

*Stanisław Kisiel\**, *Józef Lewicki\*\**, *Ryszard Morawa\*\**,  
*Bolesław Zachara\**, *Paweł Krzyworączka\*\**

## WYBUCHOWE ODCINANIE GŁÓWNYCH ELEMENTÓW KOPARKI KOŁOWEJ DLA JEJ LIKWIDACJI

---

### 1. Wprowadzenie

Likwidacja wielkogabarytowych konstrukcji stalowych: mostów przeładunkowych, zwałowarek i koparek wielonaczyniowych, pracujących w kopalniach odkrywkowych, jest przedsięwzięciem trudnym, skomplikowanym i kosztownym. Przy likwidacji tych urządzeń metodami tradycyjnymi zachodzi konieczność budowy konstrukcji wsporczych, gwarantujących stateczność rozbieranego zespołu, oraz stosowania dźwigów służących do przeniesienia rozdzielonych partii materiału. Bardziej efektywne są technologie wykorzystujące techniki strzałowe do przecinania nośnych konstrukcji stalowych, co w efekcie prowadzi do utraty stateczności likwidowanego zespołu. Po utracie stateczności podstawowe elementy obiektu upadają na poziom terenu i tu zostają cięte na części za pomocą palników [5].

W przedstawionym opracowaniu zamieszczono opis metodyki likwidacji koparek wielonaczyniowych na przykładzie koparki SRs 2400.

### 2. Warunki równowagi statycznej wyodrębnionych podzespołów

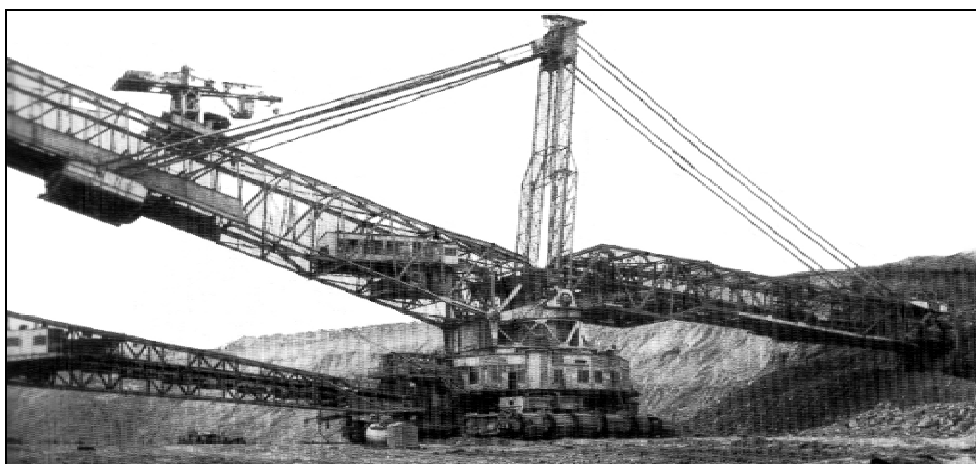
W zespole koparkowym można wyodrębnić dwa samodzielne funkcjonalnie i częściowo statycznie podsystemy (rys. 1 i 2):

- 1) urabiania (koło, wysięgniki, przeciwwaga) — system samodzielny statycznie;
- 2) załadowniczy (most, wysięgniki, przesypy) — system wsparty na podwoziu koparki, częściowo samodzielny.

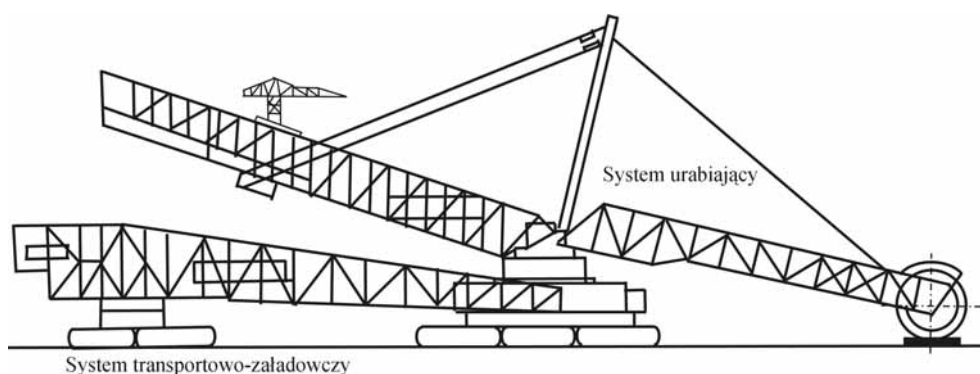
---

\* Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

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



Rys. 1. Koparka SRs2400



Rys. 2. Schemat budowy koparki — widok ogólny

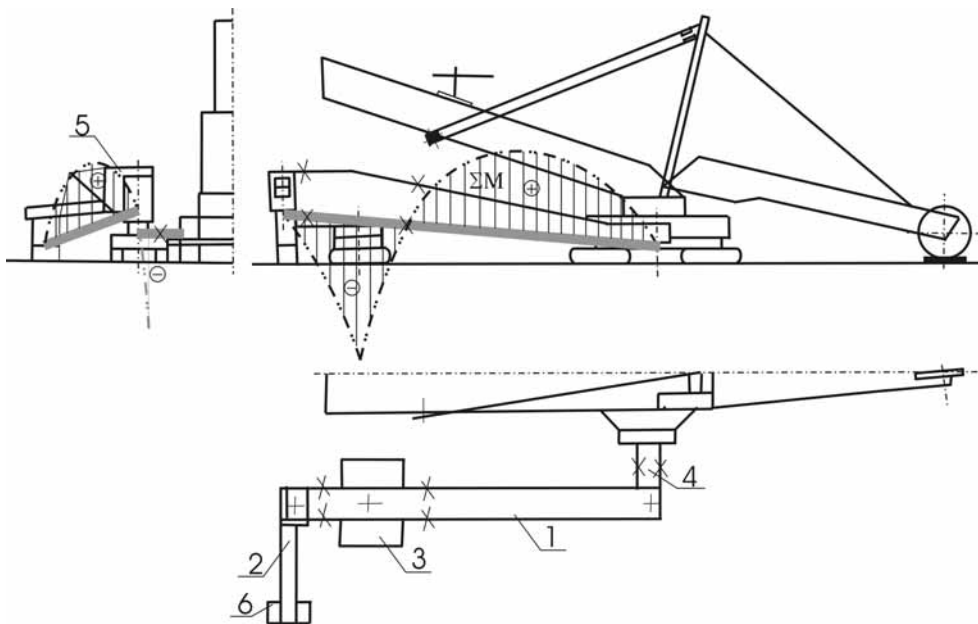
Każdy z wyodrębnionych podsystemów stanowi w ramach systemu skojarzonego funkcjonalną i strukturalną całość.

Przeprowadzona analiza uzasadnia rozdzielną likwidację każdego z podsystemów: w pierwszym etapie należy odciąć i powalić system transportowy (wsparty), w następnym — system urabiający. Likwidacja przenośnika usytuowanego równoległe do zespołu koparki nie wpływa na stateczność systemu koparki. Wzajemne usytuowanie tych zespołów narzuca więc przedstawioną wyżej kolejność likwidacji tych zespołów.

### 2.1. Warunki utraty równowagi statycznej mostu załadowczego

System przenośnika jest układem szeregowym dwóch przenośników taśmowych (elementy 1 i 2 na rys. 3), których konstrukcja nośna wsparta jest na stabilnym zespole jezd-

nym (3). Most załadowniczy (1) wsparty jest od strony załadunku na wsporniku (4) powiązanym z ustrojem podwozia koparki. Wysięgnik (2) został powiązany z zespołem jezdny (3) koparki. Stabilizację mostu (2) zapewniają cięgna wiążące ten zespół z podporą (3). Cięgna te dodatkowo utrzymują zespół załadowniczy (element 5 na rys. 3). Swobodny koniec wysięgnika załadowniczego (2) został podparty podporą sztywną (6).



**Rys. 3.** Rozkład momentów gnących od obciążeń masowych konstrukcji nośnej przenośnika transportowo-załadowniczego

Obciążenia konstrukcji nośnej przenośników w czasie likwidacji wynikają z obciążeń masowych ustroju nośnego tych przenośników. W czasie operacji likwidacji nie występują obciążenia technologiczne od ciężaru urobku niesionego przez przenośniki, a obciążenia od naporu wiatru są znikome w odniesieniu do obciążeń masowych.

Stateczność przedstawionego układu wynika ze stabilności podpór oraz wytrzymałości konstrukcji ramowo-kratowych przenośników. Utrata równowagi statycznej układu może więc nastąpić przez destabilizację podpór lub poprzez utratę wytrzymałości przekrojów nośnych. W tym przypadku zdecydowano, że utrata stateczności układu nastąpi poprzez:

- destabilizację w wyniku przecięcia podpory (4),
- przecięcie ustroju nośnego przenośników w miejscach oznaczonych „x” na rysunku 3.

Podstawą wyboru miejsc przecinania był rozkład momentów gnących konstrukcji nośnej przedstawiony na rysunku 3. Wybór przekrojów najmniej wyciężonych (o najmniejszej wartości naprężeń) umożliwił ograniczenie liczby przekrojów przecinanych technikami

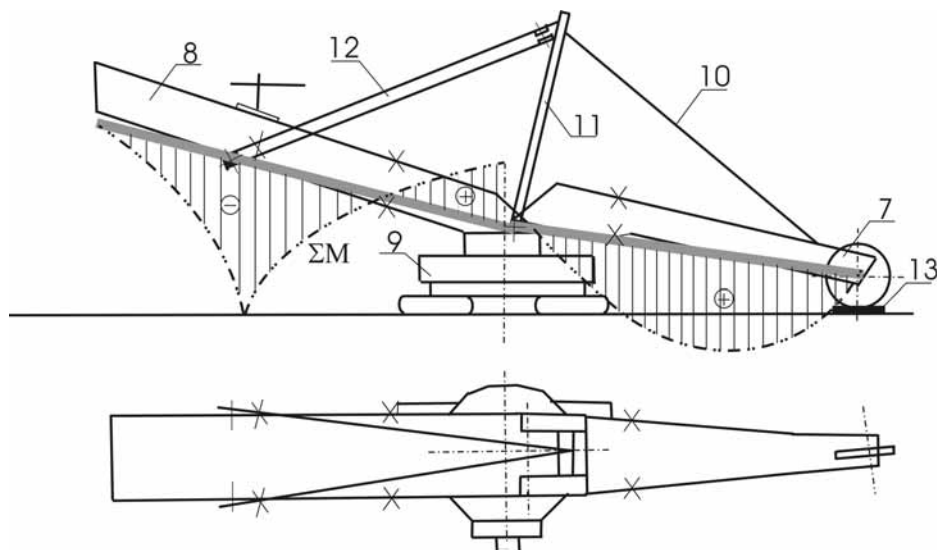
wybuchowymi. W pracach przygotowawczych usunięto mechanicznie z przekroju złożonego ustroju kratowego wszystkie elementy nie wpływające na jego stateczność w takich warunkach obciążeń. Umożliwiło to również zmniejszenie ładunków służących do przecięcia prętów nośnych w przekroju złożonym poprzez przecięcie palnikiem najmniej wyężonych elementów przekroju (rys. 9–12).

## 2.2. Warunki utraty równowagi statycznej koparki kołowej

System powiązań podzespołów koparki kołowej przedstawiają rysunki 3 i 4. Wysięgnik koła czerpakowego koparki (7) oraz wysięgnik przeciwwagi (8) są podparte przegubowo na stabilnym zespole jezdnym (9). Drugą podporę wysięgnika koła czerpakowego stanowi połączenie wysięgnika z masztem (11) za pomocą liny (10). Drugą podporę ramienia przeciwwagi stanowi przegub przesuwany cięgła (12) powiązanego przegubowo z masztem (11). Ponadto, przygotowując układ do likwidacji, koło frezowe koparki podparto sztywną podporą (13). W pozbawionym obciążeń eksploatacyjnych zespole koparki wysięgniki (7, 8) są wyężone zginaniem od obciążeń masowych konstrukcji kratownicy przestrzennej tych wysięgników. Wykres momentów gnących przedstawiono na rysunku 4. W cięgnie (10) oraz w cięgle (11) występują naprężenia rozciągające. Maszt koparki (11) ulega ściskaniu od napięć w cięgnie (10) i w cięgle (12).

Podjęto decyzję, że utrata stateczności zespołu koparki nastąpi w wyniku:

- przecięcia cięgła (12), i w następstwie tego doprowadzi do destabilizacji podpory ruchomej ramienia przeciwwagi;
- przecięcia ramion (7) i (8) w miejscach oznaczonych na rysunku 4.



Rys. 4. Rozkład momentów gnących od obciążeń masowych konstrukcji nośnej koparki

Podobnie jak dla konstrukcji nośnych przenośników, również i w tym przypadku wybrano przekroje ramion najmniej wyciężone, co umożliwiło wycięcie mechanicznie w przekrojach złożonych ramion prętów nie mających wpływu na stateczność ramienia. Zmniejsza to liczbę przekrojów przecinanych technikami strzałowymi. Zmniejszenie ładunków do przecięcia przekrojów nośnych prętów w przekrojach złożonych uzyskano poprzez przecięcie palnikiem najmniej wyciężonych elementów przekroju.

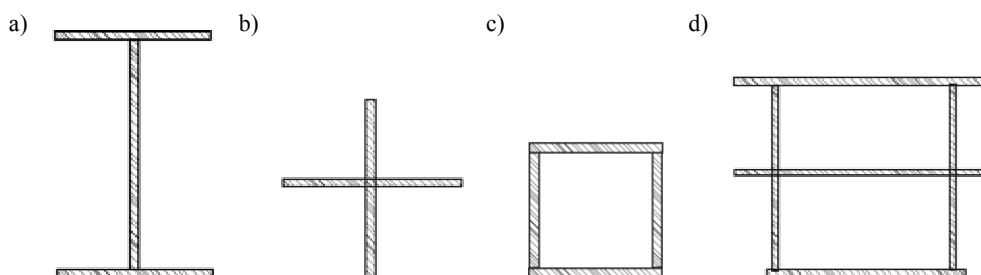
Dla ograniczenia liczby ładunków zrezygnowano również z przecinania masztu u podstawy. Uwolnienie rozciąganego cięła (12) przy naprężeniu cięła (10) spowodowało ugięcie i deformację plastyczną masztu, co umożliwiło jego rozcięcie palnikami bez zagrożeń dla obsługi.

### 3. Sposób przygotowania przekrojów do wybuchowego przecinania

Zagadnienie to dotyczy przekrojów złożonych konstrukcji nośnych oraz przekrojów prętów w ramach przekroju złożonego.

Brak obciążeń eksploatacyjnych likwidowanego zespołu umożliwia — po szczegółowo przeprowadzonej analizie wytrzymałościowej — przecięcie palnikami prętów nie obciążonych.

Przekroje prętów nośnych (dźwigarów i zastrzałów konstrukcji nośnych) występujących w konstrukcjach bramowo-kratowych likwidowanych zespołów przedstawiono na rysunku 5.



**Rys. 5.** Rodzaje przekrojów do cięcia:

a) dwuteowy, b) krzyżowy, c) skrzynkowy, d) kombinowany (skrzynkowo-teowy)

Sposób przygotowania tych przekrojów do cięcia technikami strzałowymi przedstawiono na rysunkach 9–12.

### 4. Opracowanie ładunków kumulacyjnych

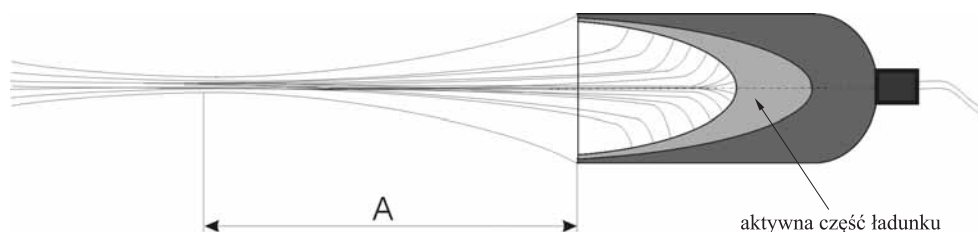
Materiał wybuchowy w kształcie pełnego cylindra zdetonowany na płycie stalowej powoduje o wiele mniejszą głębokość przebiccia (w zasadzie niewielkie wgniecenie) niż ładunek o takiej samej masie, lecz posiadający odpowiednie wydrążenie [1]. Ładunek z odpowied-

nim wydrążeniem jest ładunkiem kumulacyjnym. Zastosowanie wkładki metalowej w wydrążeniu ładunku dodatkowo wzmacnia efekt jego działania.

W pierwszym przypadku występuje płaska fala detonacyjna, w drugim natomiast dochodzi do nakładania się fal ciśnienia i ogniskowania energii, a tym samym — wzmocnienia działania.

Strumień detonacji powstaje na skutek detonacji w takim ładunku, w którym fala detonacyjna podchodzi do powierzchni wydrążenia pod pewnym kątem. Zgodnie z prawem Prandtla-Mayera rozlatywanie się produktów detonacji uwzględnia się w obliczeniach tylko dla powierzchniowych warstw MW [2]. Rozlatywanie się produktów detonacji z warstw głębszych nie podlega temu prawu. Część ładunku, która stanowi podstawowe źródło energii dla strumienia kumulacyjnego, nazywa się aktywną częścią ładunku. Zwiększanie grubości ładunku powoduje zwiększanie grubości warstwy powierzchniowej. Energia aktywnej części ładunku zawarta jest wewnątrz niewielkiego kąta  $2\gamma$ , zależnego od kąta  $\alpha$  między czołem fali detonacyjnej i powierzchnią ładunku.

Kierunek ruchu produktów detonacji z powierzchni wydrążenia jest prawie prostopadły do tej powierzchni. Produkty detonacji ulegają zderzeniu i na osi wydrążenia ładunku kumulacyjnego tworzy się tzw. strumień kumulacyjny (rys. 6). Strumień ten posiada znacznie większą gęstość i prędkość od produktów detonacji rozchodzących się w innych kierunkach. W pewnej odległości od podstawy wydrążenia występuje największe zagęszczenie strumienia. Odległość ta nosi nazwę ogniskowej strumienia (na rysunku 6 oznaczono ją jako A).



Rys. 6. Tworzenie się strumienia kumulacyjnego

Odległość ogniskowej zależy m.in. od kształtu wydrążenia i prędkości detonacji MW.

Najważniejszą własnością, jaką musi cechować się ładunek kumulacyjny, jest zdolność do przebijania, tj. do wytwarzania możliwie największego krateru w przeszkodzie [3]. Na głębokość krateru wytworzonego przez ładunek kumulacyjny mają wpływ różne czynniki. Są to między innymi:

- rodzaj i ilość stosowanego MW,
- kształt ładunku i wkładki kumulacyjnej,
- odległość ładunku od przeszkody,
- materiał wkładki,
- jakość i geometria pobudzenia,

- materiał i budowa przeszkody (jednowarstwowa lub wielowarstwowa),
- rodzaj technologii i jakość wykonania wszystkich elementów ładunku.

Do budowy ładunków kumulacyjnych najczęściej stosuje się mieszaninę trotylu z heksogenem (TNT/Hx), pentrytu z trotylem, tylko trotyl lub tylko heksogen. Doświadczenia wykazały, iż optymalną kombinacją jest zastosowanie mieszaniny heksogenu z trotylem w proporcji 60 : 40, o gęstości  $1,65 \div 1,69 \text{ g/cm}^3$ , której prędkość detonacji sięga 7690 m/s.

Kształt ładunku należy tak dobrać, aby umożliwiał tworzenie się strumienia kumulacyjnego o możliwie najmniejszym polu przekroju. W praktyce uzyskuje się strumienie o grubości (w miejscu ogniskowania strumienia)  $1 \div 3 \text{ mm}$ . Ustalając kształt ładunku, należy mieć na uwadze kilka istotnych rzeczy, między innymi:

- powierzchnia wydrążenia może mieć kształt stożka z zaokrąglonym końcem, paraboloidy lub inny;
- kąt wewnątrz wydrążenia kumulacyjnego powinien wynosić  $60 \div 70^\circ$ , aby możliwe było utworzenie strumienia o wymaganej gęstości.

Ważną rolę odgrywa materiał wkładki, korzystna jest jego duża plastyczność. Szczególnie istotne znaczenie ma plastyczność wkładki w czasie jej dynamicznego zgniatania pod wpływem działania ciśnienia detonacji. W procesie tym niewskazane jest kruche pękanie wkładki, ponieważ wpływa to znacznie na zmniejszenie ilości metalu przechodzącego do strumienia. Najlepsze własności plastyczne przy dużych prędkościach deformacji mają metale o regularnej przestrzennocentrycznej budowie sieci krystalicznej, a najgorsze — o budowie heksagonalnej. Najlepsze efekty przebijające uzyskuje się przy zastosowaniu miedzi.

Ładunek kumulacyjny inicjuje się odpowiednio silnym pobudzaczem. Można sformułować dwa warunki niezbędne do pobudzenia detonacji:

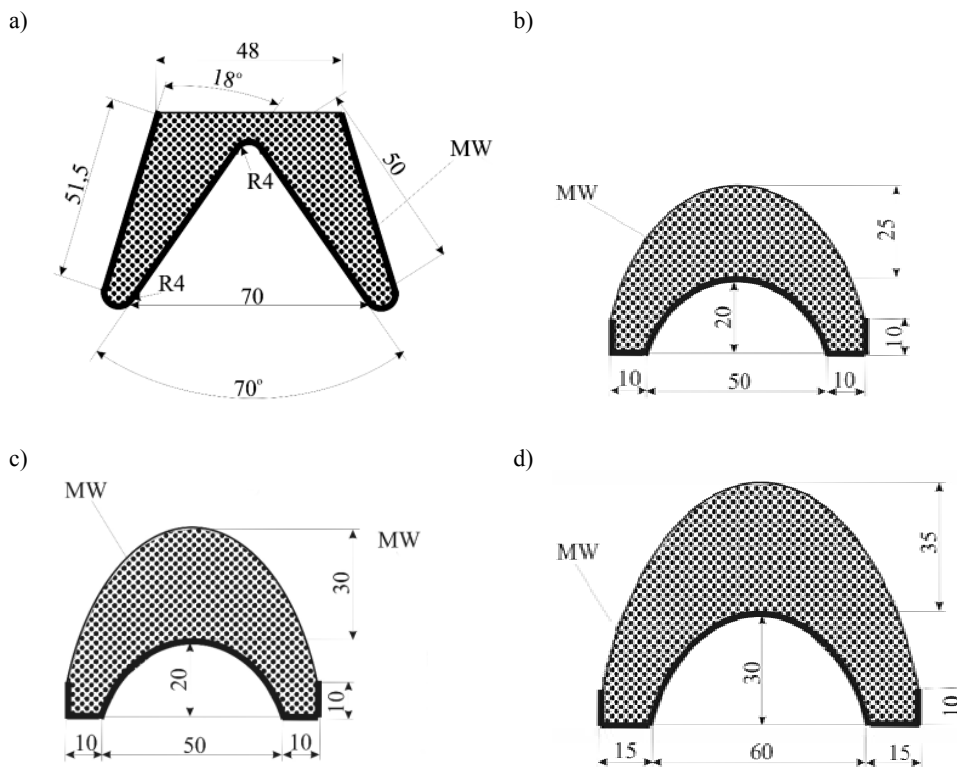
- 1) prędkość inicjującej fali uderzeniowej powinna przekraczać prędkość detonacji ładunku kumulacyjnego;
- 2) ciśnienie na czole inicjującej fali uderzeniowej musi utrzymywać się na niezbędnym poziomie, kosztem energii wydzielonej przy reakcji chemicznej.

Najczęściej obydwa ww. warunki realizuje się poprzez zastosowanie jako inicjatora zapalnika elektrycznego ostrego uzbrojonego w pobudzacze o dobrych parametrach detonacji.

Do wybuchowego cięcia wysięgnikowych części koparki SRs2400 konieczne było zastosowanie odpowiednich ładunków kumulacyjnych. Na polskim rynku nie ma w sprzedaży ładunków do „cięcia” liniowego. Dostępne są jedynie ładunki kumulacyjne osiowe o działaniu punktowym, zaistniała więc konieczność opracowania takich ładunków [4].

Zadanie strzałowe polegało na przecięciu stali o grubości 20, 30, 40 i 50 mm. Do przecięcia 50 mm warstwy stali należało skonstruować ładunek o odpowiednio dużej masie MW i odpowiednim kształcie. Taki ładunek mógłby być z powodzeniem zastosowany do przecięcia elementów o mniejszej grubości: 40, 30 czy 20 mm, ale wykorzystywanie ładunków tej wielkości do cieńszych ścianek byłoby nieuzasadnione.

Postanowiono opracować oddzielne ładunki dla różnych grubości cięcia stali występującej w konstrukcji koparki. Schematy budowy ładunków i ich parametry przedstawiono na rysunku 7. Tak skonstruowane ładunki były badane na poligonie pod kątem skuteczności cięcia blach stalowych.



**Rys. 7.** Schematy budowy ładunków kumulacyjnych użytych do cięcia stali o grubości:  
a) 20 mm, b) 30 mm, c) 40 mm, d) 50 mm

Próby wykonywane były na elementach stalowych o grubości odpowiadającej najgrubszemu elementom koparki [4]. Zmieniano:

- wysokość umieszczania ładunku nad przecinanym elementem stalowym,
- wielkość ładunku przypadającą na metr bieżący ciętego elementu stalowego,
- sposób ustawienia zapalnika i wielkość pobudzacza.

W efekcie tych prób uzyskano takie elementy konstrukcji ładunku, które pozwoliły na uzyskanie pewności przecięcia danego przekroju w warunkach rzeczywistych.

Ilość MW przypadająca na metr bieżący ciętej stali była zmienna i wahała się w granicach 2,2÷5,1 kg.



Odległość ogniskowej dla poszczególnych ładunków określono doświadczalnie, i wynosiła ona 4÷6 cm. W praktyce formowanie ładunków i ich zbrojenie odbyło się na miejscu ostatecznego strzelania [5].

## 5. Technologia cięcia wybranych przekrojów koparki

Po analizie wytrzymałościowej elementów koparki zostały wyznaczone przekroje cięcia wybuchowego, osobno dla I i II etapu.

### 5.1. Odcięcie zespołu załadunkowego (etap I)

Etap I obejmował trzy następujące płaszczyzny cięcia zaznaczone na rysunku 3:

- 1) dwa elementy teowe (rys. 5a) o wymiarach  $60 \times 56$  cm i grubości blachy 30 mm. W elementach tych przepalono środniki, strzelaniem rozcinając tylko górne i dolne półki (ładunki leżące poziome) — łącznie (dla tej płaszczyzny cięcia) zastosowano 4 ładunki kumulacyjne o długości 56 cm każdy;
- 2) dwa dolne i dwa górne pręty krzyżowe kratownicy nośnej oraz dwa zastrzały stabilizujące układ kratownicowy (rys. 5b oraz 10a). W prętach górnych zastosowano dwa ładunki o długości po 25 cm dla przecięcia blachy o grubości 20 mm (ładunki poziome) i dwa ładunki o długości po 50 cm dla przecięcia blachy o grubości 30 mm (ładunki pionowe). W cięgnach dolnych zastosowano dwa ładunki poziome o długości 40 cm każdy (blacha 30 mm) i dwa ładunki pionowe o długości 80 cm każdy (blacha 30 mm). W zastrzałach (blacha o grubości 20 mm) zastosowano dwa ładunki poziome o długości 22 cm każdy i dwa ładunki niemal pionowe, ukośne względem cięgna, o długości 45 cm każdy. Razem, dla tej płaszczyzny cięcia, zastosowano 12 ładunków. Opisane wyżej przekroje odcinały od koparki system załadowczy;
- 3) system załadunku urobku na zewnętrzne środki transportowe. W tej płaszczyźnie cięcia znajdowały się: dolna konstrukcja wsporcza kombinowana (posiadająca przekrój poprzeczny jak na rys. 5d), pracująca głównie na zginanie, górna konstrukcja podtrzymująca (o przekroju jak na rys. 5a), pracująca głównie na rozciąganie oraz dwa zastrzały, pracujące głównie na ściskanie. Cały ten system obciążony był znacznym momentem gnącym, stąd posiadał skomplikowaną konstrukcję przestrzenną o znacznych rozmiarach. W górnej konstrukcji zastosowano (rozciąganie, układ teowy) 4 ładunki o długości 50 cm każdy (środnik przecięty palnikiem) dla wybuchowego przecięcia blachy o grubości 30 mm. W zastrzałach krzyżowych, po przepaleniu palnikiem dwóch różnych kierunków blach, pozostałe dwa strzelano ładunkami o długości 30 cm każdy (grubość blachy 30 mm). Dolną konstrukcję wsporczą likwidowano następująco (rys. 12): przepalono palnikiem boczne ścianki klatki, natomiast blachy poziome (w obu konstrukcjach wsporczych) strzelano z zastosowaniem dwóch ładunków o długości 130 cm (górną blacha o grubości 40 mm), dwóch ładunków o długości 80 cm (blacha środkowa o grubości 30 mm) i dwóch ładunków o długości 100 cm (blacha dolna o grubości 40 mm). W tej płaszczyźnie cięcia zastosowano łącznie 12 ładunków [5].

W całym I etapie zastosowano łącznie 28 ładunków kumulacyjnych o łącznej masie ponad 66 kg plastiku odpalanego zapalnikami natychmiastowymi z pobudzacami. Strzelanie odbyło się na odkrytej powierzchni i na różnych wysokościach. Ładunki swą boczną powierzchnią zwrócone były w stronę obiektów chronionych, co nie było korzystne, jeśli idzie o propagację powietrznej fali uderzeniowej, jednakże zostało narzucone ustawieniem koparki w terenie.

Ponadto, oprócz ładunków kumulacyjnych zastosowano ładunki w otworach dla rozstrzelenia podpór żelbetowych podpierających wysięgnik załadowniczy. Podparcie wysięgnika było celowe ze względu na znaczne zmniejszenie momentu gnącego w strzelanych przekrojach i umożliwiło częściowe przecięcie wielu przekrojów palnikiem dla zmniejszenia liczby strzelań. Poza tym rozstrzelenie żelbetowej podpory wysięgnika znacznie zwiększało dynamikę odcinania tegoż wysięgnika od korpusu jezdnego. Dla rozstrzelenia podpory żelbetowej użyto 18 otworów strzałowych i 9 kg dynamitu.

Łącznie w I etapie odstrzelono 75 kg materiału wybuchowego.

## 5.2. Odcięcie zespołu urabiającego (etap II)

W etapie tym wykonano następujące czynności:

- obcięcie cięgien wysięgnika przeciwwagi,
- obcięcie wysięgnika przeciwwagi (przy korpusie głównym koparki),
- obcięcie wysięgnika koła urabiającego (przy korpusie głównym koparki).

Oba cięgna wysięgnika przeciwwagi, identyczne i symetryczne względem siebie, podtrzymywały przeciwwagę w równowadze względem wysięgnika koła urabiającego. Posiadały one zmienny przekrój, jednakże o stałej wytrzymałości na rozciąganie. Do przecięcia wybrano łatwo dostępny przekrój dwuteowy o podstawie 30 cm i wysokości 160 cm. W tym przypadku przecięcie środka, dolnej lub górnej półki cięgna, nie było możliwe ze względu na ogromne siły rozciągające panujące w obu cięgnach. Można było jedynie wykonać krótką szczelinę dylatacyjną na górze dwuteownika i wycięcie w środku (na dole) dla umożliwienia założenia ładunku koniecznego do likwidacji dolnej podstawy dwuteownika. W sumie założono więc dwa praktycznie poziome ładunki na górne części obu ramion (długość 30 cm, grubość blachy 20 mm), dwa ładunki (poziome) na dolną część dwuteownika (na oba ramiona) i dwa ładunki pionowe na środki dwuteownika prawego i lewego cięgna. Długość ładunku pionowego wynosiła nieco poniżej 150 cm, taka bowiem pozostawała nienaruszona palnikiem wysokość środka ciętego wybuchowo. Grubość blachy środka wynosiła 20 mm. W sumie zastosowano 4 ładunki o długości po 30 cm (w praktyce nieco więcej ze względu na strefę rozbiegową detonacji) i 2 ładunki o długości około 150 cm. Wszystkie cięte blachy miały grubość 20 mm. Ładunki plastiku zbrojone były zapalnikami natychmiastowymi wzmocnionymi pobudzacami heksogenowo-trotylowymi. Łącznie zastosowano 6 ładunków.

Wysięgnik przeciwwagi miał następującą konstrukcję:

- dźwigary górne (prawy i lewy) w kształcie dwuteownika 550 × 550 mm o grubości blachy 20 mm, przy czym górna półka miała szerokość 550 mm, a dolna 300 mm;
- zastrzały krzyżowe o wymiarach 300 × 300 mm i grubości blachy 20 mm;
- dźwigary dolne krzyżowe o wymiarach 500 × 500 mm i grubości blachy 50 mm.

Ponadto na tym wysięgniku znajdowały się urządzenia pomocnicze, sam zaś wysięgnik wzmocniony był wiatrownicami i elementami usztywniającymi cały układ podczas pracy koparki (wówczas występują zmienne co do wielkości siły i obciążenia dynamiczne). Po podparciu koła urabiającego na blokach żelbetowych wiele obciążeń zostało usuniętych i można było bezpiecznie wyciąć elementy wskazane przez specjalistów od wytrzymałości.

Do przecięcia dźwigarów dolnych zastosowano dwa ładunki pionowe o długości czynnej 50 cm, dwa ładunki poziome o długości czynnej 26,5 cm każdy i dwa ładunki poziome o długości czynnej około 15 cm (ładunki te powierzchnią czołową stykały się z grzbietami ładunków pionowych) — w sumie wykorzystano 6 ładunków.

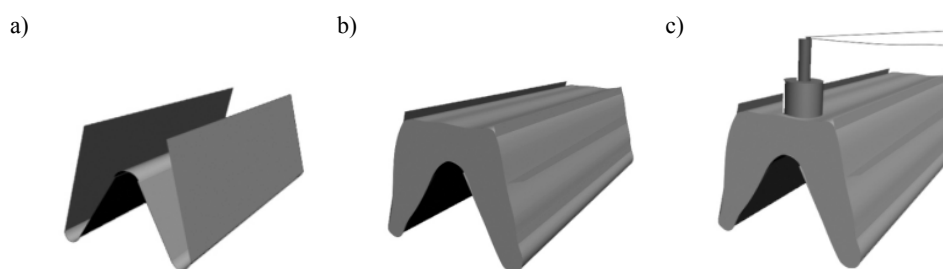
Do przecięcia zastrzałów (jedna ćwiartka krzyża została przepalona) zastosowano dwa ładunki pionowe o długości czynnej 30 cm i dwa ładunki poziome o długości czynnej 14 cm — w sumie użyto 4 ładunki.

Do przecięcia dźwigarów górnych zastosowano dwa ładunki poziome o długości 55 cm (półka górna) i dwa ładunki poziome o długości 30 cm (półka dolna). Środek przecięto, a w dolnej jego części wycięto kawernę umożliwiającą założenie poziomego ładunku na półkę dolną. Razem zastosowano 4 ładunki, a na cały przekrój — 14 ładunków.

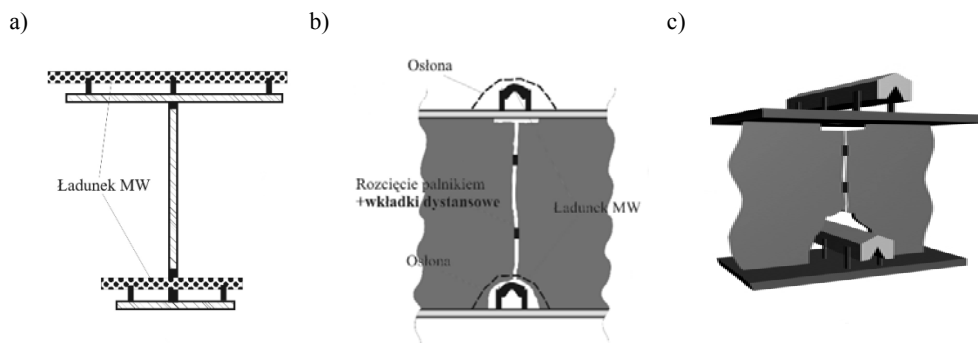
Wysięgnik koła urabiającego składał się z dwóch dźwigarów dolnych skrzynkowych o wymiarach  $420 \times 420$  mm i grubości blachy 30 mm, dwóch dźwigarów górnych skrzynkowych o wymiarach  $420 \times 420$  mm i grubości blachy 30 mm i dwóch zastrzałów skrzynkowych o wymiarach  $420 \times 420$  mm i grubości blachy 20 mm. Taka konstrukcja wysięgnika koła urabiającego pozwoliła na przecięcie bocznych ścian skrzynki z blokadą przed zaciskaniem się szczeliny oraz wycięcie kawerny na dolny ładunek. We wszystkich 6 elementach skrzynkowych ładunki poziome zakładane były na górne i dolne powierzchnie skrzynek. Łącznie dla przecięcia tego przekroju założono 12 ładunków o długości czynnej 42 cm każdy. W całym etapie II zastosowano 32 ładunki kumulacyjne. Oprócz tego, w żelbetowej podporze koła czerpakowego wykonano 24 otwory, które załadowano dynamitem (razem 6 kg DS).

Plastik zbrojono zapalnikami ostrymi natychmiastowymi z pobudzaczem heksogenowo-trotylowym. Ładunki dynamitu, podobnie jak w etapie I, zbrojono zapalnikami ostrymi natychmiastowymi.

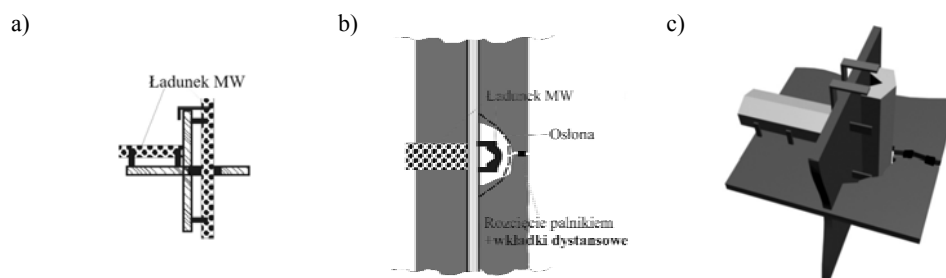
Schematy budowy i założenia ładunków przedstawiono na rysunkach 7–12.



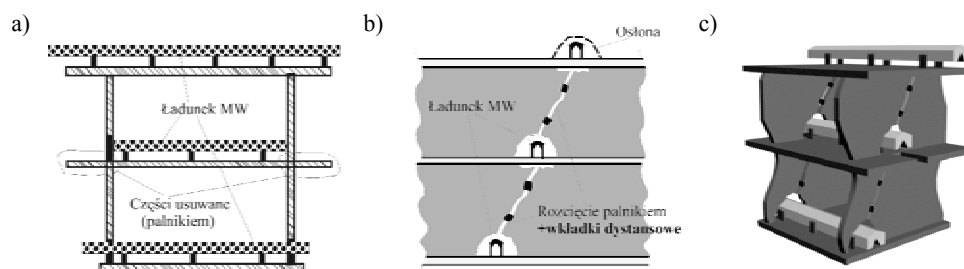
**Rys. 8.** Schemat budowy ładunku kumulacyjnego: a) wyprofilowana blacha miedziana, b) wypełnienie MW, c) ładunek uzbrojony pobudzaczem i zapalnikami elektrycznymi ostrymi



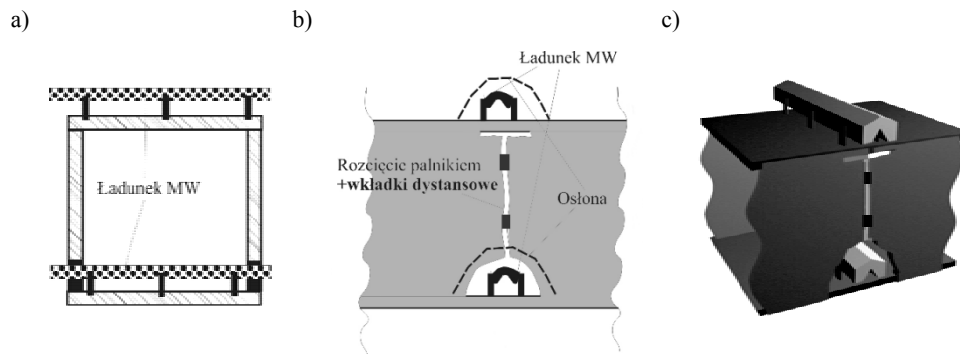
**Rys. 9.** Schemat cięcia przekrojów teowych:  
a) przekrój pionowy, b) widok z boku, c) widok perspektywiczny



**Rys. 10.** Schemat cięcia przekrojów krzyżowych:  
a) przekrój pionowy, b) widok z góry, c) widok perspektywiczny



**Rys. 11.** Schemat cięcia przekrojów kombinowanych (etap I, przekrój III):  
a) przekrój pionowy, b) widok z boku, c) widok perspektywiczny



Rys. 12. Schemat przecinania przekrojów skrzynkowych (etap II, przekrój VI):  
a) przekrój pionowy, b) widok z boku, c) widok perspektywiczny

## 6. Ocena oddziaływania na otoczenie

Wybuchowe cięcie elementów stalowych pociąga za sobą następujące konsekwencje:

- rozrzut odłamków,
- powstawanie powietrznej fali uderzeniowej,
- drgania parasejsmiczne.

### 6.1. Rozrzut

Duża prędkość strumienia kumulacyjnego wychodzącego z przecinanego fragmentu metalu może spowodować znaczny zasięg rozlotu odłamków stalowych. Ponadto duża siła uderzenia gazów w nadcięte fragmenty konstrukcji stalowych powoduje powstanie kolejnej grupy odłamków posiadających znaczny zasięg rażenia. Dla uniknięcia niebezpiecznych oddziaływań w praktyce wykonano:

- ukierunkowanie rozrzutu w stronę wolnej przestrzeni kopalnianej (na rysunkach zaznaczone jest takie ustawienie ładunków kumulacyjnych, aby potencjalny rozrzut skierować w stronę placu kopalnianego);
- ustawianie ładunków poziomych tak, aby strumień kumulacyjny skierowany był w dół, prostopadle do powierzchni ziemi;
- osłonę (słoma, siano, drewno, taśma) ładunków skierowanych strumieniem w stronę przestrzeni chronionych.

Dzięki tym działaniom praktycznie nie zaobserwowano rozrzutu, również w stronę placu kopalnianego.

### 6.2. Powietrzna fala uderzeniowa (PFU)

Ładunki kumulacyjne w praktyce są ładunkami nakładanymi, w których nie występuje strefa pośrednia pomiędzy centrum detonacji a powietrzem. Tak w górnictwie, jak i w robo-

tach wyburzeniowych rolę strefy pośredniej pełni kruszony ośrodek. Strefa pośrednia pozwala na znaczną redukcję ciśnienia wychodzącego na granicę rozdziału ośrodków: element kruszony/powietrze. Praktyka dowodzi, że nawet wielkie ładunki MW umieszczone głęboko w wyburzonym tworzywie nie wywołują znacznej wielkości powietrznej fali uderzeniowej (PFU). Ładunki kumulacyjne wypełnione są materiałem wybuchowym o znacznej gęstości i dużej prędkości detonacji. W konsekwencji ciśnienie na granicy rozdziału ośrodków (MW/powietrze) przekracza 8 GPa. Prędkość rozprzestrzeniania się PFU jest większa od prędkości dźwięku w powietrzu i zależy od jej intensywności (amplitudy), dlatego też ustawienie ładunków kumulacyjnych względem obiektu chronionego (powierzchnią czołową czy boczną) jest dla bezpieczeństwa chronionych obiektów istotne. Przy likwidacji koparki ustawienie ładunków kumulacyjnych było uwarunkowane pozycją całej koparki. Ze względów terenowych jej ustawienie było niekorzystne.

Innymi czynnikami mającymi zasadniczy wpływ na wielkość PFU jest wysokość założenia ładunku: im wyżej, tym swobodniejsze przemieszczanie się PFU.

Kolejnym czynnikiem są swoiste „opory ruchu” fali uderzeniowej. Przy istnieniu poszycia, zarośli i drzew opory ruchu są znaczne i rejestrowana wielkość PFU będzie niższa od prognozowanej. W praktyce zdarzają się przypadki, że znacznie mniejszy ładunek, ale za to założony wysoko, wywołuje większą wartość PFU niż ładunek większy założony niżej. Stosowany przez wojsko wzór jest ważny dla ładunków nakładanych lub o małej przybitce i uwzględnia standardowe warunki poszycia, krzewów, drzew, traw, wysokości założenia MW itp.

Obiektami chronionymi były następujące budynki:

- przeszklony budynek banku ( $r = 300$  m),
- opuszczony budynek bankowy ( $r = 350$  m),
- biurowiec Siarkopolu ( $r = 650$  m).

Warunki I strzelania były następujące:

- ilość MW odpalana natychmiastowo: 75 kg,
- wysokość założenia głównej masy ładunków: 0,5, 1,5 i 5 m nad poziomem terenu.

Obliczona wzorem górniczym prognoza dla budynku czynnego banku (I strzelanie) wyniosła 1117 Pa, budynek ten jednak był chroniony przez poszycie, krzewy i drzewa (w tym czasie częściowo bez liści) i w praktyce zmierzono 674 Pa. Prognozowana wielkość PFU dla budynku nieczynnego ( $r = 350$  m, brak poszycia, gładka powierzchnia placu, brak przeszkód terenowych) powinna wynosić 928 Pa, wyniosła zaś 1015 Pa; co więcej, mimo większej odległości zarejestrowano jej wcześniejsze dotarcie do czujnika (prędkość tej fali zależy od amplitudy). Prognoza dla budynku Siarkopolu wyniosła 442 Pa; pomiaru nie dokonano.

Warunki II strzelania były następujące:

- ilość MW odpalana natychmiastowo: 41 kg plastiku + 6 kg dynamitu,
- wysokość założenia ładunków głównych: 38 m, 25 m, i 20 m.

Ponieważ dynamit detonował wewnątrz tworzywa i niemal na powierzchni terenu, masę tego MW pominięto w prognozach. Przewidywana wielkość PFU powinna wynosić:

- dla budynku banku: 877 Pa, uzyskano 630 Pa (tłumienie zbliżone do poprzedniej serii);
- dla budynku nieczynnego: 729 Pa, nie mierzono;
- dla punktów pomiarowych rozmieszczonych w jednej linii, odległych od miejsca strzelania o 480, 560 i 650 m odpowiednio: 499, 415 i 347 Pa.

Wysokie umieszczenie ładunków i brak przeszkód terenowych spowodował, że dla tego ostatniego przypadku uzyskano kolejno 625, 650 i 880 Pa, w tym niewytłumaczalne zwiększenie intensywności PFU mimo wzrostu odległości miejsca pomiaru od miejsca strzelania. Czasy przejścia wynosiły 0,083 s i 0,8 s, co daje prędkość od I punktu pomiarowego do punktu II — 960 m/s, a od punktu II do III — około 1100 m/s.

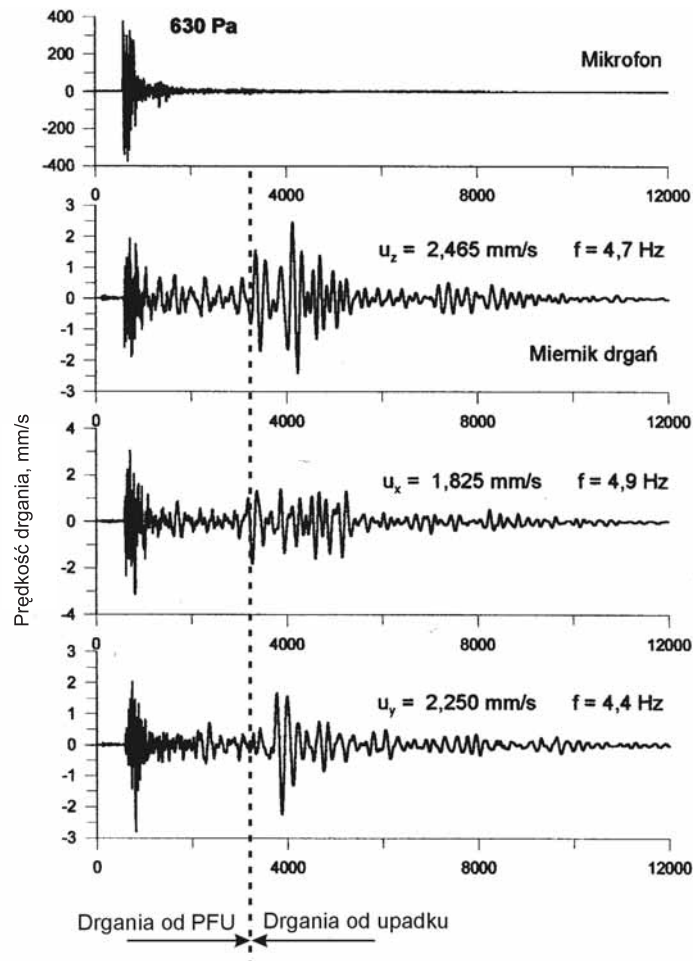
Wyniki pomiarów wskazały na występowanie znacznych trudności w poprawnym prognozowaniu skutków tego typu strzelań — ładunkami odkrytymi, umieszczonymi wysoko nad powierzchnią terenu w rozmaity sposób ukształtowanego i zarośniętego.

### 6.3. Drgania parasejsmiczne

Zagrożenie drganiami parasejsmicznymi pochodzącymi od ładunków MW umieszczonych wysoko nad powierzchnią terenu, odpalanych w tak znacznej odległości od obiektu chronionego, praktycznie nie istnieje. Relatywnie niskie ciśnienie PFU wyładowane na dużej powierzchni budynku daje znaczną siłę działania, w wyniku której pojawiają się drgania o amplitudzie znacznie przekraczającej spodziewane parametry drgań wynikające z analizy monotematycznej (zależność amplitudy drgań tylko od detonacji ładunku). Drugą cechą charakterystyczną tych drgań jest niska częstotliwość. Z punktu widzenia polskiej normy dotyczącej szkodliwości drgań jest to zjawisko pozytywne. Przedstawiony na rysunku 13 wykres oddziaływań na znajdujący się w pobliżu budynek czynnego banku wskazuje, że od samej detonacji powstały śladowe wartości drgań. Dopiero równo z zadziałaniem PFU pojawiają się znaczniejsze parametry drgań wywołanych działaniem PFU na obiekt.

## 7. Podsumowanie

Likwidacja stalowych konstrukcji przestrzennych o skomplikowanych układach wytrzymałościowych jest procesem trudnym. Likwidacja ręczna w którymś momencie prowadzi do naruszenia stateczności całego układu i katastrofy (co się w tym miejscu zdarzyło niedawno, na szczęście bez ofiar śmiertelnych). Jedynym rozsądnym rozwiązaniem jest wybuchowe obcięcie wysięgników i sprowadzenie ich na poziom terenu — ich potencjalna energia ulegnie rozładowaniu w sposób kontrolowany. Procedura sygnalizacji i powiadamiania usuwa ludzi ze stref niebezpiecznych. Pozostały korpus, wsparty na solidnie odciążonym podwoziu koparki, jest stosunkowo łatwy do likwidacji metodami tradycyjnymi. Jednakże wszelkie „odchudzanie” obiektu przed strzelaniem i przepalanie konkretnych przekrojów może się odbywać wyłącznie pod kontrolą (i na odpowiedzialność) fachowców od wytrzymałości i statyki konstrukcji. Dopiero prawidłowa współpraca specjalistów w dziedzinie wytrzymałości i techniki strzelniczej daje w konsekwencji możliwość prawidłowego i bezpiecznego wykonania zadania.



Rys. 13. Zakres oddziaływania strzelania na budynek banku — etap II

#### LITERATURA

- [1] Nowak H., Smoleński D.: Ładunki kumulacyjne w wojsku, górnictwie i przemyśle. Wyd. MON, Warszawa 1974
- [2] Smoleński D.: Detonacja materiałów wybuchowych. Wyd. MON, Warszawa 1981
- [3] Babul W., Ziemia S.: Materiały wybuchowe w technologicznych procesach obróbki tworzyw. PWN, Warszawa 1972
- [4] Lewicki J., Morawa R., Krzyworączka P.: Badania poligonowe działania układów kumulacyjnych, Kraków 2002 (praca niepublikowana)
- [5] Lewicki J., Morawa R., Krzyworączka P., Bagrowski J., Kisiel S., Zachara B.: Wybuchowe obciążenie systemu urabiającego kopalni SRs 2400. Dokumentacja strzelania etap I i II. Kraków 2002 (praca niepublikowana)

Zatwierdzono do druku: 17.09.2004 r.