

Zbigniew Onderka, Jacek Sieradzki**

EFEKT SEJSMICZNY STRZELANIA W KOPALNIACH ODKRYWKOWYCH — AKTUALNY STAN I ZALECANE KIERUNKI BADAŃ

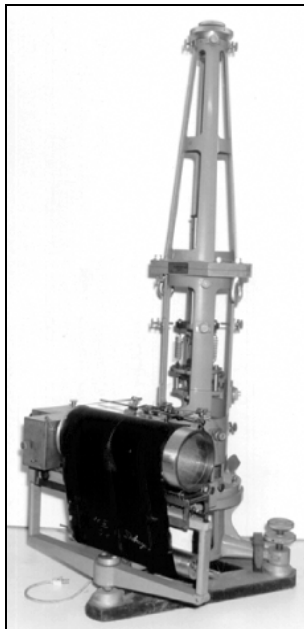
Problem badania drgań powodowanych detonacją ładunków MW w kopalniach odkrywkowych już od wielu lat jest przedmiotem licznych prac, a ich wyniki były i są publikowane w literaturze fachowej krajowej i zagranicznej [1–5]. Początkowo, z uwagi na braki aparaturowe prace badawcze miały charakter doraźny, związany z ochroną budynków mieszkalnych i nie prowadziły do żadnych uogólnień. Korzystając z bieżących wyników, starano się tylko opracować wytyczne do oceny szkodliwości dla poszczególnych budynków, co doprowadziło do powstania szeregu norm i skal zwykle odnoszących się do lokalnych warunków. Dopiero w 1980 roku, w biuletynie „Bureau of Mines” [6], przedstawiono wyniki kompleksowych badań zakończonych opracowaniem normy, która od tego czasu stanowi podstawę oceny szkodliwości strzelań w górnictwie odkrywkowym wielu krajów.

W Polsce problem powstał już na przełomie lat 50. i 60. XX w., gdy zauważono skutki szkodliwych drgań podłoża zabytkowego klasztoru w Czernej znajdującego się w sąsiedztwie Kopalni Wapienia Czatkowice koło Krzeszowic. Silne drgania, nazwane później parasejsmicznymi (DP), wystąpiły w związku z wprowadzeniem strzelania długimi pionowymi otworami o dużej średnicy 200÷220 mm, które wiercone były maszynami liniowo-udarowymi Uralec. Wtedy na jeden metr otworu przypadało około 25÷30 kg MW (amonit lub trotyl) ładowanego grawitacyjnie, a przy wysokościach pięter 18 do 20 m w otworze mieściło się 350÷450 kg MW. Nawet wprowadzenie odpalania milisekundowego nie zmniejszyło występującego zagrożenia poważnymi szkodami. Łatwo można sobie wyobrazić wstrząs, jaki powstał przy odstrzale 10 do 15 otworów w serii, tym bardziej, że zabiory były rzędu 12 do 15 m, a stosunek $m = a/z = 0,8$, gdzie a — odległość między otworami, z — zabiór.

Nadmiernym drganiom próbowano przeciwdziałać przez zmniejszenie ładunku otworu i podzielenie go na trzy części przybitką i pustką powietrzną, ale poprawę tego stanu przyniosło dopiero wprowadzenie wiertnic do wykonywania otworów o średnicach 100÷120 mm przy odpowiednim doborze parametrów geometrycznych strzelania (z , a , l_{pw} — długość przewiertu).

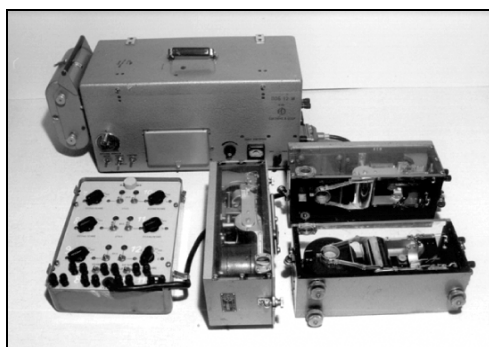
* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Pierwsze pomiary (DP) prowadzono za pomocą aparatury z zapisem mechanicznym typu de Querwain Piccard (rys. 1).



Rys. 1. Sejsmograf typu de Querwain Piccard

Na przestrzeni lat zmieniała się również i doskonaliła aparatura pomiarowa: poprzez urządzenia o rejestracji oscylograficznej — sejsmograf POB-12 M (rys. 2), aż do obecnie stosowanych rejestratorów cyfrowych z rodziny UVS (rys. 3) oraz innych (rys. 4), o wysokiej dynamice i szerokim zakresie częstotliwości od 1 do 100 Hz.



Rys. 2. Sejsmograf typu POB-12M z czujnikami typu WEGIK

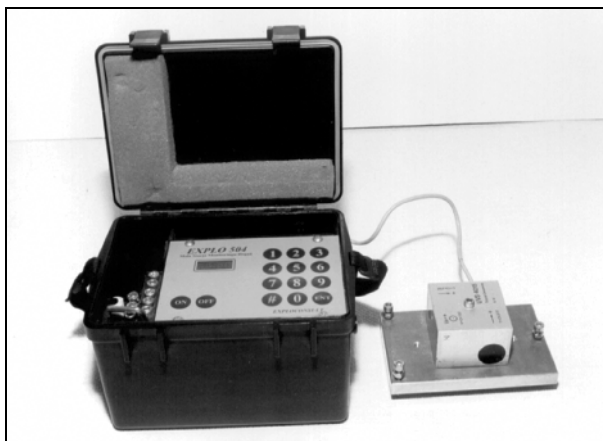
a)



b)



Rys. 3. Rodzina rejestratorów typu UVS, UVS1608 (a) i UVS 1504 (b)



Rys. 4. Rejestrator EXPLO 504

Urządzenia te są wielokanałowe i pozwalają na równoczesny pomiar ciśnienia powietrznej fali uderzeniowej (PFU) za pomocą szerokopasmowych mikrofonów.

Krajowe prace doprowadziły do sformułowania normy PN-85/B-02170, która w postaci skal oceny szkodliwości wpływów dynamicznych znalazła zastosowanie również w górnictwie odkrywkowym.

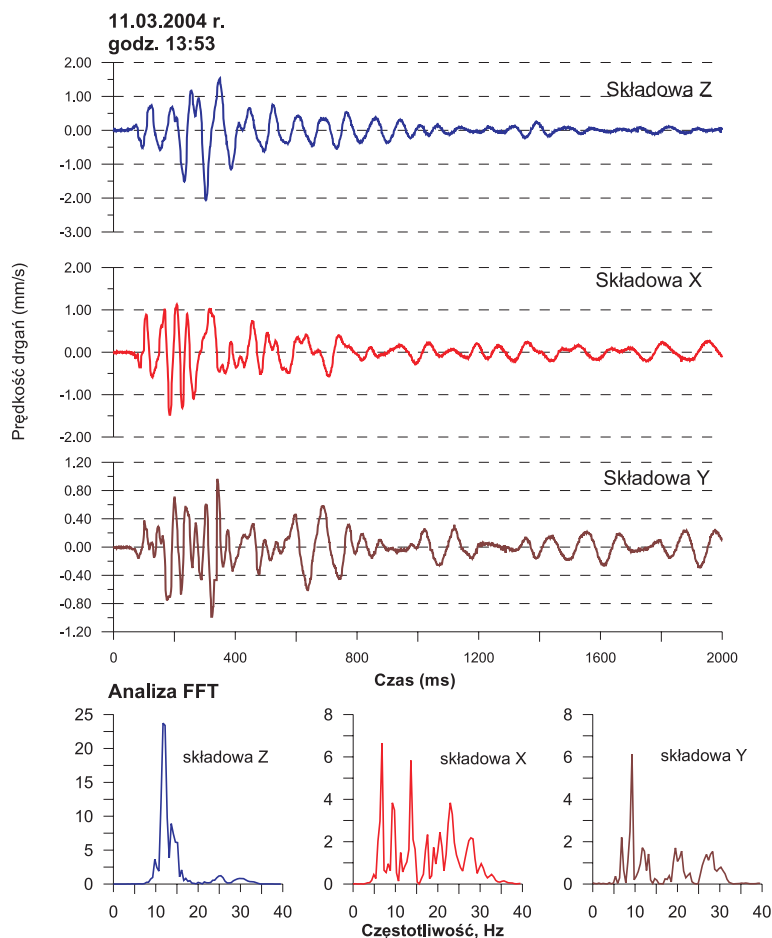
Dotychczasowe badania (DP) pozwalają na przedstawienie następujących ustaleń i wniosków:

- energię sejsmiczną drgań przy strzelaniu szacuje się kwadratem amplitudy prędkości drgań;
- pomiary powinny być wykonywane na trzech składowych zgodnych z prostokątnym układem odniesienia;
- sejsmometry powinno się starannie mocować do mierzonego obiektu lub do gruntu;
- wielkość (DP) rośnie ze wzrostem stosowanych średnic otworów oraz długości przewiertów;
- na wielkość drgań wpływa stosunek a/z , gdyż w miarę wzrostu głębokości umieszczenia ładunku w caliznie zwiększają się drgania, przy tym powinno być $a/z > 1$;
- minimalizację (DP) można uzyskać przez odpalanie milisekundowe z odpowiednim opóźnieniem międzystrzałowym;
- przy ocenie szkodliwości (DP) należy brać pod uwagę zarówno ładunek pojedynczego opóźnienia, jak i całkowity ładunek serii otworów;
- w miarę wzrostu odległości pomiaru maleją nie tylko amplitudy, ale także częstotliwości drgań, ponieważ nadkład stanowi swoisty filtr tłumiący drgania wysokoczęstotliwościowe;
- wciąż jeszcze małe zrozumienie towarzyszy roli częstotliwości drgań i ich wpływu na stopień szkodliwości, co można zauważyć w wielu ekspertyzach;
- nie zawsze przeprowadza się prawidłową analizę parametrów drgań oraz ocenę szkodliwości, myląc drgania podłoża i obiektów, intensywności na składowych i wielkości wektorowe, a także nie uwzględniając właściwości dynamicznych ochraniających obiektów;
- występują poważne błędy, gdy do oceny szkodliwości (DP) bierze się parametry zmierzone na gruncie, a norma PN-85/B-02171 odnosi się do drgań na fundamentach budynków.

Z dotychczasowych badań wynika, że kluczem do prawidłowej oceny szkodliwości (DP) jest właściwa analiza częstotliwości drgań.

Jeżeli chodzi o amplitudy, to są one pojęciem łatwo wyobrażalnym, czego nie można powiedzieć o częstotliwościach, tym bardziej, że ma się do czynienia z różnymi znaczeniami częstotliwości. Na przykład, mówi się o częstotliwości lokalnej (chwilowej) związanej z maksymalną amplitudą, dominującą w torze pomiarowym czy w poszczególnych pasmach analizy tercjowej.

W przypadku częstotliwości dominującej stosuje się analizę Fouriera (Fast Fourier Transform), która pozwala na poznanie struktury drgań oraz występowanie wartości maksymalnych (rys. 5).

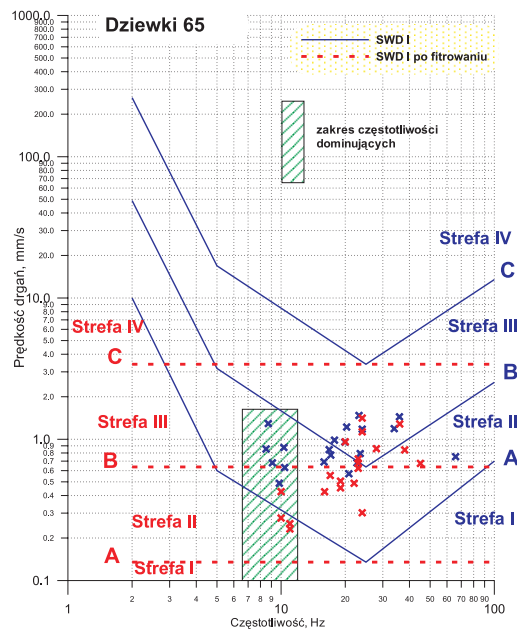


Rys. 5. Przykład analizy FFT [10]

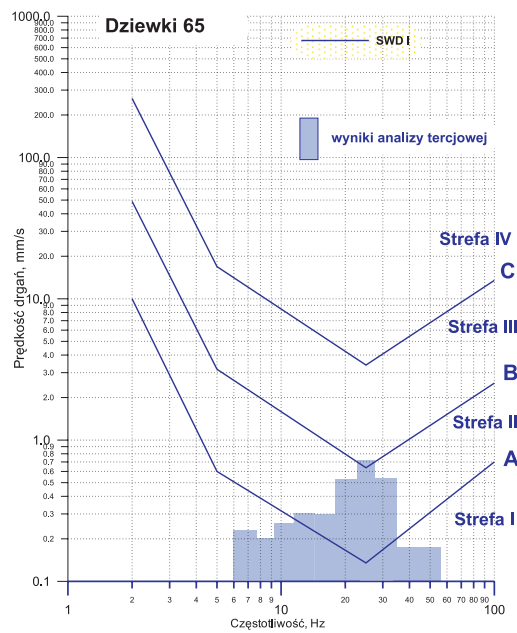
Natomiast zaletą analizy terejowej jest przypisanie danemu pasmu częstotliwościowemu odpowiedniej amplitudy prędkości, co ułatwia ocenę szkodliwości, np. z zastosowaniem skali SWD. Na rysunku 6 przedstawiono porównanie analizy wartości maksymalnych z przebiegu drgań i obraz tego samego przebiegu po analizie terejowej naniesione na skalę szkodliwości SWD I.

Należy wyjaśnić też, że opis wymuszenia kinematycznego budowli polega nie tylko na pomiarze amplitud (przemieszczenia, prędkości, przyspieszenia), ale także na wyznaczeniu spektrum odpowiedzi, które jest szczególnie przydatne dla przypadku drgań o przebiegu nieregularnym. Sporządzane na podstawie znanego ruchu podłoża pozwala dla budynku o danym okresie drgań własnych i tłumieniu oszacować spodziewaną maksymalną wartość odpowiedzi konstrukcji, a także maksymalną siłę sejsmiczną. Ma to szczególne znaczenie w przypadku projektowania budowli na terenach zagrożonych wstrząsami.

a)

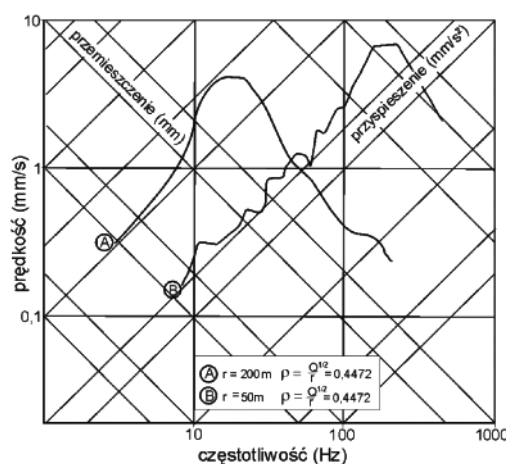


b)



Rys. 6. Skala SWD I, porównanie analizy wartości maksymalnych amplitud i analizy trzecjowej [10]

Spektra drgań stanowią też odpowiednią charakterystykę tych przebiegów ułatwiającą ocenę interakcji układu budynek–podłoże podlegającego drganiom, a także służą do porównywania wielkości drgań czy określaniu dominującej częstotliwości drgań (rys. 7).



Rys. 7. Spektrum drgań gruntu zmierzonych w różnych odległościach przy takiej samej wartości p , r — odległość, Q — wielkość ładunku MW [2]

Zaletą spektrów odpowiedzi jest też możliwość odniesienia się do drgań poszczególnych elementów budynku (ścian, stropów), w których nieregularne drgania podłoża mogą powodować szkody trudne do przewidzenia. Poza tym nie zawsze można przecież prowadzić bezpośrednie pomiary poszczególnych elementów budynku. Dlatego metoda spektrum odpowiedzi jest szeroko stosowana w zagranicznych badaniach i pracach projektowych. Natomiast w kraju wciąż jeszcze stanowi mało znane kryterium oceny drgań.

Od wielu lat do prognozowania intensywności drgań i wyznaczania dopuszczalnych ładunków do strzelania stosowana jest reguła w postaci

$$u = K \cdot Q^{\alpha} \cdot r^{-\beta} \quad (1)$$

gdzie:

- u — intensywność drgań (np. prędkość),
- K — współczynnik zależny od warunków badań,
- α, β — wykładniki potęgowe,
- Q, r — wielkość ładunku MW i odległość pomiaru.

Nieznany parametrami, które wyznacza się doświadczalnie, są współczynnik K oraz wykładniki potęgowe α i β . W praktyce, dla uproszczenia analizy przyjmuje się stosunek wykładników potęgowych $n = \alpha/\beta = 1/3, 1/2$ lub $2/3$, w zależności od sposobu strzelania, lo-

kalnych warunków i stopnia bezpieczeństwa, który zwiększa się ze wzrostem n . Wtedy otrzymuje się znaną zależność typu

$$u = K \cdot \left(\frac{Q^{\frac{\alpha}{\beta}}}{r} \right)^{\beta} = K \cdot \rho^{\beta} \quad (2)$$

Dokładność doświadczalnego wyznaczania wielkości K i β nie zawsze jest jednak wystarczająca ze względu na rozrzut wyników pomiarów, zwłaszcza przy mniejszych odległościach pomiaru, kiedy zaznaczają się wyraźne wpływy oddziaływań poszczególnych ładunków odpalanych w serii i szczegóły ich lokalizacji w caliznie.

Nie do końca wyjaśnionym problemem jest także wpływ całkowitego ładunku serii otworów, a więc, które ładunki powinny być uwzględnione we wzorze (2). Jeżeli chodzi o bezpieczeństwo, to bierze się pod uwagę zarówno ładunek całkowity Q_c , jak też i ładunek opóźnienia milisekundowego Q_z , uważając, że ten ostatni ma decydujący wpływ na (DP), zwłaszcza na małych odległościach pomiarów. Przy większych odległościach różnice wpływów Q_c i Q_z często maleją.

Różnica wyników wokół linii regresji wynika też często ze zmian strukturalnych górotworu, położenia miejsc strzelania, wyboru różnych miejsc pomiaru i sposobu zamocowania sejsmometrów.

Wspomnieć należy też o wpływie kierunku rozprzestrzeniania się fal sejsmicznych w stosunku do ukształtowania terenu oraz osi strzelania (linii rozmieszczenia otworów).

W wielu przypadkach wydaje się, że zasada wyrażona wzorem (2) jest zbyt ogólna i wymaga uściślenia oraz dostosowania do lokalnych warunków kopalnianych, co jest ważne tym bardziej, że służy do wyznaczania dopuszczalnych ładunków do strzelania, a więc zapewniających bezpieczeństwo obiektom, urządzeniom i ludziom.

Rozpatrując dotychczasowy stan wiedzy o (DP) związanych z górnictwem odkrywkowym, uważa się, że konieczny jest rozwój badań dotyczących lepszego poznania zjawiska powstawania i propagacji (DP), a ich głównym celem powinien być wpływ różnych aspektów strzelania na ich intensywność. Wybór przestrzeni badawczej wynika z potrzeb przemysłu, dlatego dużą rolę odgrywa właściwa ocena szkodliwości dotycząca nie tylko budynków mieszkalnych, budowli i budynków przemysłowych, ale także uciążliwości drgań dla ludzi.

Jeżeli chodzi o budynki, to powszechnie stosowana jest norma PN-85/B-02170, która zawiera skale wpływów dynamicznych SWD I i SWD II oparte na kryteriach diagnostycznych typowych budynków murowanych, a także kryteria wpływu drgań na urządzenia znajdujące się w budynkach. W diagnostyce dotyczącej wpływu drgań na ludzi w budynkach stosowana jest norma PN-88/B-02171 [9].

Skale SWD dotyczą tylko najczęściej spotykanych budynków, z których wybrano dwa wzorcowe. Wykonane dla nich obliczenia dynamiczne posłużyły do skonstruowania wzmiankowanych skal. Kryteria oceny szkodliwości oparto na sprawdzeniu warunków sztywności, wytrzymałości i stateczności, przyjmując graniczne wartości naprężeń i wewnętrzne tłumienie materiałowe. Skale te, mimo że nie rozwiązują kompleksowo zagadnienia, to obejmują

stosunkowo szeroki zakres przypadków przydatnych przy ocenie szkodliwości (DP). Przypadki nie określone tymi normami mogą być oceniane według innych norm czy skal, ale konieczna jest ich znajomość i umiejętność wyboru ich stosowania.

Zagadnienie szkodliwości należy potraktować poważnie i profesjonalnie, nie pozostawiając w tym względzie miejsca na działalność amatorów. Inżynier z ogólnym wykształceniem na przykład górniczym nie działający w danym zakresie (nie będący specjalistą) ma ogólny pogląd na omawiany problem, ale nie wnika w specyfikę zagadnienia, która łączy trzy dziedziny techniki: górnictwo, geofizykę i budownictwo. Nie ma więc podstaw do formułowania wniosków dotyczących szkodliwości strzelania.

Perspektywiczną metodą badawczą jest ciągła rejestracja drgań przez dłuższy czas (tzw. monitoring) [7] oraz ich identyfikacja ze skargami mieszkańców na szkody czy uciążliwość strzelania (rys. 8).



Rys. 8. Schemat systemu Kopalnianej Stacji Monitoringu Drgań [7]

Monitoring taki pozwala na zarejestrowanie drgań powodowanych codzienną pracą w kopalni, ze wszystkimi zmianami geometrycznych parametrów, wielkości ładunków, rodzajów MW, opóźnień milisekundowych i schematów odpalania, jakie zwykle występują.

Takich różnic nie da się uchwycić przy dokładnie przygotowanych pojedynczych pomiarach. Wiadomo też, że często występują zróżnicowane warunki geologiczne w miejscu urabiania, na drodze fal i w punkcie rejestracji, których wpływ na (DP) można ocenić tylko przy ciągłej rejestracji w dłuższym przedziale czasowym.

Nieumiejętne wyznaczanie dopuszczalnych ładunków na podstawie wrywkowych pomiarów może doprowadzić do błędnych wniosków i dlatego powinno być oceniane przez fachowca z wieloletnim doświadczeniem. W przeciwnym razie może dojść do poważnych szkód albo niepotrzebnego zaniżania wartości dopuszczalnych ładunków.

Cechy monitoringu drgań to:

- możliwość rejestracji wszelkich odstrzałów wykonywanych w kopalni przez dłuższy czas i w różnych porach roku;
- pełny zapis drgań na trzech składowych równocześnie w kilku miejscach, najlepiej wzdłuż wybranego kierunku w różnych odległościach;
- natychmiastowa dostępność wyników pomiarów, które mogą być na bieżąco analizowane;
- możliwość archiwizowania wyników pomiarów; po uzupełnieniu danymi cechującymi odstrzał stanowią one zbiór informacji o prawidłowości robót i ich szkodliwości (DP);
- możliwość pomiaru drgań pochodzących z innych źródeł, nie związanych ze strzelaniem.

Jeżeli prowadzi się przegląd stanu budynku przed i po strzelaniu, można na bieżąco kontrolować przyjmowane progi szkodliwości, a także określić przyczyny zaistniałych szkód. Przy takich pomiarach zalecany jest:

- równoczesny pomiar ciśnienia uderzeniowej fali powietrznej, co umożliwi kompleksową ocenę wpływu strzelania;
- przy pomiarach drgań budynków równoczesny pomiar drgań podłoża;
- położenie przynajmniej jednego punktu w małej odległości od źródła drgań, co ułatwia analizę szczegółów przeprowadzonego odstrzału, a także samego sygnału sejsmicznego.

Ze względu na trudności w prowadzeniu badań kopalnianych dotychczas właściwie pomijane były systematyczne prace dotyczące określenia wpływu na intensywność (DP):

- geometrycznych parametrów strzelania ($a/z, l_{pw}/z, l_p/z$), l_p — długość przybitki;
- konstrukcji ładunku;
- sposobu odpalania poszczególnych części ładunku w otworze;
- wyznaczenia długości przerwy między częściami ładunku;
- rzeczywistej prędkości detonacji MW w otworze;
- prędkości fali podłużnej jako rzeczywistej charakterystyki skał w miejscu strzelania i pomiaru.

Ważnym problemem jest prawidłowe wykonanie odpalania milisekundowego, które wymaga opracowania metody wyznaczania odpowiedniego opóźnienia międzystrzałowego już w fazie projektowania strzelania. Doświadczalne wyznaczanie takiego opóźnienia jest pracochłonne i kosztowne, chociaż trzeba podkreślić, że uzyskane w ten sposób wyniki mogą być od razu wykorzystane w praktyce. Przy badaniach tego rodzaju powinno się zwrócić uwagę na:

- wpływ różnych opóźnień na charakterystykę sygnału sejsmicznego;
- dokładność odpalania i możliwość nakładania się drgań powodowanych detonacją sąsiednich ładunków;
- właściwy schemat (kolejność) odpalania;
- porównanie różnych sposobów odpalania.

Dotychczas większość prac badawczych wykonywana była przy strzelaniu w kopalniach skał zwięzłych, natomiast jedynie mała część w warunkach kopalń węgla brunatnego. Cechą charakterystyczną takich prac będą pomiary w dużej odległości od źródła, co komplikuje przebieg fal sejsmicznych i wymaga nieco odmiennych metod ich analizy i oceny. Rejestrowane drgania będą cechowały się małymi częstotliwościami, a ich czas trwania będzie stosunkowo długi, dochodzący do 10 sekund, co przyczynia się do większej odczuwalności i jest powodem skarg mieszkańców, mimo że na ogół amplitudy są za małe, aby mogły wystąpić szkody.

Częściej obserwuje się ujemny wpływ (DP) na wrażliwe urządzenia, aparaturę medyczną czy urządzenia energetyczne znajdujące się w znacznej odległości od kopalni. W budynkach stwierdzono występowanie różnego rodzaju lokalnych wzmocnień drgań. Takie wzmocnienia wystąpiły na przykład w budynku szpitalnym w odległości 1,5 mili przy drganiach o częstotliwościach $4\div 7$ Hz i wahały się w różnych punktach budynku od 1,5 do 2,5-krotnie w stosunku do przewidywanych [7]. W innym przypadku na ścianie kościoła o wysokości 16 m doszło do wzmocnienia drgań aż 4,5-krotnie [7]. Dlatego takie zjawisko zmusza do większej ostrożności przy ocenie szkodliwości (DP).

W robotach inżynierskich (np. wyburzenia, makroniwelacje itp.) istotnym problemem jest rozróżnienie skutków powodowanych oddziaływaniem fal przechodzących przez podłoże i fal powietrznych, dlatego wskazane są równoczesne pomiary drgań i ciśnienia powietrznych fal uderzeniowych (PFU). Uderzenie ciśnienia (PFU) jest też przyczyną drgań i może powodować nie mniejsze szkody, ale przede wszystkim jest dobrze odczuwalne przez ludzi i stąd duża liczba skarg mimo braku spękań budynków.

Szkodliwy wpływ na budynki zależy od charakterystyki obiektu, a pierwszym skutkiem działania (PFU) jest zwykle pękanie szyb okiennych czy uszkodzenia lekkich pokryć dachowych. Takie szkody występują przy ciśnieniach rzędu 140 dB (200 Pa). Dobrze słyszy się też drżenie okien, drzwi oraz naczyń. Wtedy można mówić o uciążliwości dla ludzi, a takie skutki powstają przy ciśnieniach $115\div 125$ dB (35 Pa).

W większych odległościach od miejsca strzelania fale powietrzne odbiera się jako infradźwięki, a więc o częstotliwościach $1\div 20$ Hz. Ucho ludzkie odbiera dźwięki od 20 Hz do 20 kHz i lepiej toleruje dźwięki o niskich częstotliwościach, dlatego w większej odległości działanie słabych (PFU) może wydawać się bardziej dokuczliwe niż bliżej miejsca strzelania.

Organizm ludzki jest bardzo wyczulony na drgania i fale dźwiękowe. Dzieje się tak szczególnie gdy mieszkańcy budynków nie są wcześniej poinformowani o strzelaniu — powiadomieni, znacznie lepiej je tolerują.

Drgania szkodliwe dla ludzi występują niezmiernie rzadko, dlatego zwykle skargi powodowane są dyskomfortem wywołanym przez odczuwalne drgania. Poziom odczuwalności jest bardzo zróżnicowany — na przykład człowiek siedzący może odczuwać drgania budynku 0,5 mm/s przy ich częstotliwości $5\div 20$ Hz, podczas gdy pierwsze spękania wystąpiły przy prędkościach rzędu 5 mm/s. Częstotliwość drgań własnych elementów ciała ludzkiego wynosi od 7 do 20 Hz, dlatego możliwe są rezonanse różnych części ciała, a drgania mogą być szczególnie dokuczliwe, jeżeli trwają kilka sekund.

Praktyczny problem polega często na tym, jak przekonać ludzi zamieszkujących w sąsiedztwie kopalni, że drgania odczuwalne wcale nie muszą być szkodliwe dla budynków. Dlatego też często za granicę dopuszczalnych drgań przyjmuje się wielkości odczuwalne, a nie takie, które mogą być przyczyną szkód, co znacznie ogranicza siłę stosowanych ładunków MW.

Przedstawione tutaj problemy nie omawiają wszystkich przypadków szkodliwości i uciążliwości strzelania dla otoczenia kopalń, a lista zagrożeń może być znacznie dłuższa, w zależności od lokalnych warunków i rodzaju ochraniających obiektów. Trzeba sobie zdawać sprawę, że drgania powodowane strzelaniem wzbudzone są energią detonacji, dlatego przez pomiar ich intensywności można korygować błędy projektowania. Wyniki badań efektu sejsmicznego strzelania rzutują na efektywność wydobywania, ponieważ są podstawą wyznaczania dopuszczalnych ładunków MW do strzelania, a te — jeśli są zbyt małe — następczą znaczących trudności i wydatków wykonawcom robót, a jeśli za duże — powodują szkody i są uciążliwe dla ludzi, co wyraża się w skargach i pozwach sądowych.

Podjęcie odpowiednich badań efektu sejsmicznego strzelania staje się niezmiernie ważne z uwagi na stale zwiększającą się skalę robót strzelniczych, a więc coraz większe potencjalne zagrożenie uszkodzeniami różnych budynków i budowli inżynierskich, wrażliwych urządzeń, a także wzrost uciążliwości dla ludzi.

LITERATURA

- [1] *Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E.*: Ocena wpływu wibracji na budowle i ludzi w budynkach. ITB Warszawa 1993
- [2] *Crum S., Siskind D.*: Response of Structures to Low — Frequency Ground Vibrations — Preliminary Study. Symp. of Explosives and Blasting, San Diego 1993
- [3] *Dunn B.*: Blasting and Vibration Control in British open cast coal mining. Explosives Engineering, nr 3, 1989
- [4] *Kelly M., White T.*: Environmental effect of blasting, Leeds University Mining Association Journal 1993
- [5] *Siskind D. i in.*: Noise and Vibrations in Residential Structures from Quarry Production Blasting. Bureau of Mines RJ 8062
- [6] *Siskind D. i in.*: Comparative Study of Blasting Vibrations from Indiana Surface Coal Mines. Bureau of Mines RJ 9226
- [7] *Biessikowski R., Winzer J., Sieradzki J.*: Kopalnia Stacja Monitoringu Drgań (KSMD). Konferencja Technika Strzelnicza w Górnictwie. ART-TEKST, Jaszowiec 2001
- [8] *Onderka Z., Sieradzki J., Winzer J.*: Technika strzelnicza. Cz. 2. Wpływ robót strzelniczych na otoczenie kopalń odkrywkowych. UWND AGH, Kraków 2003
- [9] Normy: PN-85/B-02171 i PN- 88/B-02170
- [10] Monitoring drgań powodowanych robotami strzałowymi w kopalni „Siewierz”, Exploconsult, Kraków 2004

Zatwierdzono do druku: 17.09.2004 r.