

*Józef Lewicki**

METODY WYBUCHOWEJ LIKWIDACJI OBIEKTÓW WIELKOPRZESTRZENNYCH

1. Wprowadzenie

Strzelanie kaskadowe jest jednorazowym odstrzałem niszczącym strukturę nośną całego obiektu lub wydzielonej, znacznej jego części. Strzelanie takie musi być odpowiednio przygotowane wcześniejszymi odstrzałami przygotowawczymi. Stosowane jest ono wówczas, gdy wyburzany obiekt posiada dużą powierzchnię i wysokość, ale nie nadaje się do kierunkowego obalenia ze względu na niekorzystny stosunek wymiarów lub brak miejsca. Kubatura takiego obiektu sięga nieraz 100 000 m³, masa kilkadziesiąt tysięcy Mg, zużywana jednorazowa masa materiału wybuchowego sięga kilkuset kg, całkowita ilość otworów strzałowych w całym cyklu likwidacyjnym dochodzi do 5÷10 tys. sztuk, ilość otworów strzałowych odpalanych podczas strzelania końcowego (obalającego) nierzadko przekracza 1000 szt., zaś wyburzany obiekt znajduje się w odległości kilkudziesięciu metrów od obiektów chronionych. Warunkiem koniecznym wykonania strzelania kaskadowego jest, aby dolna część budowli miała słupową budowę żelbetową.

Likwidacja obiektów wielkokubaturowych (wielkoprzestrzennych) przez podział i obalanie częściami dokonywana jest wtedy, gdy obiekt posiada budowę słupową stalową lub żelbetową z tak bliską lokalizacją obiektów chronionych, że nawet minimalne (kilkumetrowe) powiększenie usypu w stosunku do pierwotnego zarysu budowli prowadzi to uszkodzenia obiektów chronionych.

Metodą „przez podział i obalanie” likwidowano w ostatnich latach następujące obiekty:

- łącznię (KWK „Saturn”),
- łącznię (KGH „Bolesław”),
- płuczkę (Wałbrzych),
- biurowiec „A” w KWK „Pstrowski”,
- lampiarnię (KWK „Jaworzno”),

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

- budynek mieszkalny (Częstochowa),
- wieżę węglową nr 6 (Huta im. T. Sędzimir),
- nadszybie szybu „Michał” (KWK „Siemianowice”),
- załadownię produktów handlowych (KWK „Morcinek”),
- zbiornik produktów (KWK „Morcinek”).

W niektórych z tych zadań obiekt dzielono na dwie części, w innych nawet na kilkanaście. Odległość między obiektem likwidowanym a chronionym w skrajnie trudnym przypadku (płuczka Wałbrzych) wynosiła 1,5 cm, w innych 20 cm (Saturn), w jeszcze innych (wieża nr 6 w HTS) 6 m od czynnego wielkośrednicowego rurociągu z tlenkiem węgla, przy wysokości wieży ponad 40 m. Każde z tych zadań wymagało indywidualnych rozwiązań, bezpiecznych dla obiektów chronionych.

Podano przykłady konkretnych rozwiązań, prognozy oddziaływania strzelań na otoczenie oraz niektóre wyniki pomiarów drgań wygenerowanych podczas likwidacji obiektu.

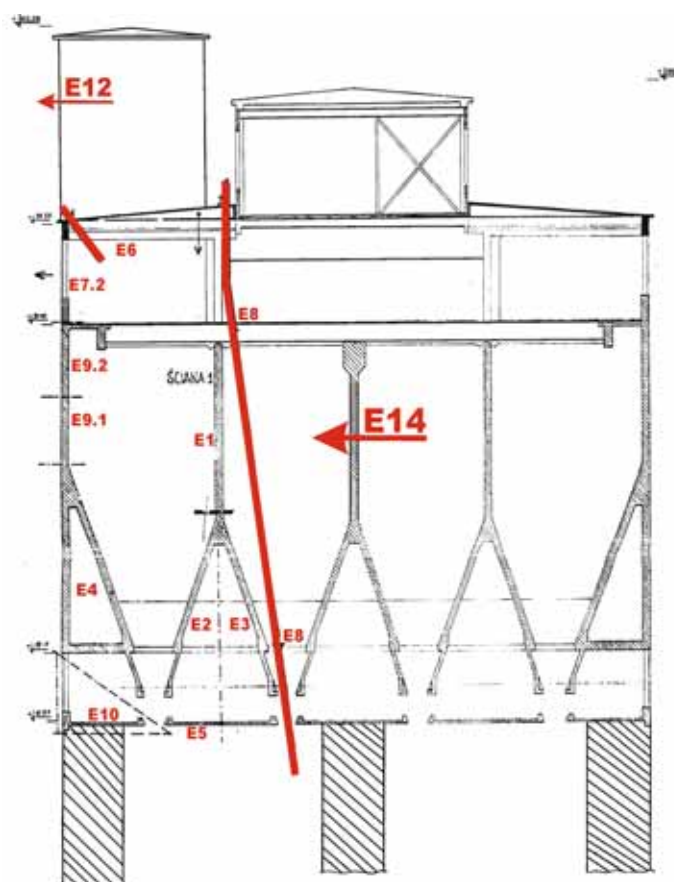
2. Likwidacja obiektów przez podział i obalanie

Likwidacja obiektów o skomplikowanej budowie lub znajdujących się w trudnych warunkach terenowych może być realizowana przez podzielenie tych obiektów na samonośne „podoobiekty” i sukcesywne obalanie tak powstałych nowych struktur. Podział wymaga rozcięcia płaszczyznami pionowymi wszystkich elementów przenoszących siły poziome, a to z kolei wymaga przestrzelenia elementów żelbetowych, odsłonięcia zbrojeń i ich przepalenia. Taki sposób likwidacji narzuca się niemal samoczynnie, nie jest on jednak rozwiązaniem optymalnym. Rozcinanie wymaga dużego nakładu czasu i środków i stwarza pewne ryzyko dla wykonawców. Obalanie jest możliwe, jeśli stosunek wysokości obalanego obiektu do podstawy jest większy niż 3 i nie większy niż 15 (kominy żelbetowe). Najbezpieczniej obala się obiekty, dla których stosunek wysokości do podstawy zamyka się w przedziale 4–8. Inną ujemną cechą obalania jest wielkość wyzwolonej energii upadku i generowana upadkiem wielkość drgań. Z porównań likwidacji obiektów „przez obalanie” i z zastosowaniem strzelania kaskadowego wynika, że obalany obiekt o masie 1260 Mg i wysokości 42 m generował drgania wielokrotnie większe niż obiekt o masie 25 tys. Mg i wysokości 45 m likwidowany kaskadowo (przy zbliżonych odległościach miejsca strzelania od miejsca pomiaru). Natomiast samo obalenie już wydzielonego „podoobektu” jest mniej pracochłonne i wymaga mniejszej ilości MW, bowiem wykonywane jest przez klasyczne podcięcie. Metodyka likwidacji obiektów przez podział i obalanie zostanie przedstawiona na kilku przykładach.

2.1. Likwidacja wieży węglowej nr 6 w Hucie im. T. Sędzimir

W Zakładzie Koksochemicznym HTS na przestrzeni wielu lat likwidowana była bateria koksoownicza 6-12. W jej skład wchodziły wieże gaśnicze, przesypowe, węglowe, kominy oraz pomosty załadownicze. Sama wieża nr 6 znajdowała się w bardzo trudnej sytuacji terenowej: obok komina nr 11 (odległość 6 m), rurociągu o średnicy 2400 mm z tlenkiem węgla (20 m) i sterowni OC-1 Zakładu Koksochemicznego (22 m), bardzo wrażliwej na drgania.

Wysokość wieży w najwyższym punkcie wynosiła 42,28 m, zaś masa samej wieży — około 6500 Mg (z likwidowanym pomostem załadowniczym i dwiema płytami oporowymi — 8800 Mg). Sytuację utrudniał fakt, że rozbiórka identycznej wieży nr 5, zlokalizowanej w pustym terenie, zakończyła się zbiorowym wypadkiem, trwała 9 miesięcy, zaangażowano dużą ilość sprzętu ciężkiego (dźwigi, ładowarki, młoty) i ludzi (ponad 25 osób). Niewłaściwie podstrzelona spowodowała stan katastrofy budowlanej z wstrzymaniem robót. Natomiast na likwidację trudnej wieży nr 6 (rys. 1) przeznaczono 3 zimowe miesiące 1998 roku.

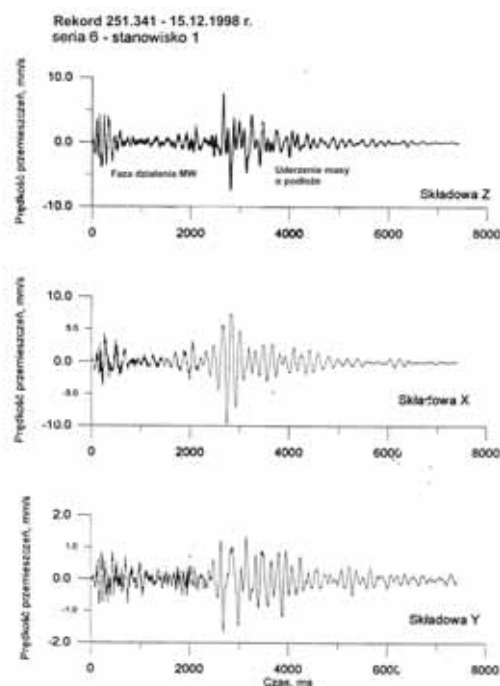


Rys. 1. Budowa i etapy likwidacji wieży węglowej nr 6 w HTS

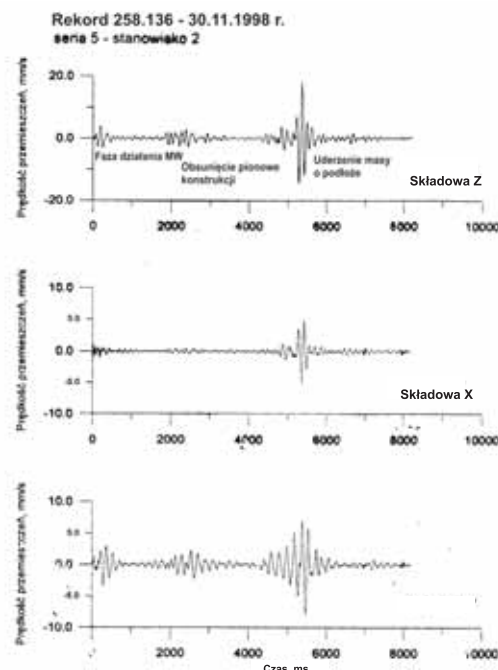
Przedstawiony na rysunku 1 obiekt miał budowę słupowo-skrzynkową, opartą na 6 słupach o przekroju $1,5 \times 2,5$ m i wysokości 19 m. Słupy przechodziły płynnie w konstrukcje żelbetowe. Wieża posiadała dach o konstrukcji stalowej (kratownica samonośna), wsparty na ścianach żelbetowych, halę ubijarek, leje zasypowe (20 szt.), klatkę schodową, przedziały zasypowe, obrotnicę zasilającą poszczególne leje i podwieszany strop na poziomie + 16 m.

Od strony wytrzymałościowej była to konstrukcja zrobiona niemal genialnie, przesztyniona w każdą stronę. Posadowienie obiektu w miejscu nie wchodziło w grę ze względu na to, że słupy były swoistą klatką stalową o trzech warstwach zbrojeń i płaskowników, wypełnioną betonem, ponadto wymiary poprzeczne wieży (26×32 m) nie pozwalały na kierunkowe obalenie, zaś bliskość rurociągu z tlenkiem węgla w sposób radykalny wymuszała ostrożność postępowania. Jedyną możliwą technologią było wyburzenie metodami strzałowymi ścian wewnętrznych, rozcięcie obiektu na części nadające się do obalenia i sukcesywne ich obalenie. Każdy z etapów musiał być ze względów bezpieczeństwa wykonany w ściśle określonej kolejności — co ustalono po wielu analizach i przedstawiono na rysunku 1. Dopiero po wykonaniu wielu prac przygotowawczych podzielono wieżę na 2 elementy nadające się do obalenia: klatkę (masa około 1260 Mg, wysokość 42,28 m — etap 12) i wieżę wspartą już tylko na 4 słupach (wysokość 40 m, masa 4400 Mg — etap 14). Po obaleniu klatki, wykorzystując komunikację z pomostu baterii koksowniczej robotami strzałowymi, skruszono wszystkie potężne belki trójkątne, które uderzając podczas upadku o ziemię, wzbudzałyby drgania o dużej amplitudzie. Odpowiednio wcześniej zmiękczone żelbetowe ściany wieży, tak by stojąc przenosiły wszystkie siły pionowe, a po uderzeniu o ziemię — składały się w harmonijkę, wydłużając czas przekazywania energii do 2,5 s.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono oddziaływanie na otoczenie strzelań i upadku klatki i wieży.



Rys. 2. Oddziaływanie strzelań i upadku wieży węglowej na sterownię OC-1 w Zakładzie Koksochemicznym HTS

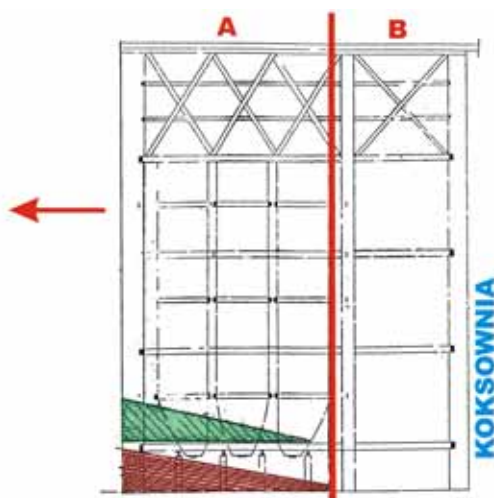


Rys. 3. Oddziaływanie strzelań i upadku klatki schodowej na sterownię OC-1 w Zakładzie Koksochemicznym HTS

Klatka o masie 1260 Mg i odległości miejsca upadku od punktu pomiarowego wynoszącej około 60 m wzbudziła drgania na poziomie 20 mm/s, wieża o masie 4400 Mg i odległości miejsca upadku od punktu pomiarowego wynoszącego około 35 m wzbudziła drgania na poziomie 7÷8 mm/s. Przyczyną tak małych drgań przy upadku wieży jest długi czas przekazywania energii otoczeniu po upadku wieży; czas ten jest wynikiem przemyślanych działań przygotowawczych. Czas wylądowania energetycznego w jednym i drugim przypadku jest łatwy do odczytania z diagramów przedstawionych na rysunkach 2 i 3.

2.2. Płuczka węglowa w Walbrzychu

Płuczka została wybudowana w latach 1904–1907. Konstrukcja ceglano-stalowa (rys. 4) o wymiarach 26×26 m i wysokości 32 m miała masę około 15 tys. Mg, w tym nieco ponad 3 tys. Mg stali zlokalizowanej na najwyższych piętrach. Swoistość budowy tej płuczki polegała na tym, że cała konstrukcja opierała się na 36 słupach stalowych indywidualnie fundamentowanych, ułożonych w 4 rzędach, na których położono (wzdłuż rzędów) 4 dwuteowniki 38 cm, a na nich poprzecznie 22 dwuteowniki 38 cm. Wszystkie dwuteowniki wchodziły w ściany ceglane o grubości muru od 1,1 m do 2,05 m. Ponadto w ścianach tych na poziomach co 1,2 m zabudowane były ceowniki poziome i pionowe (połączenia nitowe), tworzące gęstą sieć stalową obudowaną cegłą.



Rys. 4. Schemat budowy i koncepcja likwidacji płuczki w Wałbrzychu

Konstrukcje stalowe w pionie i poziomie tworzyły gęstą siatkę „zbrojeń”, przez co obiekt mógł przenosić nie tylko siły pionowe, ale i poziome. Ta swoista siatka stalowa dotyczyła też 9 lejów zasypowych, które w swej dolnej części stykały się z zewnętrzną ścianą i w tym miejscu łączna grubość ściany przekraczała 3 m. Płuczka była zespolona z czynną koksownią (ściana płuczki była ścianą koksowni, mimo że koksownia była zabudowana na słupach żelbetowych), obie budowle posiadały wspólny dach. Odległość ściany płuczki (ceglanej) od żelbetowych słupów koksowni wynosiła 1,5 cm (dylatacja z płyty wiórowej). Obalenie kierunkowe obiektu było niemożliwe ze względu na wymiary, posadowienie w miejscu — ze względu na wielkość usypu zagrażającego koksowni, oraz ze względu na to, że potężna siatka stalowa nie pozwalała na osypanie się cegły. Jedynym rozwiązaniem było rozcięcie obiektu na dwa, z których pierwszy A był obalany metodą podwójnego włomu (w tym czasie drugi „podobiekt” B pełnił rolę filara oporowego i ochronnego dla koksowni).

Dla obalenia (rys. 4) części A należało:

- rozciąć metodami wybuchowymi obiekt na część A i B, przepalić stal konstrukcyjną i dachową w linii podziału tworząc dwa stabilne „podobiekty”;
- wykonać 805 otworów strzałowych w obszarze włomu dolnego i górnego;
- przepalić pionowe słupy stalowe (36 szt.) tak by przenosiły obciążenia pionowe;
- przepalić po skosie 16 z 22 dwuteowników na linii podziału płuczki na część A i B;
- załadować 380 kg MW do obu włomów; opóźnienie inicjacji włomu górnego w stosunku do włomu dolnego wynosiło 250 ms,
- zastosować nożyce wybuchowe dla przecięcia 6 z 22 dwuteowników pozostawionych jako element bezpieczeństwa,
- połączyć wszystkie ładunki, zabezpieczyć i odpalić ładunki równocześnie z nożycami wybuchowymi.

Tak zaprojektowany i wykonany system likwidacji zdał egzamin, mimo że 40 m od miejsca strzelania zlokalizowany był warsztat stolarski, 70 m — zelektryfikowana linia kolejowa PKP Wałbrzych Główny–Wałbrzych Miasto oraz osiedle domków jednorodzinnych (strzelania prowadzone w tym miejscu przez innych wykonawców dwa lata wcześniej wadziły do zniszczenia szyb okiennych w promieniu 700 m).

Po obaleniu części A płuczki i usunięciu stali oraz gruzu — druga część B została łatwo obalona przez klasyczne podcięcie z blokadą ściany tylnej przed cofaniem się podczas upadku w stronę koksowni.

2.3. Łaźnia w KWK „Saturn”

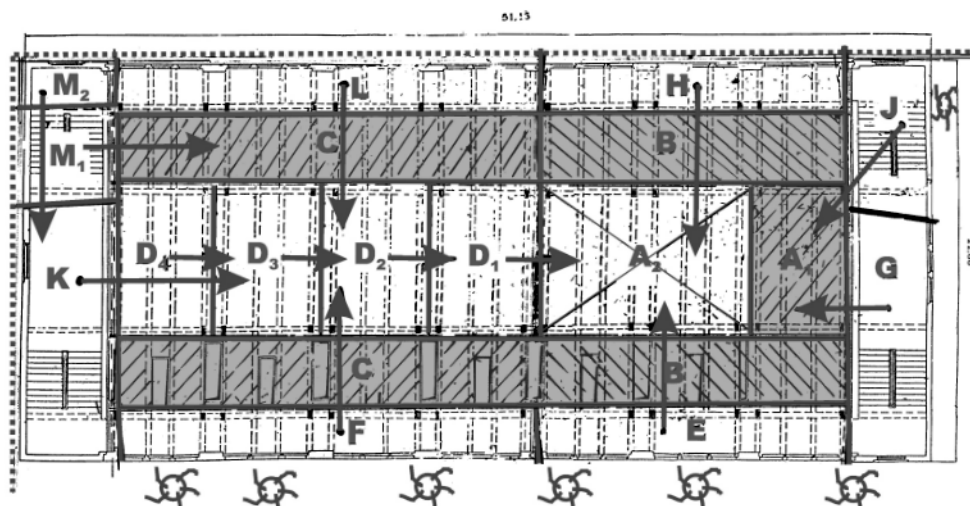
Łaźnia jest przykładem rozcięcia obiektu na kilkanaście samodzielnych statycznie „podobiektów”, ale takie rozwiązanie wymuszała sytuacja terenowa. Łaźnia zlokalizowana była w Czeladzi, przy ul. Świerczewskiego (obecnie Francuska) w odległości:

- 0,2 m od czynnych rurociągów,
- 8 m od czynnych garaży,
- 25 m od budynków mieszkalnych,
- 30 m od czynnej napowietrznej stacji trafo 110 kV,
- 45 m od garaży,
- 50 m od wysokich budynków mieszkalnych,
- 60 m od kościoła,
- 65 m od sklepu,
- 80 m od ulicy Świerczewskiego,
- 90 m od przeszklonych obiektów.

Wysokość łaźni wynosiła około 18 m, szerokość około 22 m i długość ponad 51 m. Budowa — belkowo-słupowa z wypełnieniem ścian pustakami z betonu komórkowego. Od strony południowej i wschodniej na łaźni wsparty był rurociąg ciepłowniczy. Łączna długość belek i słupów wynosiła 7000 m, a powierzchnia poziomych elementów płaskich — 5000 m². Z obu końców łaźni znajdowały się klatki schodowe o konstrukcji ceglanej, co znacznie utrudniało rozbiórkę, bowiem łaźnia mogła być składana tylko do środka. Wyburzenie mogło być możliwe po rozcięciu na fragmenty zaznaczone na rysunku 5 (na którym przekroje słupów nośnych oznaczono na czarno). W celu likwidacji łaźni należało:

- rozcinać partiami belki i posadzki (zaczynając od poziomów najniższych) w obszarach A₁, B i C; po przepaleniu zbrojeń fragmenty posadzki i belek spadną na poziom piwnic (terenu), skąd będą sukcesywnie usuwane. Przepalanie zbrojeń należało prowadzić od poziomu najniższego po dach, aby mógł nastąpić swobodny spadek elementów żelbetowych;
- wykonać linie rozcięć (wybuchowe odsłonięcie zbrojeń i ich przepalanie palnikami), oddzielając poszczególne fragmenty od siebie, zachowując komunikację pomiędzy poszczególnymi fragmentami łaźni;

- „podobiekt” A_2 oparty na 8 słupach posadowić w miejscu przez rozstrzelanie słupów; tym sposobem powiększy się obszar wewnętrzny;
- fragmenty D_1 , D_2 , D_3 , D_4 , oparte na czterech słupach każdy, obalić w kierunku zaznaczonym na rysunku 5;
- obalić do środka kolejno fragmenty E i F przez likwidację wewnętrznych słupów podporowych (6 i 8 słupów);
- obalić do wnętrza łaźni rozcięty fragment klatki schodowej G;
- obalić fragment H, odklejając go od rurociągu; tu padanie musiało być precyzyjne, aby nie zaczepić o drugą część klatki (fragment J) i nie obalić tego fragmentu na znajdujący się blisko garaż;
- obalić po skosie fragment J, odklejając go od rurociągu;
- obalić fragment K do wnętrza;
- kolejno obalić fragmenty L, M_1 , M_2 w kierunkach zaznaczonych na rysunku 5; wszystkie obalenia należało prowadzić przez klasyczne podcięcie, pamiętając o zabezpieczeniu przed rozrzutem odłamków i energią upadku mas.



Rys. 5. Budowa i koncepcja likwidacji metodami strzałowymi łaźni w KWK „Saturn” w Czeladzi

Zważywszy na fakt, że 30 m od łaźni znajdował się czynny transformator 110 kV, należało nie tylko zabezpieczyć go przed rozrzutem odłamków, szczególnie przy strzelaninach dokonywanych w celu podziału belek i posadzki na małe fragmenty, ale również uwzględnić jego wpływ na bezpieczeństwo odpalania zapalnikami elektrycznymi. Rozrzut blokowano przez założenie w oknach łaźni siatek z szafek górniczych (przepuszczały pyły, ale nie odłamki), zaś niebezpieczeństwo wzbudzenia SEM w sieci strzałowej likwidowano przez takie przestrzenne konstruowanie sieci, jakie zalecił rzeczoznawca WUG z tego zakresu.

Likwidacja łaźni metodami strzałowymi wymagała 232 serii strzelań, 9040 otworów strzałowych, 4800 m LD, 2950 zapalników, 270 kg dynamitu oraz 620 kg saletrotu. Łaźnia w KWK „Saturn” była przykładem skomplikowanego, ale skutecznego sposobu likwidacji wybuchowej obiektów, których w takiej sytuacji nie można byłoby zlikwidować nawet mechanicznie (upadek ciętego elementu na rurociągi).

3. Strzelania kaskadowe

Strzelanie kaskadowe zostało zastosowane przez AGH jako jedyne możliwe w konkretnych, trudnych sytuacjach terenowych, gdy z konstrukcji obiektu wynikało, że rozcinanie na części i ich sukcesywne obalanie może być pracochłonne i niebezpieczne dla ludzi, a energia upadku nawet części obiektu będzie stanowiła istotne zagrożenie dla otoczenia. Cechą charakterystyczną strzelania kaskadowego jest czas trwania wszystkich detonacji poszczególnych ładunków MW oraz czas upadku (posadowienia) likwidowanego obiektu. Czasy te są odpowiednio długie (kilka sekund), w związku z czym gęstość energii (generowanej przez detonację MW lub upadek obiektu, względnie przez oba te czynniki łącznie) przekazywanej otoczeniu (podłożu) jest stosunkowo mała, a poziom jej szkodliwego oddziaływania na obiekty chronione bywa znacznie niższy od wielkości dopuszczalnych. Zastosowanie takiego strzelania umożliwiające następujące warunki:

- żelbetowo-słupowa konstrukcja obiektu do wysokości kilkunastu m (wyżej może być konstrukcja stalowa);
- bardzo duża kubatura (nawet do ponad 100 tys. m³);
- wysokość całego obiektu powyżej 24 m;
- duże wymiary poziome (szerokość do 40 m, długość do 100 m);
- brak w najbliższym otoczeniu (do 25 m) obiektów nadmiernie wrażliwych na rozrzut odłamków;
- istnienie w pobliżu (70÷200 m) obiektów chronionych o znacznej wrażliwości na drgania parasejsmiczne (warunek niekonieczny);
- znajomość przez wykonawców sprawdzonej metodyki poprawnego prognozowania skutków strzelania;
- dysponowanie przez wykonawców odpowiednimi środkami strzałowymi i sprzętem strzałowym, w szczególności zapalarkami o dużej wydajności strzałowej, mogącymi odpalać znaczne ilości zapalników w wielu gałęziach równoległych.

Warunkiem koniecznym przy tego rodzaju strzelaniach jest też wykonanie pomiarów drgań parasejsmicznych podczas wykonywania strzelania głównego, który to zresztą wymóg jest obligatoryjny w świetle odpowiednich aktów prawnych [6].

Stosowana powszechnie w wielkich budowlach stalowa konstrukcja wyższych pięter i dachu nie stanowi ani zagrożenia, ani utrudnienia dla zastosowania tej metody. Nie ma potrzeby wcześniejszego usuwania maszyn, urządzeń i wyposażenia obiektu, co więcej, ze względu na koszty tych prac i ich bezpieczeństwo usuwanie stalowych elementów wyposażenia jest niewskazane. Po obaleniu (posadowieniu) wszystkie te elementy znajdują się na po-

ziomie terenu bez żadnych prac dodatkowych, a dostęp do nich będzie możliwy praktycznie z każdej strony podczas rozbiórki gruzowiska.

Strzelanie kaskadowe zostało zastosowane przez AGH przy likwidacji następujących obiektów:

- hali sprężarek na terenie szybów III w KWK „Jas-Mos”,
- flotacji „nowej” w ZP „Moszczenica” KWK „Jas-Mos”,
- flotacji „starej” w ZP „Moszczenica” KWK „Jas-Mos”,
- części niskiej płuczki w ZP „Moszczenica” KWK „Jas-Mos”,
- części średniej płuczki w ZP „Moszczenica” KWK „Jas-Mos”,
- części wysokiej płuczki w ZP „Moszczenica” KWK „Jas-Mos”,
- filara oporowego flotacji „starej”,
- budynku sortowni KWK „Niwka-Modrzejów”,
- budynku zakładu przeróbczego w KWK „Siersza”.

Dla każdego z wymienionych przypadków wykonywano odpowiednią dokumentację zawierającą warunki bezpieczeństwa otoczenia i technologię prowadzenia wszystkich strzelania, ze strzelaniem obalającym włącznie.

W większości przedstawionych wyżej przypadków prowadzone były wcześniejsze strzelania przygotowawcze (likwidacja zbiorników, belek, fundamentów lub innych elementów nie naruszających stateczności obiektu). Tylko na flotacji „nowej” i na KWK „Niwka-Modrzejów” nie prowadzono wcześniejszych strzelania przygotowawczych, gdyż łączna liczba odpalanych jednorazowo otworów nie przekraczała 500 szt., a łączna ilość MW nie przekraczała odpowiednio 400 i 80 kg. Największa liczba otworów odpalana podczas jednego strzelania kaskadowego (końcowego) wynosiła 1119 szt., zaś największa ilość detonowanego MW wynosiła 677 kg.

3.1. Zmniejszanie zagrożeń

Strzelania kaskadowe obejmują praktycznie całą „żelbetową” objętość wyburzanego obiektu. Występują wówczas następujące problemy:

- zagrożenie rozrzutem odłamków obejmujące znaczny obszar, duża liczba ładunków i duża ilość MW;
- zagrożenia drganiami sejsmicznymi pochodzące łącznie od detonacji MW i upadku dużych mas;
- możliwość wystąpienia dużej wartości nadciśnienia PFU;
- możliwość wywołania fali akustycznej o znacznym zasięgu;
- duże zagrożenie pyłami, które w znacznej ilości powstają po likwidacji obiektu górniczego;
- zagrożenia wynikające ze skali przedsięwzięcia (znaczna liczba otworów, połączeń sieci, zwiększone prawdopodobieństwo wystąpienia wad, uszkodzeń, pominięcia ładunku, zerwania przewodu itp.).

Pozostałe zagrożenia typowe dla robót wyburzeniowych występują w normalnej skali, wymienione wyżej są znaczne.

3.1.1. Rozrzut odłamków

Zagrożenie to powinno być minimalizowane według innych zasad niż przy strzelaniach skoncentrowanych, w których ładunek występuje na małej przestrzeni. W praktyce stosuje się przede wszystkim technologiczne metody ochrony otoczenia przed rozrzutem. Stosuje się więc:

- odpowiedni kierunek wiercenia otworów w słupach zewnętrznych — taki, aby linie prostopadłe do pobocznic walca wskazywały kierunki bezpieczne;
- w słupach zewnętrznych najbliższych obiektom chronionym stosuje się ładunki zmniejszone, obliczone na popękanie żelbetu bez nadmiernego wyrzucania go spomiędzy zbrojeń;
- w słupach zewnętrznych przesuwają się środki ciężkości ładunków do wewnątrz (zwiększa się zasięg od strony chronionej), tak by w konsekwencji dla kierunku chronionego były to ładunki kamuflowane — dynamika upadku całości i tak zmiażdży naruszone słupy.

Ponadto, stosuje się przykrycia bezpośrednie (z taśm przenośnikowych lub geowłókniny, zwisające wzdłuż słupów zewnętrznych) oraz wrażliwe części obiektów chronionych z najbliższego sąsiedztwa zabezpiecza się również taśmami, deskami (okna) lub geowłókniną.

Wszystkie elementy żelbetowe nie zagrażające rozrzutem (znajdujące się wewnątrz, za ścianami lub na kierunkach bezpiecznych) należy załadować takimi ładunkami, które dają pełną gwarancję rozbicia danego elementu — uzyskana tu dynamika ruchu obiektu spowoduje poprawne wykonanie zadania, mimo niedoładowania w słupach zewnętrznych, z których rozrzut mógłby być groźny dla otoczenia.

3.1.2. Drgania parasejsmiczne

Drgania powstające po rozpoczęciu strzelania mają decydujący wpływ na jakość wykonania zadania. Jest to szczególnie ważne w tych przypadkach, gdy w pobliżu zlokalizowane są prywatne budynki mieszkalne, znajdujące się na obszarze faktycznych, a nie tylko formalno-prawnych wpływów eksploatacji górniczej.

Ideą strzelania kaskadowego jest doprowadzenie do takiego przebiegu procesu, aby czas wyładowania energetycznego (będącego źródłem drgań) był jak najdłuższy, i dotyczy to zarówno strzelania, jak i upadku. Strzelanie kaskadowe pozwala na rozłożenie wyładowania energetycznego w czasie, przy czym stosuje się tutaj dwa równoczesne sposoby postępowania:

- uporządkowana w czasie i przestrzeni seria strzelań (rys. 6–8) dla likwidacji słupów podporowych w celu uzyskania skoordynowanego ruchu upadającego obiektu;
- chaotyczna w czasie i przestrzeni wybuchowa likwidacja nienośnych, zbędnych elementów żelbetowych (fundamentów, belek, lejów itp.).

Tak więc likwidacja elementów znajdujących się wewnątrz obiektu oraz fundamentów słupów znajdujących się poniżej poziomu terenu przebiega w sposób celowo chaotyczny, aby sygnały docierały do obiektu chronionego z różnych stron, w różnym czasie, z różną intensywnością i częstotliwością. Tak wygenerowane drgania są tłem, na które nakładają się drgania pochodzące od ładunków w fundamentach słupów i od upadku kolejnych fragmentów mas. Przy stosowaniu strzelania kaskadowego konieczna jest poprawna prognoza skutków (szczególnie drgań), których źródłem są detonacje ładunków MW i upadek znacznych mas.

Przy strzelaniu kaskadowym, w którym niejako z definicji stosowane są zapalniki półsekundowe, jako ładunek serii należy przyjmować maksymalną sumaryczną wielkość ładunku inicjowaną tym samym numerem zapalnika. W praktyce każdy numer zapalnika pracuje niezależnie, a detonacje ładunków inicjowanych innymi numerami nie mają wpływu na efekt sejsmiczny uzyskiwany od danego numeru zapalnika półsekundowego. Drugim założeniem jest fakt znacznego rozrzutu czasów zadziałania tych samych numerów zapalników półsekundowych od momentu włączenia prądu (rozrzut zgodnie z normą wynosi $\pm 0,2$ s, co daje łączną wielkość czasu trwania serii wybuchów do 0,4 s). Trzeba jednakże pamiętać, że rozrzut ten jest większy dla wyższych numerów zapalników, mniejszy dla numerów niższych. Przy znacznej liczbie otworów inicjowanych tym samym numerem zapalnika półsekundowego można przyjąć, że ich czas zadziałania jest chaotycznie rozmieszczony w rzeczonym przedziale i tworzy quasi-milisekundową serię. Oznacza to, że przy prognozowaniu skutków sejsmicznych wielkość całkowita umownej serii jest równa sumie ładunków odpalanych tym samym numerem zapalnika półsekundowego. Całe strzelanie wewnątrz tego numeru zapalnika półsekundowego można traktować jako strzelanie milisekundowe. Strzelanie kaskadowe sprowadza się więc w praktyce do strzelenia kilkunastu niezależnych serii quasi-milisekundowych odpowiednio zaprojektowanych. Niepublikowane jeszcze badania R. Kawalca z tego zakresu dowodzą, że wraz ze wzrostem numeracji GZE-0,5 s rośnie rozrzut czasowy serii.

W praktyce stosuje się dwa podejścia dla prognozowania wielkości zagrożeń:

- 1) do obliczania prognoz przyjmuje się masę całkowitą obiektu i czas upadku wynoszący do 7,5 s (w zależności od zastosowanej numeracji zapalników półsekundowych);
- 2) do obliczania prognoz przyjmuje się taką wielkość masy, jaka przypada na jeden numer zapalnika półsekundowego (do 1/15 masy całkowitej wyburzanego obiektu), natomiast za czas upadku przyjmuje się czas trwania serii quasi-milisekundowej (do 0,4 s).

W obu przypadkach uzyskuje się bardzo zbliżone wyniki prognoz. Z praktyki robót wyburzeniowych wynika, że obiekty wysokie, o masie od kilku tysięcy Mg do kilkudziesięciu tysięcy Mg, mogą być bezpiecznie obalane po odpowiednim przygotowaniu obiektu do „długiego” padania, a skutek sejsmiczny jest w przybliżeniu zgodny z prognozami.

3.1.3. Zagrożenia pyłowe

Podczas strzelania kaskadowego powstaje znaczna ilość gazów i pyłów. Powstawanie gazów jest nieuniknione, wynika ono bowiem z przemiany wybuchowej MW. Pyły węglowe

we i mineralne, spoczywające od dłuższego czasu na obiekcie, są uwalniane podmuchem detonującego MW i ruchem mas obiektu. Część pyłów można zwalczyć przez zmoczenie ich wodą. Wskazane jest prowadzenie strzelania przy korzystnym kierunku wiatrów, co przy znacznych przestrzeniach likwidowanych kopalń jest możliwe, natomiast nie jest praktycznie możliwe wybuchowe wytwarzanie mgły wodnej ze względu na rozmiar strzelania kaskadowego.

3.2. Metodyka strzelań kaskadowych

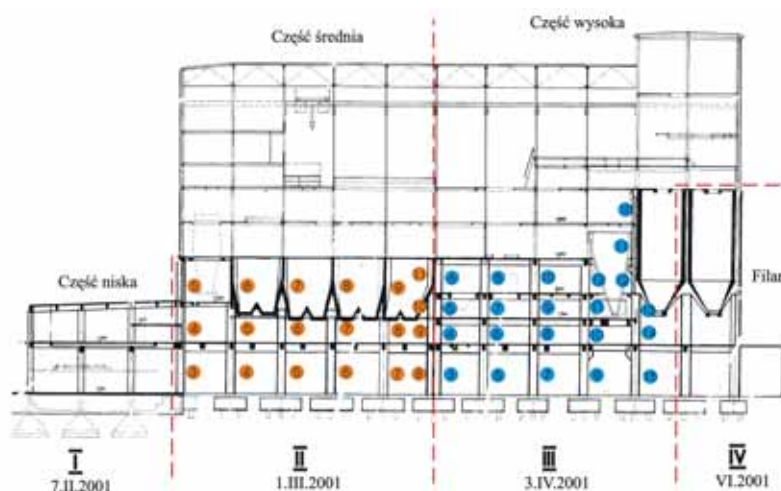
Przed przystąpieniem do prac należy:

- wyznaczyć masę obiektu,
- wyznaczyć elementy możliwe do wcześniejszej likwidacji,
- wyznaczyć wielkość ładunku koniecznego do posadowienia obiektu (strzelanie główne),
- określić ładunek maksymalny przypadającego na jeden stopień opóźnienia zapalnika,
- określić oddziaływanie strzelania głównego na otoczenie,
- opracować „uporządkowany” rozkład numerów zapalników dla posadowienia obiektu,
- opracować „chaotyczny” rozkład numerów zapalników w nienośnych elementach obiektu.

Technologia zostanie przedstawiona na przykładzie kilku ciekawszych prac, zaprojektowanych i w większości przypadków wykonanych przez AGH.

3.2.1. Obiekt 3/B1 — płuczka w KWK „Jas-Mos” — część średnia

Na rysunku 6 przedstawiono przekrój przez całość płuczki.



Rys. 6. Schemat budowy i likwidacji płuczki w KWK „Jas-Mos”

Płuczka posiadała zabudowę słupową o podstawowej podziałce 6 m. Liczba słupów wynosiła odpowiednio:

- w części niskiej — 3 rzędy $\times$ 7 słupów w rzędzie,
- w części średniej — 6 rzędów $\times$ 7 słupów w rzędzie,
- w części wysokiej — 7 rzędów $\times$ 7 słupów w rzędzie.

Łączna masa tego obiektu szacowana była na ponad 50 tys. Mg.

Likwidacja płuczki obejmowała 4 etapy:

1. likwidacja części niskiej (kaskadowo),
2. likwidacja części średniej (kaskadowo),
3. likwidacja części wysokiej (kaskadowo),
4. likwidacja filara (obalanie).

Część niska została zlikwidowana z zastosowaniem małego strzelania kaskadowego o układzie opóźnień poprzecznym do dłuższej osi płuczki. Metodykę strzelania kaskadowego pokazano na przykładzie likwidacji części średniej. Była ona następująca:

- we wszystkich belkach, słupach i lejach wykonano otwory strzałowe w taki sposób, aby mogła nastąpić wybuchowa dezintegracja danego elementu;
- w strzelaniach przygotowawczych zlikwidowano część lejów;
- w strzelaniach przygotowawczych zlikwidowano część belek nie przenoszących obciążeń (szczególnie zewnętrznych, od strony południowej i zachodniej, ale też i wewnątrz płuczki);
- na poziomach powyżej 16,0 m przepalono elementy stalowe pionowe (słupy, zastrzały), tak by całkowicie przenosiły siły pionowe i pełne obciążenie na ściskanie, natomiast nie mogły przenosić obciążeń poziomych; w szczególności wyjątkowo starannie przepalono wszystkie fizyczne łączniki stalowe znajdujące się pomiędzy częścią średnią a częścią wysoką;
- załadowano otwory strzałowe w słupach z inicjacją uporządkowaną przedstawioną na rysunku 6, cz. II;
- belki na poziomach + 6,0 m, 9,0 m, 12,0 m i 16,0 oraz fundamenty słupów uzbrojono zapalnikami o numerach 3–15 w sposób dowolny, dbając jedynie o to, by zapalniki w fundamentach danego rzędu słupów nie były wcześniejsze niż zapalniki w samych słupach;
- zabezpieczono przed rozrzutem według podanych uprzednio zasad;
- wykonano wizualną (trzech pracowników niezależnie) i elektryczną kontrolę połączeń każdej z gałęzi i każdej sieci, wyrównano opory w każdej gałęzi danej sieci, odpalono ładunki.

Podczas strzelania głównego zużyto 677 kg MW w 1023 otworach.

3.2.2. Obiekt 3/B1 — płuczka w KWK „Jas-Mos” — część wysoka

Różnica między częścią średnią a wysoką polegała na mocniejszej konstrukcji części wysokiej oraz większej zawartości i masie urządzeń stalowych znajdujących się w niej. Szczególnie potężne były zbiorniki stalowe usytuowane między IV a V rzędem słupów oraz zbiorniki węgla surowego znajdujące się między V a VI i VI a VII rzędem słupów, rozciągające się od 8,8 m do 24,0 m. Ponadto między V a VII rzędem słupów (na przestrzeni 12×30 m) na wysokości powyżej +24 m umieszczone były stalowe urządzenia transportowe, załadunkowe, przeróbcze i zbiorniki. W odległości 6 m od VII rzędu słupów przebiegała estakada materiałowa zasilająca EC „Jastrzębie”.

Przygotowawczymi robotami strzałowymi zniszczono elementy żelbetowe łączące V i VI rząd słupów od poziomu +8,8 m do poziomu +24,0 m i przepalono zbrojenia. Zbiorniki węgla surowego znajdujące się pomiędzy VI a VII rzędem słupów, sięgające wysokości +24,0 m, stanowiły filar ochronny. Pozostałe roboty przygotowawcze były podobne jak przy części średniej, natomiast samo obalenie nastąpiło z rozmieszczeniem zapalników pokazanym na rysunku 6, cz. III. Zauważa się dwie podstawowe różnice: zwiększono różnice czasu strzelania poszczególnych rzędów słupów oraz strzelano słupy rzędu V (ostatnie słupy likwidowane w tej operacji) od góry. Chodziło o to, aby elementy stalowe zostały ściągnięte w sposób płynny nad filara oporowego, oraz o to, by potężny zbiornik stalowy, znajdujący się na wysokości +27 do +34 m, był stopniowo prowadzony do samej ziemi, podczas gdy słupy rzędu V będą do końca zachowywały sztywność i nie pozwolą na uderzenia tego zbiornika na filar oporowy. Filar ten obalono w późniejszym terminie przez klasyczne podcięcie. Podczas strzelania głównego zużyto 665 kg MW w 1119 otworach.

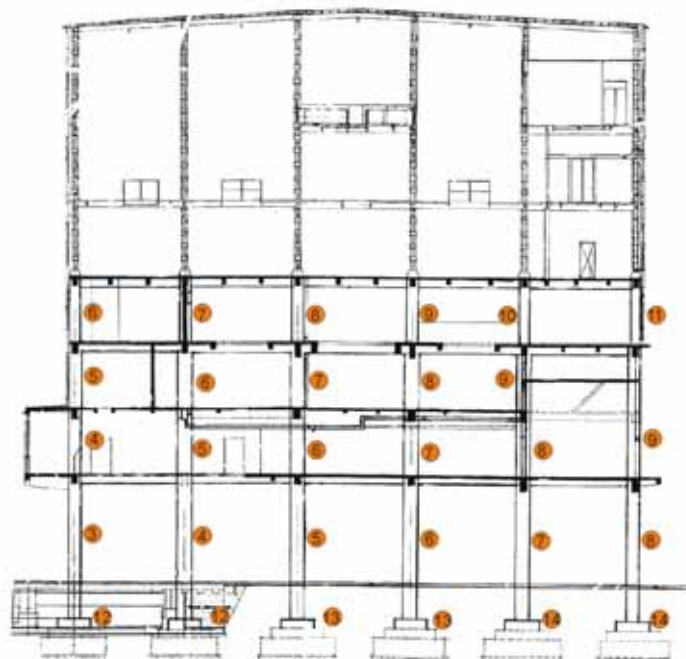
3.2.3. Budynek przeróbki w KWK „Siersza”

Budowę tego obiektu przedstawiono na rysunku 7. Obiekt miał budowę słupową, żelbetowo-stalową, wspartą (wliczając w to i klatkę schodową) na 38 słupach żelbetowych, rozstaw słupów w siatce 6×6 m. Obiekt posiadał 6 lejów rozciągających się od poziomu +8,8 do +20,7 m, 4 leje (od +8,8 do +16,5 m) oraz 2 leje (od +12 do +16,5 m). Obiekt o wysokości dochodzącej do 36 m był stosunkowo lekki (masa własna sięgająca 9700 Mg), jednakże 6 zbiorników było w znacznym stopniu wypełnionych, prawdopodobnie węglem surowym — co zwiększało masę, ale ułatwiało prace przygotowawcze.

Przed strzelaniem głównym wykonano kilkanaście serii strzałów przygotowawczych, przede wszystkim całkowicie rozbito ścianki zbiorników (z wyjątkiem ścianek wychodzących na zewnątrz), niektóre belki oraz fundamenty wag kolejowych. W strzelaniu głównym zużyto 265 kg MW w 660 otworach. Rozmieszczenie numerów zapalników półsekundowych przedstawiono na rysunku 7.

3.3. Oddziaływanie strzałów kaskadowych na otoczenie

W wyniku strzelania kaskadowego powstają pyły, rozrzut, występuje oddziaływanie drgań wzbudzonych strzelaniem czy upadkiem oraz działanie powietrznej fali uderzeniowej (PFU). Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono przebiegi drgań w czasie strzelania średniej i wysokiej części płuczki, na rysunku 10 — przebiegi drgań i PFU podczas strzelania głównego w KWK „Siersza”.

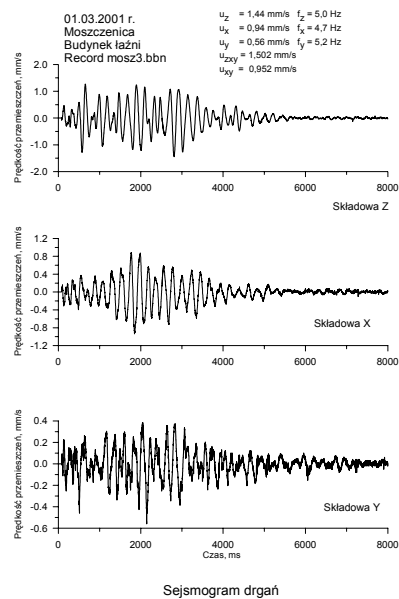


Rys. 7. Schemat budowy i likwidacji budynku przeróbki w KWK „Siersza”

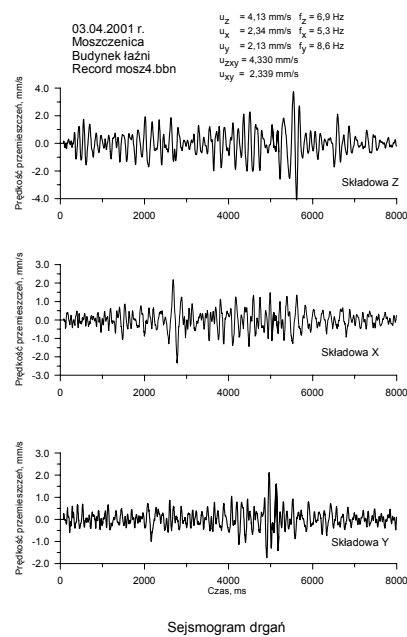
Drgania pochodzące zarówno od strzelania, jak i od upadku mas w którymś momencie ulegają sumowaniu. Na każdym z rysunków 8–10 można niewątpliwie wydzielić fazę początkową, w której drgania pochodzą tylko od detonacji MW (w przypadkach gdzie naniesiono diagramy PFU, jak np. w KWK „Siersza”, widać to bardzo wyraźnie), fazę środkową, w której drgania są największe (strzelania i upadek), oraz fazę końcową, w której występuje wyraźny spadek intensywności drgań, a ich źródłem jest już tylko upadek mas. Prognozy drgań wykonywane były dla każdego źródła oddzielnie.

Podczas obalania środkowej części płuczki zarejestrowano drgania o niskiej częstotliwości (około 5 Hz), trwające niemal 6 s. Składowe istotne dla oceny szkodliwości (v_x , v_y) były bardzo niskie: 0,94 i 0,56 mm/s. Przy ogromnej masie obiektu i bardzo dużych ilościach detonowanego MW są to wyniki bardzo dobre.

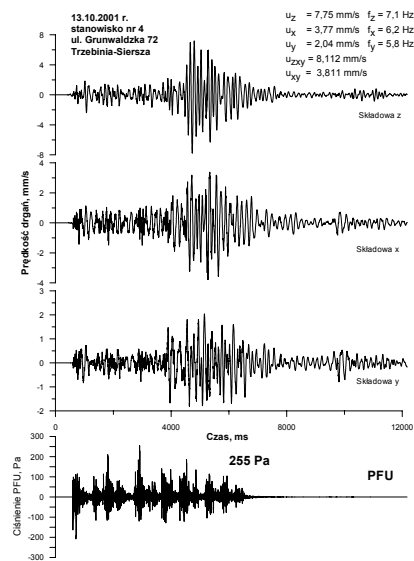
Przy obalaniu wysokiej części płuczki zużyto mniejszą (nieznacznie) ilość MW, lecz masa upadającego obiektu była większa z uwagi na to, że większość konstrukcji stalowych i urządzeń płuczki znajdowała się w tej części. Składowe drgań wynoszą: $v_x = 2,34$ mm/s, a $v_y = 2,13$ mm/s, z tym że w fazie początkowej (strzelanie) są one niewielkie (0,5÷1,0 mm/s), a posiadają tylko lokalne maksima: składowa x w 2,8 sekundzie, składowa y w 4,9 s, składowa z w 5,6 s. Z wyjątkiem wspomnianych maksimów lokalnych i tu zaznacza się wzrost intensywności drgań w fazie środkowej, pomiędzy 3 a 6 sekundą, wynikających z sumowania się oddziaływania strzelań i upadku. W fazie końcowej (tylko upadek) drgania z powrotem osiągają mniejszą niż w fazie środkowej intensywność.



Rys. 8. Oddziaływanie na otoczenie strzelań i upadku mas podczas likwidacji części średniej płuczki w KWK „Jas-Mos”



Rys. 9. Oddziaływanie na otoczenie strzelań i upadku mas podczas likwidacji części wysokiej płuczki w KWK „Jas-Mos”



Rys. 10. Oddziaływanie na otoczenie strzelań i upadku mas podczas likwidacji budynku przeróbki w KWK „Siersza”

Podczas likwidacji budynku przeróbki w KWK „Siersza” prognozowano, że drgania pochodzące od detonacji MW osiągną wartość do 1,43 mm/s, a drgania pochodzące od energii upadku osiągną 1,57 mm/s (obliczenia dla całości obiektu) lub 1,62 mm/s (obliczenia prowadzone dla podziału masy obiektu na części przypadające na jeden stopień opóźnienia zapalnika półsekundowego). Z sejsmogramu wynika wyraźnie, że drgania pochodzące od strzelania (0÷4 s) są małe i nieznacznie przekraczają 1 mm/s (składowa x) lub są nawet poniżej tej wartości (składowa y). W fazie środkowej wielkość drgań osiąga: dla składowej x — nieco ponad 3 mm/s, składowej y — 2 mm/s. Drgania fazy końcowej (tylko upadek) nie przekraczają wartości 1 mm/s, natomiast znakomicie uchwycone jest działanie powietrznej fali uderzeniowej. Na zapisie można wyraźnie wydzielić działanie każdego numeru zapalnika półsekundowego, a także zauważyć zmniejszanie się wielkości nadciśnienia PFU w miarę upadku mas i stopniowej blokady drogi przenoszenia sygnału od miejsca strzelania do miejsca pomiaru.

System strzelania kaskadowego daje możliwości sterowania bezpieczeństwem otoczenia. Już z pobieżnej analizy i porównań technologii miejsca ustawienia przyrządów w stosunku do burzonego obiektu wynika, że:

- istnieje możliwość tłumienia PFU przez elementy zburzonego obiektu;
- występują dające się wydzielić fazy: działania tylko MW, działania łącznego, działania tylko upadku;
- możliwe jest wydzielenie skutków wywołanych detonacją MW i skutków wywołanych upadkiem mas;
- możliwe jest dość dokładne prognozowanie każdego ze skutków.

4. Wnioski

1. Możliwy jest taki podział likwidowanego obiektu, aby jego obalenie było możliwe i bezpieczne dla otoczenia.
2. Każdy ze skomplikowanych obiektów wymaga indywidualnego podejścia, a rozwiązania są wynikiem wielkości dopuszczalnych, bezpiecznych dla obiektów chronionych znajdujących się w najbliższym otoczeniu obiektu likwidowanego.
3. Strzelanie kaskadowe pozwala na bezpieczne zastosowanie dużych ilości MW w czasie strzałów wyburzeniowych prowadzonych w pobliżu obiektów chronionych.
4. Strzelanie kaskadowe pozwala na likwidację skomplikowanych obiektów bez konieczności pracochłonnego i kłopotliwego dzielenia obiektu płaszczyznami pionowymi na fragmenty dogodne do obalenia (przez klasyczne podcięcie).
5. Podczas strzałów kaskadowych nie jest konieczne wcześniejsze usuwanie sprzętu i wyposażenia z likwidowanych obiektów.
6. Możliwe jest odróżnienie prędkości drgań spowodowanych strzelaniem od prędkości drgań spowodowanych upadkiem dużych mas, co pozwoli na dokładniejsze powiązanie skutków z przyczynami.
7. Możliwe jest dostosowanie kierunku strzelania kaskadowego do sytuacji terenowej w celu minimalizacji wielkości nadciśnienia w PFU.
8. Spośród wielu możliwych metod wybuchowej likwidacji danego obiektu tylko jedna jest optymalna i znalezienie jej jest kwestią wiedzy i doświadczenia projektanta.

LITERATURA

- [1] Kuznecov G.V.: Sesmičeskaja bezopasnost sooruzenii pri vzrywnych rabotach na kar'erach. Gornyj Žurnal, nr 4, 1971
- [2] PN-85/02170: Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki
- [3] Lewicki J., Batko P.: Wybrane problemy likwidacji kopalnianych obiektów budowlanych. Materiały konferencji pt. Technika strzelnicza w górnictwie, ART-TEKST, Jaszowiec 2001
- [4] Ustawa z dnia 4 lutego 1994 roku Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. z 1994 r. Nr 27, poz. 96 z późn. zm.)
- [5] Lewicki J., Batko P., Morawa R. i in.: Opracowanie warunków bezpiecznego wyburzania różnych obiektów. Dokumentacje i opracowania archiwalne z lat 1985–2001
- [6] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z 3 lipca 2003 roku (Dz.U. Nr 120, poz. 1135)

Zatwierdzono do druku: 17.09.2004 r.