwie: XI konferencja: Andrychów 21–22 kwietnia 2009 r., s. 63–73.
- PYRA J., SOŁTYS A., WINZER J. 2009b – Uwagi o ocenie oddziaływania powietrznej fali uderzeniowej na otoczenie przy robotach z użyciem MW „Przeгляд Górnicy” t. 65, nr 11–12, s. 94–102.
- STACHURA V.J., SISKIND D.E., ENGLER A.J. 2000 – Airblast Instrumentation and Measurement Technique for Surface Mine Blast. U. S. Bureau of Mines, Report of Investigations 8508.
- STEINER M. 2015 – Classification of signal sources based on seismic and acoustic measurements. Diplomarbeit, Department für Geodäsie und Geoinformation Forschungsgruppe Geophysik der Technischen Universität Wien.
- WEITZEL W.R., 2014 – Evaluation of overpressure wave transition by airblast overpressure and shock wave attenuation analysis using a small black powder. Theses and Dissertations-Mining Engineering, Lexington, Kentucky, Paper 17.
- WINZER J. 2004 – Wpływ opóźnień milisekundowych przy prowadzeniu strzelań eksploatacyjnych na częstotliwościowe charakterystyki drgań gruntu i budynków. „Górnictwo i Geoinżynieria”. R. 28, z. 3/1, s. 456 - 476.
- WINZER J. 2013 – Dokumentowanie oddziaływania robót wyburzeniowych na otoczenie. Technika strzelnicza w górnictwie i budownictwie: konferencja 25–27 września 2013 roku, Ustroń: Agencja Wydawniczo-Poligraficzna „ART-TEKST”, s. 329–345.

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