

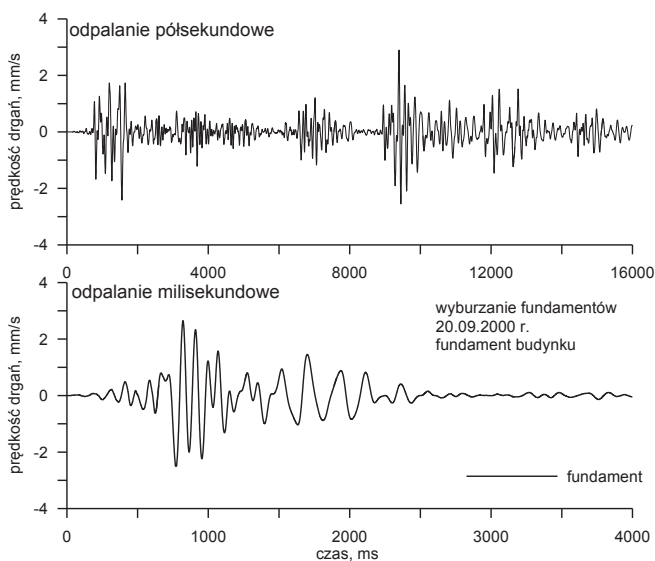
2.2.4. Roboty strzałowe w pracach wyburzeniowych

Wyraźnie inne od dotychczas omówionych zastosowań materiałów wybuchowych są prace wyburzeniowe obiektów budowlanych. Odmienność ta przejawia się przede wszystkim w oddziaływaniu na obiekty budowlane w otoczeniu również upadku dużych mas. Samo użycie MW nie stanowi w większości przypadków bezpośredniego zagrożenia dla budynków, w przeciwieństwie do skutków uderzenia wyburzanego obiektu budowlanego o podłoże.

Efekt oddziaływania robót wyburzeniowych można podzielić następująco:

- oddziaływanie detonacji MW w czasie prowadzenia robót wyburzeniowych w postaci drgań przenoszonych przez podłoże,
- oddziaływanie detonacji MW w postaci powietrznej fali uderzeniowej w czasie prowadzenia robót wyburzeniowych z zastosowaniem ładunków MW na powierzchni lub nad powierzchnią terenu,
- oddziaływanie upadku dużych mas – wyburzanie kominów żelbetowych i obiektów budowlanych położonych na wysokich konstrukcjach,
- rozłożone w czasie oddziaływanie upadku wyburzanych obiektów budowlanych – wyburzanie kaskadowe, wyburzanie kominów ceglanych.

W przypadku wyburzania fundamentów zagłębionych w podłożu występuje oddziaływanie detonacji MW na środowisko otaczające w postaci drgań propagowanych w podłożu. Na rysunku 2.8 przedstawiono sejsmogramy drgań zarejestrowanych w czasie wykonywania robót wyburzeniowych z zastosowaniem zapalników półsekundowych i milisekundowych. Podobnie jak w robotach makroniwelacyjnych, można zauważyć niewielką różnicę w intensywności drgań, ale przy zapalnikach półsekundowych czas oddziaływania jest czterokrotnie dłuższy.



Rys. 2.8. Sejsmogramy drgań wzbudzonych wyburzeniem fundamentów zagłębionych w podłożu [16]

3.2. Rozszerzanie się gazów odstrzałowych

W momencie powstania PFU jej prędkość jest taka sama jak gazów odstrzałowych (GO). Z teorii detonacji wynika, że [1] prędkość gazów wynosi:

$$u = \frac{2}{(k+1)} \cdot D \quad (3.3)$$

a ciśnienie wynosi:

$$p = \rho \cdot D \cdot u \quad (3.4)$$

gdzie:

- D – prędkość detonacji,
- ρ – gęstość gazów,
- k – wykładnik przemiany politropowej,
- u – prędkość gazów,
- p – ciśnienie gazów.

Prędkość PFU wynosi:

$$D_{ud} = \frac{(k_a + 1)}{2} \cdot u_{ud} \quad (3.5)$$

Po podstawieniu do wzoru (3.4) ciśnienie PFU wynosi:

$$p_d = p_{ud} = \frac{(k_a + 1)}{2} \cdot \rho_a \cdot u_{ud}^2 \quad (3.6)$$

gdzie:

- $k_a \approx 1,2$ – wykładnik przemiany izentropowej powietrza,
- ρ_a – gęstość powietrza,
- p_d – ciśnienie detonacji,
- u_{ud} – prędkość gazów za czołem fali uderzeniowej (prędkość gazów odstrzałowych).

Prędkość gazów odstrzałowych u_{ud} wynosi więc:

$$u_{ud} = \sqrt{\frac{2}{(k_a + 1)} \cdot \frac{p_d}{\rho_a}} \quad (3.7)$$

Przykładowo, jeśli gęstość powietrza $\rho_a = 1,29 \text{ kg/m}^3$, a ciśnienie detonacji $p_d = 5 \cdot 10^7 \text{ Pa}$, to początkowa prędkość gazów odstrzałowych wyniesie:

$$u_{ud} = \sqrt{\frac{2}{(1,2 + 1)} \cdot \frac{5 \cdot 10^7}{1,29}} = 5936 \text{ m/s}$$

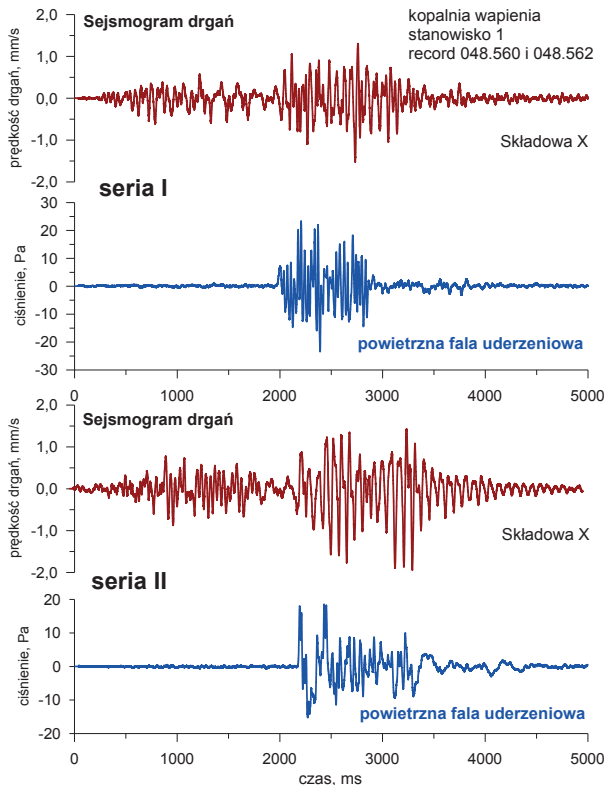
Rozszerzania się gazów odstrzałowych w środowiskach o małej gęstości nie można opisać równaniem stanu typu $p_d = B \cdot \rho^n$ [3], to znaczy przy stałej wielkości wykładnika przemiany izentropowej n , ponieważ różnica ciśnień na początku i końcu procesu jest znaczna. Dlatego w pracy [4] zaproponowano opis rozszerzania się GO za pomocą dwóch przecinających się

Jest to spostrzeżenie bardzo istotne w ocenie oddziaływania robót z użyciem MW, szczególnie w przypadku, gdy materiał wybuchowy detonuje na powierzchni lub nawet nad powierzchnią terenu [13].

3.8.2. Oddziaływanie PFU w robotach strzałowych w kopalniach odkrywkowych

Waga wniosków wynikających z badań poligonowych, w ocenie oddziaływania robót strzałowych na obiekty w otoczeniu, była podstawą do poszukiwania ich potwierdzenia w warunkach kopalnianych. Przeprowadzono szereg strzelań doświadczalnych, wykonując jednocześnie pomiary intensywności drgań podłoża, fundamentów i ścian nośnych obiektów budowlanych oraz ciśnienia PFU.

W przypadku jednej z kopalń odkrywkowych odnotowano typowe dla wcześniej przedstawionych badań poligonowych oddziaływanie PFU na mierniki zamocowane na obiekcie chronionym (rys. 3.23).



Rys. 3.23. Rejestracja ciśnienia PFU i drgań fundamentu budynku w czasie strzelania w kopalni odkrywkowej wapienia

- Najczęstszymi błędami popełnianymi podczas wykonywania otworów strzałowych są:
- błąd rozmieszczenia – różnica pomiędzy miejscem wyznaczenia otworu a miejscem wykonania,
 - błąd inklinacji otworu strzałowego – spowodowany odchyleniem się żerdzi od założonego kierunku wiercenia albo zbyt dużym naciskiem wiertła,
 - błąd kierunku otworu strzałowego – niedokładne określenie kierunku wiercenia,
 - błąd głębokości – nieuwzględnienie nierówności stropu (spąg będzie wyglądał jak strop po odpaleniu serii).

W celu zweryfikowania prawidłowości wykonania otworu strzałowego można skorzystać z urządzeń typu Boretrak (rys. 4.2) [4], które pozwalają na porównanie rzeczywistych przebiegów otworów z projektowanymi.



Rys. 4.2. Urządzenie do pomiaru odchyłeń otworów strzałowych [5]

Szczególnie niebezpieczne jest odpalanie ładunków MW metodą zwykłych otworów o różnym nachyleniu w stosunku do powierzchni odsłonięcia (otwory poziome lub nachylone), gdyż tor lotu odłamków zależy w dużej mierze od kąta wyrzutu, dlatego rozrzut osiąga największe odległości przy nachyleniu otworów pod kątem około 45° (rys. 4.3 i 4.4) [6, 7–9]. Aby ograniczyć rozrzut (jeżeli jest taka konieczność), powinno się odpalać ładunki MW umieszczone wyłącznie w otworach pionowych lub niewiele odchylnych od pionu. Wtedy rozrzut występuje do góry, osiągając małe odległości poziome. Ważnym czynnikiem jest także kierunek wyrzucanych skał po detonacji ładunków MW w otworach. Przez odpowiednie zaplanowanie opóźnień zapalników w poszczególnych ładunkach MW możliwa jest kontrola kierunku wyrzutu skały.

Tłumieniem krytycznym nazywa się też często współczynnik D , który wynika z zależności:

$$\Delta = \varepsilon \cdot T = \varepsilon \cdot \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \cdot \frac{\varepsilon}{\omega}$$

Stąd:

$$\frac{\varepsilon}{\omega} = \frac{\Delta}{2\pi} = D \quad (5.42)$$

Współczynnik rozproszenia energii ψ jest stosunkiem energii rozproszonej przy jednym cyklu drgania do całkowitej energii drgania równym w przybliżeniu $\psi = 2 \cdot \Delta$.

Współczynnik tłumienia krytycznego może być jeszcze wyrażony następująco:

$$\gamma = \frac{\Delta}{\pi} \quad (5.43)$$

Tak więc między poszczególnymi charakterystykami tłumienia zachodzą następujące związki:

– logarytmiczny dekrement tłumienia:

$$\Delta = \varepsilon \cdot T = \pi \cdot \gamma = 2\pi \cdot D = \frac{1}{2} \psi \quad (5.44)$$

– współczynnik tłumienia:

$$\gamma = \frac{\Delta}{\pi} = 2D = \frac{\psi}{2\pi} \quad (5.45)$$

– tłumienie krytyczne:

$$D = \frac{\Delta}{2\pi} = \frac{1}{2} \gamma = \frac{\psi}{4\pi} \quad (5.46)$$

Tłumienie geometryczne α (pochłanianie) występuje przy rozprzestrzenianiu się drgań i wyraża się spadkiem amplitud wraz z odległością od źródła. Spowodowane jest rozpraszaniem energii fal przy propagacji na skutek zwiększenia czoła fali i związanego z tym spadku gęstości energii.

Zasadę tego tłumienia wyraża zależność:

$$a_r = a_0 \cdot \left(\frac{r_0}{r} \right)^n \quad (5.47)$$

gdzie:

- r_0 – odległość od źródła drgań do punktu o znanej amplitudzie,
- r – odległość epicentralna do punktu, w którym określa się amplitudę,
- a_r, a_0 – amplitudy w odległości odpowiednio r i r_0 od źródła drgań,
- n – wykładnik potęgowy.

Współczynnik n wynosi dla fal Rayleigha $n = 1/2$, a dla fal objętościowych $n = 2$.

Wielkości współczynnika k_T dla różnych gruntów są następujące:

- skały słabe silnie zawadnione: $k_T = 0,11-0,13$,
- skały o średniej spoistości: $k_T = 0,06-0,09$,
- skały zwięzłe: $k_T = 0,01-0,03$.

Widać stąd, że skały słabe, a zwłaszcza nasycone wodą, charakteryzują się większymi okresami drgań niż skały zwięzłe. A więc częstotliwość drgań będzie zwiększała się w miarę wzrostu spoistości i zwięzłości skał. Ponadto okres drgań zależy od masy ładunku:

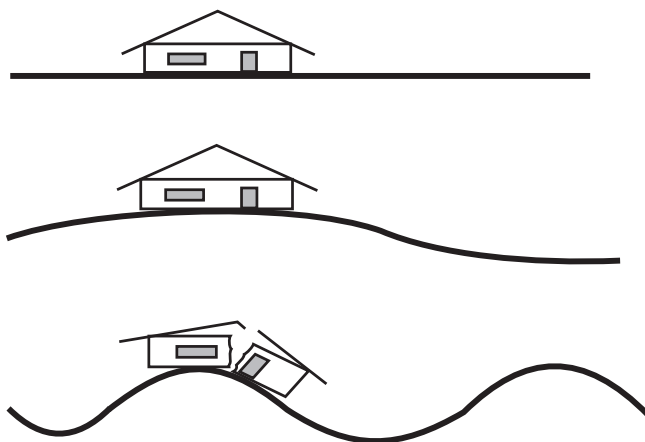
$$T = 0,023 \cdot Q^{0,185} \quad (5.75)$$

Według Kuźmienki [7] dla fal powierzchniowych:

$$T = 0,16 \cdot Q^{0,06} \cdot r^{0,03}$$

Do oceny szkodliwości drgań najbardziej odpowiednim parametrem jest prędkość drgań, ponieważ uwzględnia równocześnie amplitudę przemieszczeń i okres drgań. Ponadto w wyrażeniu na prędkość stosunek a/T cechuje się małą zmiennością. Przy zmianie właściwości środowiska skalnego zarówno amplituda, jak i okres równocześnie maleją lub rosną, co wpływa na małą zależność prędkości od właściwości danego środowiska. Dodać też należy, że prędkość najlepiej charakteryzuje energię drgań.

Przy robotach strzałowych w zasadzie zapisują się drgania nieregularne, które tylko w czasie 2–3 cykli można porównać do harmonicznym. Obliczając parametry drgań według wzorów dla ruchu harmonicznego, dokonuje się więc pewnego przybliżenia, co upraszcza obliczenia, ale przy niewłaściwym postępowaniu może zniekształcić wyniki badań. Dlatego w ocenie szkodliwości powinno się uwzględniać rodzaje fal powodujące drgania maksymalne. Jeżeli chodzi o budynki, dużą rolę odgrywają też długości fal (rys. 5.21).



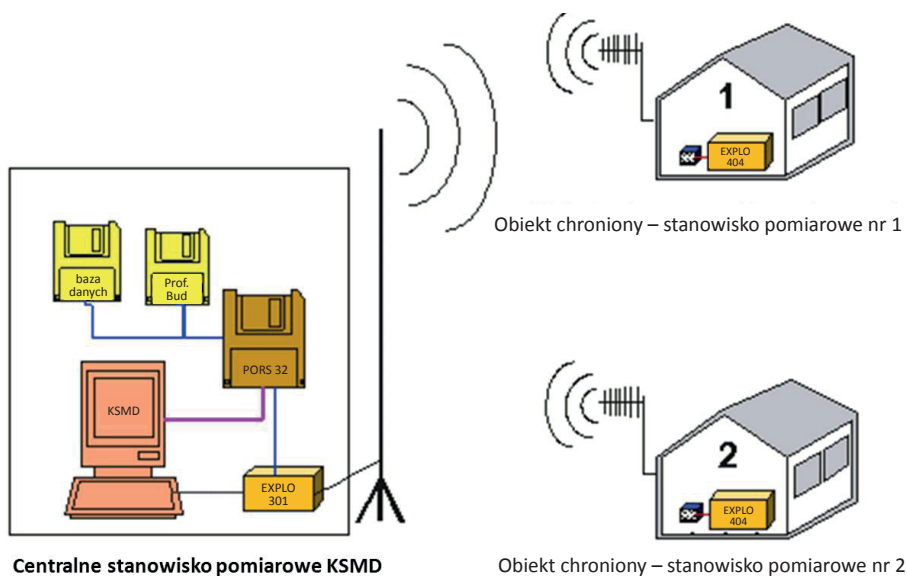
Rys. 5.21. Wpływ długości fali na ruchy budynku [5]

Postępująca komputeryzacja służb górniczych skłoniła konstruktorów EXPLO 504 do budowy systemu pomiarowego umożliwiającego:

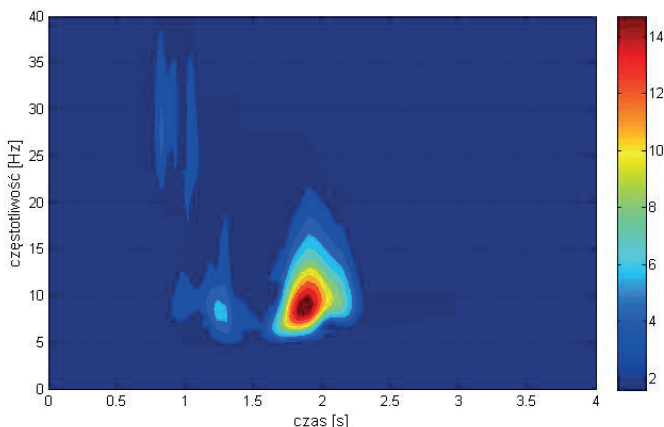
- pomiary intensywności drgań parasejsmicznych,
- zdalne sterowanie systemem – obsługa włącz/wyłącz, zbieranie danych i ich archiwizowanie w stacji bazowej,
- ocenę oddziaływania drgań wzbudzanych robotami strzałowymi na zabudowania w otoczeniu.

Kopalniana stacja monitoringu drgań, bo tak nazwany został system, składa się ze stacji bazowej EXPLO 301 współpracującej z komputerem i stacji pomiarowych EXPLO 404, montowanych w chronionych obiektach. Współpraca między poszczególnymi modułami systemu, w pierwszej wersji, odbywa się drogą radiową. Schemat ideowy działania przedstawiono na rysunku 5.39.

Stacje pomiarowe EXPLO 404 są rejestratorami z własnym zasilaniem akumulatorowym, wyposażonymi w trójskładowy miernik prędkości typu UVS. Stacje te służą do monitorowania drgań wzbudzanych w czasie robót strzałowych. Rejestratory po włączeniu pracują w sposób ciągły. Pojawienie się informacji przekraczającej wartość progową powoduje wykonanie pełnego pięciosekundowego zapisu i powrót do stanu czuwania. Zapis drgań jest przechowywany w pamięci z możliwością wykonania podstawowych obliczeń. Transmisja danych z modułów pomiarowych do komputera odbywa się za pomocą radiomodemu. Wewnętrzny program stacji umożliwia szybką ocenę oddziaływania drgań przez zastosowanie filtrów korekcyjnych właściwych dla skal SWD-I i SWD-II zgodnie z normą [16].



Rys. 5.39. Schemat ideowy KSMD



Rys. 5.57. Mapa współczynników falkowych CWT dla sygnału czasowego przedstawionego na rysunku 5.46

5.5.6. Transformacja Wignera–Ville’a

Transformacja Wignera–Ville’a (5.81) [26] jest niezwykle istotna w analizie czasowo-częstotliwościowej sygnałów niestacjonarnych (a do takich należą drgania parasejsmiczne), ponieważ w sposób idealny odwzorowuje w przestrzeni czas – częstotliwość liniową zmianę częstotliwości, a rolę okna analizującego spełnia tutaj sam sygnał.

$$W_s(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} s\left(t + \frac{\tau}{2}\right) \cdot s^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) \cdot e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad (5.81)$$

Na podstawie omówionych analiz można stwierdzić, że transformata WV cechuje się najlepszą, z wcześniej omówionych analiz, zdolnością rozdzielczą w przestrzeni czas – częstotliwość oraz największą koncentracją energii. Niestety ma również wady, szczególnie w przypadku sygnałów złożonych, ponieważ w wyniku tej analizy pojawiają się dodatkowo tzw. pasożytnicze interferencje wzajemne. Innymi słowy, oprócz rzeczywistych składowych widma występują również takie, których faktycznie nie ma, a które utrudniają interpretację otrzymanych wyników.

5.5.7. Matching Pursuit – algorytm dopasowania krokowego

Po to, by uniknąć porównywania do oryginalnego sygnału tej samej falki, można zastosować najnowszą metodę analizy czasowo-częstotliwościowej, opartą na iteracyjnym procesie dopasowywania do sygnału całego zestawu funkcji, przy czym po każdym etapie aproksymacji fragment sygnału, do którego dopasowała się dana funkcja, zostaje odjęty i kolejne funkcje porównywane są do pozostałej reszty sygnału. Dzięki temu unika się zbędnego wielokrotnego opisywania tych samych części sygnału.

Przedmiotem normy [26, 27] jest ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki, traktowanych jako całość, oraz na urządzenia i aparaturę umieszczoną w tych budynkach. Źródłami drgań są działania bezpośrednio lub pośrednio zależne od człowieka. Podstawą oceny są wartości drgań przekazywanych na budynki, niezależnie od sposobu ich propagacji w podłożu [23]. Normę stosuje się przy diagnostyce szkodliwości wpływów drgań na istniejący budynek oraz przy projektowaniu budynków, jeśli przewiduje się, że będzie on poddawany drganiom przekazywanym przez podłoże [23].

Ze względu na czas trwania norma dzieli drgania na krótko-, długotrwałe oraz na występujące stale. Drgania budynku należy scharakteryzować wartością przemieszczenia (prędkości, przyspieszenia) i odpowiadającą im częstotliwością lub przez siły bezwładności w charakterystycznych punktach budynku.

Skala SWD-I odnosi się do budynków zwartych, o małych wymiarach rzutu poziomego (do 15 m), o jednej lub dwóch kondygnacjach i wysokości takiej, aby nie przekraczała żadnego z wymiarów rzutu poziomego. Druga skala (SWD-II) dotyczy budynków kilkukondygnacyjnych (do pięciu) o konstrukcji murowej lub mieszanej, spełniającej warunek $h/b < 2$ (h – wysokość budynku, b – najmniejsza jego szerokość), a także budynków niskich, mających do dwóch kondygnacji, lecz niespełniających warunków podanych dla SWD-I.

Skale SWD przedstawiono w postaci wykresów logarytmicznych, w których częstotliwościom drgań na osi poziomej odpowiadają albo poziome maksymalne amplitudy przemieszczenia, albo prędkości, albo przyspieszenia – na osi pionowej. Mają one pięć stref, oddzielonych granicami określającymi stopień szkodliwości drgań dla budynku.

W normie ujęte są skale SWD w wersji przemieszczeniowej (rys. 6.9 na wklejce) i przyspieszeniowej (rys. 6.10 na wklejce). Natomiast autorzy normy w wielu publikacjach, szczególnie zagranicznych, odwołują się również do wersji prędkościowej (rys. 6.11 na wklejce), co w świetle aktualnych badań jest zupełnie zrozumiałe, a prędkość jako parametr opisujący intensywność drgań i będący podstawą oceny oddziaływania na obiekty budowlane została uznana również w literaturze krajowej [2]. Na kolejnych rysunkach przedstawiono wszystkie wersje skal SWD-I i SWD-II. Strefy wpływu mają następującą interpretację:

- V – drgania powodujące walenie się murów, spadanie stropów itp., występuje pełne zagrożenie bezpieczeństwa ludzi;
- granica D – granica stateczności budynku, powyżej której może dojść do uszkodzenia całego budynku;**
- IV – drgania o dużej szkodliwości dla budynku, powstają liczne spękania, lokalne zniszczenia murów i innych pojedynczych elementów budynku;
- granica C – granica wytrzymałości pojedynczych elementów budynku, dolna granica ciężkich szkód budowlanych;**
- III – drgania szkodliwe dla budynku, powodujące lokalne zarysowania i spękania, osłabiające konstrukcję budynku i zmniejszające jego nośność oraz odporność na dalsze wpływy dynamiczne; może nastąpić odpadanie wypraw i tynków;
- granica B – granica sztywności budynku, dolna granica powstawania zarysowań i spękań w elementach konstrukcyjnych;**
- II – drgania odczuwalne, nieszkodliwe, następuje tylko szybsze zużycie budynku;
- granica A – dolna granica odczuwalności drgań przez budynek oraz uwzględniania wpływów dynamicznych;**
- I – drgania nieodczuwalne przez budynki.

6.1.4. Podsumowanie

Ocena oddziaływania drgań wzbudzanych detonacją MW na obiekty budowlane powinna uwzględniać:

- charakter drgań – drgania impulsowe złożone,
- czas trwania drgań – działanie krótkotrwałe, sporadyczne.

Uwzględnienie tych dwóch czynników skłania do poszukiwania metod analizy, które pozwolą na badanie struktury drgań w dziedzinie czasu i częstotliwości, z uwzględnieniem energii sygnału.

Dotychczas stosowane metody analizy sygnałów, w przypadku drgań rejestrowanych w czasie robót z użyciem MW, należy uznać za dające zbyt mało informacji, a mające istotne wady [8].

W ostatnim czasie wielokrotnie podnoszono konieczność prowadzenia analizy intensywności drgań o charakterze impulsowym, z wykorzystaniem nowoczesnych technik analitycznych i obliczeniowych, jak również konieczność opracowania skal oddziaływania na obiekty drgań wzbudzanych detonacją MW i propagowanych przez ośrodek skalny [4].

Próby takie podjęto w pracach: [45], gdzie do analizy drgań wzbudzanych użyciem MW zastosowano analizę falkową oraz w pracy [27], w której zastosowano analizę z wykorzystaniem algorytmu *Matching Pursuit* (MP).

6.2. Oddziaływanie drgań na ludzi

Przy ocenie oddziaływania drgań na ludzi w budynkach można rozróżnić podstawowe wzorce drgań:

- drgania ciągłe (trwające dłuższy czas) o charakterze sinusoidalnym,
- drgania w postaci pojedynczego impulsu o cechach tłumionej sinusoidy,
- drgania typu losowego o zmiennych parametrach, np. w postaci kilku bardzo krótkich impulsów.

Zapis obejmuje na ogół element drgania harmonicznego, który służy do wyznaczania wartości miarodajnej. Zwykle korzysta się z wartości maksymalnych oddzielnie dla kierunków x , y oraz z . Pomiaru dokonuje się w budynku w miejscu przebywania ludzi. Normy rozróżniają drgania długotrwałe powyżej 5 min oraz krótkotrwałe w czasie do 1 min.

Do oceny szkodliwości stosowane są często następujące parametry:

- maksymalna amplituda (prędkości lub przyspieszenia),
- wartość średnia,
- wartość skuteczna.

W sytuacji biernego odbioru drgań, gdy człowiek sam nie wzbudza drgań i nie ma wpływu na ich wielkość, odbiór następuje w pozycji stojącej, siedzącej lub leżącej, a więc drgania przenoszą się przez stopy, miednicę lub plecy i głowę według kierunków pokazanych na rysunku 6.31.

8.1.2. Nielektryczny system odpalania ładunków MW

Pierwszy nielektryczny system inicjowania został wprowadzony na rynek w roku 1973 przez firmę NITRO Nobel i nosił nazwę NONEL [10, 11, M5, M6]. Podstawowym elementem tego systemu był przewód sygnałowy, mający postać plastikowej rurki wypełnionej substancją reaktywną o prędkości transmisji fali uderzeniowej wynoszącej około 2100 m/s, co daje opóźnienie rzędu 0,5 ms/m.b. Dzięki zamknięciu reakcji detonacji w rurce system ten uzyskał przewagę nad systemem inicjowania lontem detonującym, w którym reakcja detonacji jest otwarta. Powoduje to powstawanie niepożądanych zjawisk takich jak powietrzna fala uderzeniowa i efekt dźwiękowy.

Firma NITRO Nobel opracowała trzy różne systemy oparte na technologii NONEL [M5, M6].

- 1) NONEL MS – oparty na tradycyjnym systemie elektrycznym o interwałach czasowych 25 ms między poszczególnymi numerami zapalników (zaczyna się od numeru opóźnienia 3, a kończy na 20). Inicjacji dokonuje się na powierzchni przy użyciu łączników natychmiastowych, a opóźnienie zadawane jest przez element opóźniający w zapalniku.
- 2) NONEL LP – jest systemem inicjowania przeznaczonym do robót strzałowych prowadzonych pod ziemią, gdzie są wymagane duże opóźnienia w celu odpowiedniego urobienia i wyrzutu odspojonej skały z przodka. Zapalniki mają numery od 0 do 60 i mieszczą się w przedziale od 25 ms do 6000 ms, przy czym przyrost opóźnienia nie jest jednostajny (25, 100, 200, ..., 1000, 1110, 1235, ... 5500, 6000 ms).
- 3) NONEL UNIDET – wszystkie zapalniki w sieci mają takie same opóźnienie, a sekwencja inicjowania jest wyznaczana na powierzchni za pomocą łączników opóźniających [1].

Specyfikacja robót strzałowych prowadzonych w górnictwie odkrywkowym powoduje, że systemem najchętniej stosowanym jest system NONEL UNIDET, w skład którego wchodzi:

- zapalniki UNIDET,
- łączniki powierzchniowe Snapline,
- linia Dynoline,
- zapalarka DynoStart (rys. 8.4).



Rys. 8.4. Elementy systemu inicjacji NONEL UNIDET [M6]

Zapalnik Unidet – zapalnik typu NPED (*Non Primary Explosive Detonator*) nie zawiera pierwotnego materiału wybuchowego (np. azydku ołowiu). W połączeniu z kształtką trotylową, heksogenowo-trotylową lub innym MW w naboju, stanowi nabój udarowy, który rozpoczyna reakcję detonacji ładunku MW umieszczonego w otworze strzałowym. Zapalniki są produkowane z opóźnieniami 400, 425, 450, 475 i 500 ms.

Łącznik powierzchniowy Snapline (Eclip) – zapalnik umieszczony w specjalnej kształtce z tworzywa sztucznego, umożliwiającej podłączenie do ośmiu (w drugiej wersji do pięciu) rurek Dynoline od innych zapalników, o czasie zadziałania jak na rysunku 8.5.

Linia Dynoline – rurka składająca się z trzech warstw zapewniających odporność na obciążenie wzdłużne, osiowe i na zamakanie. Przewód typu *Nonel*, pomimo zawartości niewielkiej ilości MW (około 20 mg pentrytu na metr bieżący rurki), jest niewrażliwy na uderzenia, działanie termiczne i tarcie, a zachodząca w nim reakcja przewodzenia fali udarowej, ze względu na swoją niską energię, nie powoduje żadnego zagrożenia dla człowieka i otoczenia.

Zapalarka DynoStart – jest zapalarką iskrową wysokiej temperatury rozpoczynającej detonację MW napyłonego w rurce Dynoline.

Opóźnienie, ms	Kolor łącznika
0/2	zielony
17	żółty
25	czerwony
4	biały
67	niebieski
109	czarny
176	pomarańczowy
285	brązowy



Rys. 8.5. Łączniki powierzchniowe Eclip [M6]

Inicjowanie w systemie NONEL UNIDET polega na zastosowaniu wewnątrz poszczególnych otworów strzałowych zapalników o takim samym opóźnieniu czasowym (np. U 500, rys. 8.6), natomiast opóźnienie między ładunkami jest realizowane przez zastosowanie łączników Snapline (konektorów) o równym lub różnym opóźnieniu czasowym (np. 25 ms – rys. 8.7).

Obecnie na rynku jest kilka systemów inicjowania nieelektrycznego, które są produkowane na bazie systemu NONEL. Należą do nich między innymi systemy produkowane przez:

- czeską firmę Austin – Indetshock,
- polską firmę Nitroerg – NITRONEL,
- francuską firmę EPC GROUP – Euronel,
- amerykańską firmę Davey Bickford – Daveynel,
- australijską firmę Orica Mining Service – Exel,
- hiszpańską firmę MAXAM – Rionel,
- chorwacką firmę Maxam Detines – Detinel.

Współczynnik taki wskazuje, jak zmienia się efekt sejsmiczny strzelania przy zastosowaniu milisekundowego odpalania ładunków. Ponieważ przy określaniu tego efektu trzeba uwzględnić wielkości maksymalne, można napisać, że:

$$N \cdot K \cdot \left(\frac{Q^m}{r}\right)^\beta \cdot \exp(-\alpha \cdot t) \cdot \sin \omega t = N \cdot K \cdot \left(\frac{Q^m}{r}\right)^\beta \cdot \exp(-\alpha \cdot t) \quad (8.32)$$

dlatego:

$$\eta = \frac{1}{N} \cdot \left(\frac{Q^m}{r}\right)^\beta \sum_{i=1}^N \exp[-\alpha \cdot (N-1)\tau] \cdot \sin \omega [t + (N-1)\tau] \quad (8.33)$$

8.4. Wzory stosowane do wyznaczania opóźnienia milisekundowego

Autorzy prac [31–34] powołują się na publikację McKenziego [35], w której podaje on wzór na wielkość optymalnego opóźnienia milisekundowego τ w zależności od odległości między ładunkami a , która powinna wynosić:

– dla odpalania jednoszeregowego:

$$\tau = (2,5-4,5) \cdot a, \text{ ms} \quad (8.34)$$

– dla odpalania wieloszeregowego:

$$\tau = (5-15) \cdot a, \text{ ms} \quad (8.35)$$

McKenzie podaje również zależność intensywności od liczby odpalanych ładunków z opóźnieniem milisekundowym:

$$u = u'[1 + (n-1)0,05] \quad (8.36)$$

gdzie:

u' – prędkość drgań zmierzona przy odpalaniu jednego ładunku, mm/s,

u – obliczona prędkość drgań, mm/s,

n – liczba ładunków.

Ponadto Onderka [33] przyjmuje model drgań jako ruch harmoniczny prosty i z warunku na interferencję fal pochodzących od kolejnych ładunków zakłada, że opóźnienie powinno być w przedziale:

$$T > \tau > T/2 \quad (8.37)$$

gdzie:

T – okres drgań, s; $T = 1/f$,

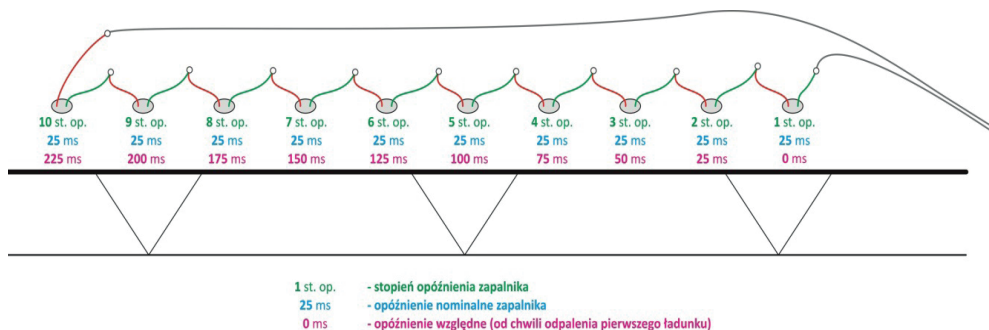
f – częstotliwość, Hz.

W wielu pracach udowodniono [29, 43–45], że zastosowane opóźnienie milisekundowe w istotny sposób wpływa na strukturę drgań wzbudzanych w czasie odpalania ładunków MW, a to oznacza, że przez dobór opóźnienia milisekundowego można zmieniać częstotliwości dominujące. Idąc tym tokiem dalej, można przyjąć, że przesunięcie częstotliwości z 10 Hz do 25 Hz powoduje zmianę kwalifikacji drgań (np. dla prędkości drgań 1,5 mm/s) ze strefy II do strefy III. Mówiąc inaczej, przy przyjęciu linii B jako granicznej dla drgań, w przypadku częstotliwości 10 Hz można dopuścić drgania o prędkości 1,6 mm/s, a w przypadku 25 Hz – 0,62 mm/s. Różnica na niekorzyść częstotliwości 25 Hz jest wyraźna. Zmiana częstotliwości drgań spowodowana zastosowanym opóźnieniem jest elementem, na który bardzo rzadko zwracają uwagę projektujący roboty strzałowe.

Aktualnie w górnictwie odkrywkowym do odpalania ładunków MW stosuje się trzy systemy: elektryczny, nieelektryczny i elektroniczny. Rozwój systemów inicjowania ładunków MW idzie w kierunku podniesienia bezpieczeństwa stosowania, precyzji zadawania opóźnień oraz zaoferowania coraz szerszych możliwości wyboru opóźnienia (podrozdz. 8.1).

8.5.1. Projektowanie połączeń z zastosowaniem systemu elektrycznego

Projektowanie opóźnień z zastosowaniem systemu elektrycznego nie przedstawia większego problemu, gdyż opóźnienie milisekundowe jest bezpośrednio związane z numerem zapalnika (stopień opóźnienia), a do dyspozycji pozostaje ich ograniczona liczba (przykładowo zapalniki o numerach od 1 do 15). Tak więc jeżeli ograniczenie dotyczy pojedynczego ładunku MW (masa ładunku w otworze jest równa masie ładunku przypadającego na opóźnienie milisekundowe), to siatka otworów jest ograniczona do liczby stopni opóźnień w wiązce zapalników (rys. 8.22 i 8.23).



Rys. 8.22. Siatka połączeń 15 ładunków MW, ułożonych w jednym rzędzie, z zastosowaniem systemu elektrycznego

Wydawać się może, że udokumentowaniem oddziaływania są wykonanie pomiaru, ocena zmierzonych parametrów, ewentualne odniesienie poziomu oddziaływania do odpowiednich skal. Ponownie w tym miejscu należy powtórzyć: **bardzo ważną rolę odgrywa wiedza, doświadczenie i rozważa wykonawcy.**

Brak wiedzy i doświadczenia może skutkować błędną metodyką wykonania pomiarów oraz nieprawidłową interpretacją zarejestrowanych zdarzeń. Rozważa jest potrzebna do dobrej współpracy z projektantem i wykonawcą robót wyburzeniowych – współpraca na tym polu pozwala uniknąć z jednej strony nadmiernych zagrożeń, a z drugiej – przeszacowania intensywności oddziaływania.

9.1. Zagrożenia przy wybranych technologiach robót wyburzeniowych

Ważnym elementem działań profilaktycznych mających na celu ochronę otoczenia przed skutkami wyburzania obiektów budowlanych jest identyfikacja zagrożeń oraz ich źródeł. Każda technologia generuje inne zagrożenia o różnej intensywności. Dodatkowym utrudnieniem w procesie identyfikacji i dokumentowania zagrożeń jest szybkość zachodzących zjawisk i fakt, że mogą się one nakładać w czasie, co niejednokrotnie istotnie komplikuje analizy i przeprowadzanie ocen.

Wymienione powyżej czynniki w istotny sposób wpływają na wybór metody prowadzenia pomiarów intensywności oddziaływania i jego dokumentowania.

9.1.1. Zagrożenia przy wyburzaniu obiektów prostych

Wyburzanie obiektów prostych, do których zaliczyć można: fundamenty maszyn i urządzeń, płyty i przyczółki mostowe, fundamenty słupów nośnych hal, fundamenty domów i budowli, jest związane z użyciem materiału wybuchowego w elementach zagłębionych w podłożu. Praktycznie wszystkie wymienione wyżej elementy konstrukcyjne mają bezpośredni kontakt z podłożem, przez co oddziaływanie detonacji MW przenosi się bezpośrednio do otaczającego ośrodka. W tym przypadku energia detonującego MW w większości wykonuje pracę kruszenia tworzywa żelbetowego, a pozostała jej część przenosi się do podłoża w postaci drgań parasejsmicznych. Drgania te propagowane są w ośrodku sprężystym i ich zasięg oddziaływania jest uzależniony przede wszystkim od rodzaju podłoża, masy i rodzaju zastosowanego MW, sposobu inicjowania i konstrukcji ładunków.

Przy odpalaniu ładunków MW zagłębionych w tworzywie i podłożu można wyeliminować oddziaływanie PFU oraz częściowo ograniczyć rozrzut, przykrywając miejsca rozmieszczenia ładunków MW.

Na rysunku 9.4 przedstawiono sejsmogramy drgań wzbudzonych odpalaniem ładunków MW przy wyburzaniu fundamentów likwidowanej hali sprężarek. Do wyburzania zastosowano ładunki saletrolu odpalane zapalnikami półsekundowymi. Pomiaru drgań wykonano w podłożu i na fundamencie budynku mieszkalnego oddalonego o około 150 m od miejsca wykonywania robót.