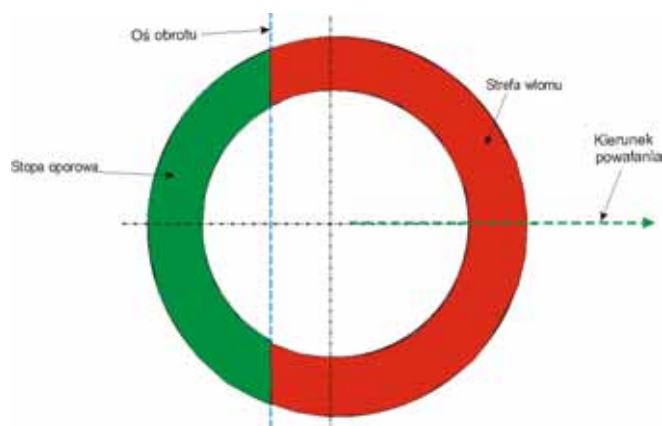


Józef Lewicki, Paweł Krzyworączka*, Paweł Batko*, Ryszard Morawa**

SPOSOBY ZWIĘKSZANIA PEWNOŚCI KIERUNKOWEGO OBALANIA KOMINÓW

1. Wprowadzenie

Likwidacja kominów sposobem wybuchowym jest niewątpliwie najtańszą, najszybszą i najmniej czasochłonną metodą [2, 3, 5, 6]. Wszędzie tam, gdzie możliwe jest kierunkowe powalenie komina, zastosowanie techniki strzałowej jest rozwiązaniem najbardziej korzystnym. Najpoważniejszym zagrożeniem podczas obalania kominów jest zazwyczaj zachowanie wyznaczonego kierunku padania oraz drgania wywołane uderzeniem komina o grunt [1, 8].



Rys. 1. Stopa oporowa i strefa włomu

Po wykonaniu tzw. włomu obalającego, tj. usunięciu metodą strzałową około 2/3 podstawy komina (rys. 1), cały ciężar komina zostaje przeniesiony na 1/3 pierwotnej powierzchni przekroju komina. W dodatku naprężenia powstające w tzw. stopie oporowej (tj. powierz-

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

chni przekroju podstawy komina, na której stoi komin po wystrzeleniu włomu obalającego) mają charakter dynamiczny i są kilkakrotnie większe od naprężeń statycznych (gdy komin stoi w miejscu). Wykonanie włomu powoduje wystąpienie sił i momentów sił (w dalszej części artykułu zwanych krótko momentami), które doprowadzają do upadku komina.

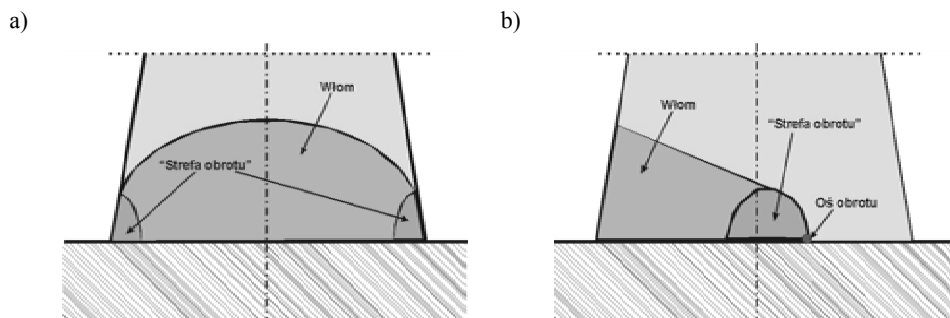
W artykule przedstawiono techniki zwiększające pewność i bezpieczeństwo kierunkowego powalania kominów.

Najważniejszym problemem podczas powalania kominów jest zachowanie wyznaczonego kierunku padania. W celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa podczas powalania kominów można zastosować różne techniki [5]. Różnią się one między sobą zarówno czasochłonnością, jak i kosztami wykonania.

2. Techniki zwiększające pewność i bezpieczeństwo kierunkowego powalania kominów

2.1. Wykonanie „strefy obrotu”

W czasie prac przygotowawczych do obalania komina, na osi obrotu wykonuje się tzw. „strefę obrotu” (rys. 2) [6].



Rys. 2. Schemat budowy włomu obalającego i tzw. „strefy obrotu”:
a) widok z kierunku padania, b) widok z boku

Jest to mechaniczne lub strzałowe usunięcie części komina rozmieszczonej symetrycznie po obydwu stronach. Strefę obrotu tworzy się w celu:

- precyzyjnego wyznaczenia osi obrotu, aby kierunek padania komina został ściśle zachowany;
- usunięcia prętów zbrojeniowych w obrębie strefy obrotu. Pręty te, z powodu niewielkich wysokości, powodowałyby powstanie znacznych momentów przeciwdziałających obalaniu, ponieważ siły wyboczeniowe dla tych prętów miałyby dużą wartość. Poza tym nierównomierne wyginanie (wyboczenie) prętów zbrojeniowych w obrębie strefy obrotu mogłoby mieć wpływ na zmianę kierunku padania komina;
- zmniejszenia ilości MW używanego przy strzelaniu obalającym.

Wykonanie strefy obrotu jest zabiegiem stosunkowo mało czaso- i energochłonnym, ma jednak istotny wpływ na zachowanie wyznaczonego kierunku padania likwidowanego komina.

2.2. Skracanie kominów

Podczas kierunkowego obalania istotnym parametrem jest smukłość komina S . Smukłością określa się stosunek wysokości komina do jego średnicy zewnętrznej mierzonej u podstawy [4, 7]. Tak zdefiniowana smukłość ma różne wartości dla różnych kominów budowanych w różnych czasach. Dotychczasowe obserwacje wskazują na istnienie kilku prawidłowości związanych z budową kominów oraz na kilka odchylek od stanów normalnych. Odchyłki te są zwykle przyczyną niezachowania kierunku, bądź innych nieprzewidzianych niekorzystnych zdarzeń. Obserwacje wskazują na ogólną, następującą zależność:

- Kominy ceglane:
 - normalne ($S = 12$),
 - łatwe ($S = 10$),
 - trudne (S dochodzi do 15),
 - niebezpieczne (S przekracza 15).
- Kominy żelbetowe:
 - normalne ($S = 15$),
 - łatwe ($S = 12$),
 - trudne (S dochodzi do 20),
 - niebezpieczne (S przekracza 20).

Likwidacja kominów należących do poszczególnych grup trudności wymaga odrębnego podejścia, niezależnie od wymagań związanych z tzw. „podpornością” komina po strzale.

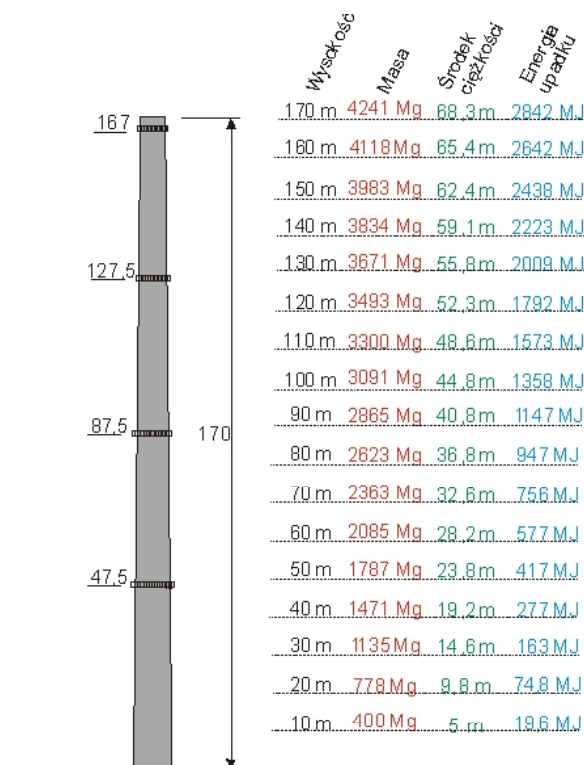
Kominy o smukłości normalnej lub łatwej zazwyczaj padają w ściśle wyznaczonym kierunku. Kominy trudne wymagają bardzo dokładnych prac przygotowawczych i na ogół w czasie ich wyburzania mają miejsce pewne odchyłki od założonego kierunku padania. W takich przypadkach wyrządzają mniejsze lub większe szkody, których można by uniknąć po odpowiednim przygotowaniu komina do obalania. Ogólnie można stwierdzić, że im większa smukłość komina, tym większe zagrożenie, że nastąpi odchylenie od wyznaczonego kierunku padania [5].

Istotnymi parametrami są również ciężar komina i wysokość jego środka ciężkości. Mają one bezpośredni wpływ na energię upadku komina, a tym samym na ewentualne negatywne skutki jego uderzenia o podłoże.

Jednym ze sposobów wpływających zarówno na energię upadku, jak i na smukłość komina jest jego skrócenie. Dla istniejącego realnie na Śląsku komina o wysokości 170 m przeprowadzono odpowiednie obliczenia dotyczące ciężaru komina, środka ciężkości i energii upadku w zależności od wysokości komina (a dokładniej rzecz biorąc — od wysokości komina po skróceniu) (rys. 3).

Obliczenia wykazały, iż zmniejszenie ciężaru komina o połowę wymaga skrócenia komina do około 63 metra, tj. o 64%, natomiast skrócenie komina o połowę (ze 170 do 85 m) powoduje zmniejszenie ciężaru komina tylko o około 35%. Skrócenie komina o połowę powoduje:

- obniżenie środka ciężkości komina o około 43% (z 68,3 do 38,8 m),
- zmniejszenie energii upadku komina o 63%,
- zmniejszenie smukłości komina z 16,2 do 8,1 (50%).



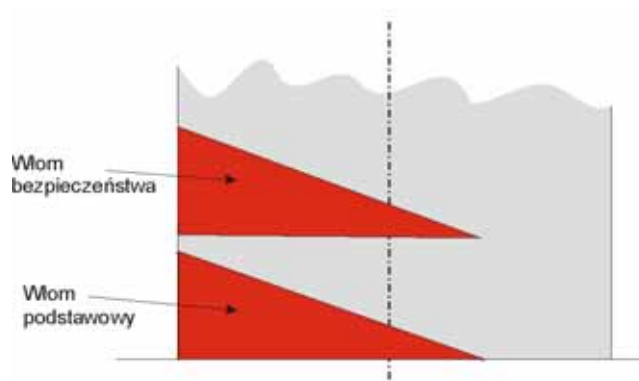
Rys. 3. Masa, środek ciężkości i energia upadku komina w zależności od jego wysokości

Jak widać, skracanie komina ma umiarkowany wpływ na wielkość ciężaru i położenie środka ciężkości komina, jednak z racji wysokości jest kosztowne, mimo że usuwana część komina ma stosunkowo mały ciężar. Natomiast znacznemu zmniejszeniu ulega energia upadku i smukłość komina [5].

Skracanie kominów niewątpliwie bardzo istotnie wpływa na pewność kierunkowego powalania i na energię upadku, niemniej jest zabiegiem niezwykle kosztownym i czasochłonnym i powinno być stosowane tam, gdzie jest to w pełni uzasadnione względami bezpieczeństwa.

2.3. Zastosowanie „włomu bezpieczeństwa”

Włom bezpieczeństwa jest dodatkowym włomem, wykonywanym wybuchowo z pewnym opóźnieniem w stosunku do włomu podstawowego (rys. 4) i zapewniającym wystąpienie momentów sprzyjających obalaniu komina nawet w przypadku miażdżenia stopy oporowej [6]. Podwójny niejako włom pozornie nie ma większego znaczenia, gdyż w przypadku wystąpienia miażdżenia włomu podstawowego włom bezpieczeństwa również najprawdopodobniej zostanie zmiażdżony. Jego zastosowanie jest uzasadnione czasem powstania włomu bezpieczeństwa. Zwykle obserwacje po strzale wskazują nie tylko na miażdżenie stopy i siadanie komina, ale też i na powstanie pewnych tendencji przechylania się komina w określonym, zaplanowanym kierunku. Nawet gdy nie występuje włom bezpieczeństwa, ta tendencja okazuje się wystarczająca do w miarę poprawnego zachowania kierunku upadku. Zastosowanie włomu bezpieczeństwa może być uzasadnione w przypadku, gdy wcześniejsze analizy wskazują na nośność stopy podporowej komina zbyt niską, aby utrzymać ciężar całego komina po wykonaniu włomu obalającego. Może wtedy nastąpić miażdżenie stopy i obniżanie się komina, co z kolei ma istotny wpływ na rozkład sił i momentów determinujących upadek komina. Zastosowanie włomu bezpieczeństwa z obliczonym opóźnieniem czasowym odnawia niejako ten sam układ momentów i sił, sumując się w tym zakresie z działaniem włomu podstawowego. Wykonanie włomu bezpieczeństwa jest zabiegiem dość kłopotliwym, ponieważ wymaga wykonania wierceń, załadunku MW i połączenia sieci strzałowej na pewnej wysokości. Włom bezpieczeństwa może być znacznie niższy niż włom podstawowy, bowiem jego zadaniem jest **ponowienie** wymuszenia kierunku padania w sytuacji nieco zmienionej w stosunku do włomu podstawowego.

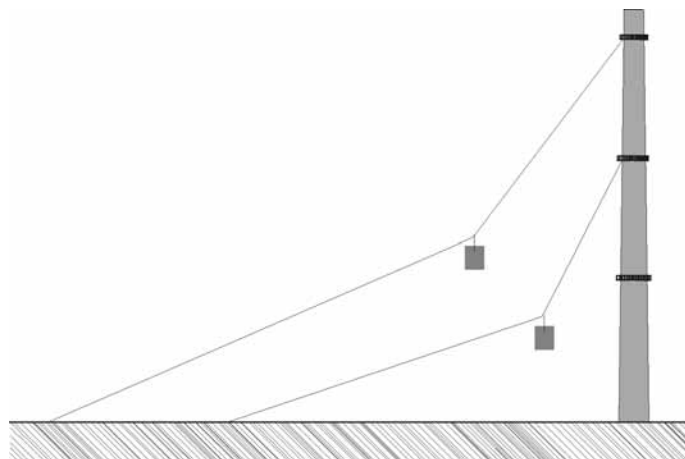


Rys. 4. Włom podstawowy i włom bezpieczeństwa

2.4. Zastosowanie ciężaru zawieszonego na linie

Ciężar zawieszony na linie rozciągniętej na kierunku padania komina stosuje się w celu ukierunkowania upadku komina. Ciężar na linie zwiększa prawdopodobieństwo właściwego (kierunkowego) obalenia komina.

Istnieje możliwość zastosowania dwóch lin naciagowych, dla zwiększenia momentu ciągnącego komin w żądanym kierunku (rys. 5).



Rys. 5. Ciężar zawieszony na linie (wariant z dwoma linami)

Po wykonaniu włomu obalającego (ładunki MW inicjowane zapalnikami milisekundowymi), przy niekorzystnym stosunku ciężaru komina do nośności stopy oporowej może nastąpić jej miażdżenie. W momencie miażdżenia stopy oporowej kierunek upadku może ulec zmianie.

W czasie miażdżenia stopy oporowej moment ciągnący komin w żądanym kierunku, będący wypadkową momentów składowych, może ulec zmniejszeniu na skutek przesuwania się linii obrotu komina [6]. W skrajnym przypadku moment wypadkowy może zmaleć do zera lub osiągnąć nawet wartości ujemne. Z taką sytuacją mielibyśmy do czynienia, gdyby momenty przeciwdziałające obalaniu były większe od momentów sprzyjających obalaniu.

W tym miejscu decydującą rolę może odegrać ciężar zawieszony na linie. Miażdżenie stopy oporowej nie ma istotnego wpływu na wielkość momentu od ciężaru na linie; w skrajnie niekorzystnym przypadku może to być jedyny moment siły sprzyjający obaleniu w żądanym kierunku.

Dobierając parametry stalowej liny i wielkości ciężaru na niej zawieszonego, należy zachować szczególną ostrożność. Niewłaściwe dobranie parametrów liny, ciężaru, wysokości zawieszenia ciężaru czy kąta napięcia liny może spowodować zerwanie liny, co w konsekwencji może doprowadzić (na skutek relaksacji naprężeń występujących w płaszczu komina) do upadku komina w zupełnie niekontrolowanym kierunku.

Generalnie należy trzymać się zasady, że wielkość momentu pochodzącego od ciężaru i liny nie może być większa niż 0,1 momentu koniecznego do obalenia komina (przed strzałem) oraz że siła w linie nie może stanowić więcej niż 20% wytrzymałości liny na zerwanie. Stąd tak istotne jest tworzenie wieloboków sił dla określenia skrajnych wysokości podnoszenia ciężaru na linie — przy linie, której jeden koniec zamocowany jest na kominie, a drugi napinany na ziemi (wciągarka lub inne urządzenie).

W przypadku kominów ceglanych, na skutek zbyt mocnego napięcia liny, zastosowania zbyt dużego ciężaru lub zaczepienia liny o obręczę znajdujące się niżej niż punkt zaczepienia liny u komina, moment od liny może spowodować ścięcie komina w miejscu zamocowania liny do komina. Działa to tak, jak gdyby na wysokości został wykonany drugi włom o kierunku padania poprzecznym do kierunku zaplanowanego. Współdziałanie sił na wysokości i utworzony nieprzewidziany rozkład momentów prowadzi do negatywnych wyników. Podczas mocowania liny do komina należy zwrócić uwagę na precyzję kierunkowego zamocowania liny. Znany jest przypadek (komin nr 11 w HTS), gdzie niesymetryczne zamocowanie liny na kominie żelbetowym spowodowało wystąpienie (podczas padania komina) momentu skręcającego, pochodzącego od ciężaru na linie, który spowodował ruch obrotowy komina wokół własnej osi. Konsekwencją braku staranności podczas mocowania liny była zmiana kierunku padania komina o kilka stopni.

2.5. Wzmocnienie stopy oporowej komina

Do prognozowania zachowania się komina po strzale wprowadzono wskaźnik będący stosunkiem nośności stopy oporowej do całkowitego ciężaru komina. Technologia budowy kominów żelbetowych narzuca stosowanie pewnych standardów. Odnosi się to m.in. do grubości ścianki żelbetowej (płaszczka) mierzonej u podstawy komina. Grubość płaszczki wynosi 25, 30, 40+45 i 60 cm.

Niskie kominy (np. strzelany ostatnio w Akademii Ekonomicznej w Krakowie komin o $H = 22$ m) mają grubość płaszczki żelbetowego 25 cm i stosunek nośności stopy oporowej do ciężaru po strzale powyżej 20. Kominy wysokie (np. $H = 200$ m, Pątnów) mają grubość płaszczki 60 cm, ale stosunek nośności stopy do ciężaru poniżej 3. Prawidłowością jest, że:

- jeśli wspomniany stosunek jest mniejszy od 3 — komin „siada”;
- jeśli stosunek ten jest większy od 5, ale nie większy niż 10 — komin pada w miarę precyzyjnie;
- jeśli mieści się w przedziale 3+5 — komin zachowuje się różnie;
- jeśli jest znacznie większy od 10 — komin wymaga silnego wspomaganie liną z ciężarem, bowiem równanie momentów zaczyna kształtować się coraz mniej korzystnie.

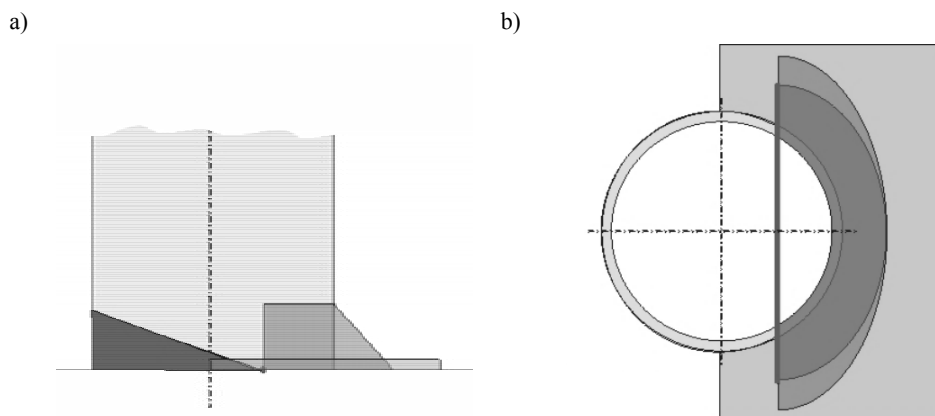
Wzmocnienie stopy oporowej przedstawiono na przykładzie 170-metrowego komina o masie 4241 Mg i średnicy zewnętrznej u podstawy 10,5 m. Współczynnik stopy oporowej komina (3,16) jest za mały, by mieć pewność, że komin nie zacznie „siadać”. Dlatego postanowiono wzmocnić stopę oporową poprzez nadłanie na obwodzie stopy oporowej warstwy betonu około 2-metrowej szerokości (rys. 6) oraz połączenie jej z kominem za pomocą prętów zbrojeniowych. Warstwa ta ma niewielką masę w stosunku do masy komina, a więc może zostać pominięta w równaniach momentów, z drugiej strony nadłana na poziomej folii nie generuje momentu trzymającego po strzale (łatwo odklei się od podłoża i uniesie do góry). Dzięki temu współczynnik nośności stopy oporowej zwiększy się.

Postanowiono zwiększyć współczynnik stopy oporowej z 3,16 do 6, co da gwarancję, iż komin po wykonaniu włomu obalającego nie „siądzie”. Zwiększenie współczynnika podporności stopy oporowej o 2,84 oznacza zwiększenie jej nośności o 118,3 MPa.

Sprawdzono, czy „najslabszym ogniwem” jest rozciąganie stali, ścinanie stali czy miażdżenie betonu pod prętem zbrojeniowym. Najslabszym ogniwem okazała się wytrzymałość stali na rozciąganie.

Aby zwiększyć współczynnik stopy oporowej do 6, należy zastosować zbrojenie zakotwione w pierwotnym płaszczu komina. Liczba prętów zbrojeniowych zależy od ich średnicy i dla średnicy 32 mm wynosi 420 (lub 335 — przy skróceniu) prętów zbrojeniowych.

W obliczeniach pominięto siłę tarcia betonu o beton, która zwiększa współczynnik nośności stopy oporowej.



Rys. 6. Schemat wzmocnienia stopy oporowej komina:
a) widok z boku, b) przekrój poziomy

2.6. Zmiana smukłości

Żelbetowe kominy o normalnej smukłości mają stosunek wysokości do średnicy u podstawy w granicach 15, jednakże stosunek wysokości do długości linii obrotu jest większy i wynosi (dla analizowanego komina $H = 170$ m) — 18,7, dla komina skróconego do 140 m — 15,4. Inaczej przedstawia się sytuacja w odniesieniu do wysokości środka ciężkości: dla komina o pełnej wysokości stosunek ten wynosi 7,47, dla skróconego — 6,15. Zastosowanie wzmocnienia stopy oporowej, jak na rysunku 6, powoduje, że stosunek ten ulega radykalnej zmianie na korzyść pewności zachowania kierunku:

- dla komina o $H = 170$ m — $S' = 12,98$;
- dla komina skróconego do 140 m — $S' = 10,68$;
- dla odniesienia do środka ciężkości komina $H = 170$ m — $S'' = 5,19$;
- dla odniesienia do środka ciężkości dla komina skróconego do 140 m — $S'' = 4,27$.

Sztuczne, celowe zwiększanie odporności stopy komina ma wpływ nie tylko na zachowanie się tejże stopy po strzale, ale też radykalnie zwiększa szanse na prawidłowy, precyzyjny upadek komina (zmniejszanie smukłości powoduje zwiększanie precyzji obalania).

3. Podsumowanie

Wyburzanie kominów jest sztuką trudną głównie dlatego, że nie można wyburzać ich „na raty” — metoda wyburzenia musi przewidzieć wszystkie negatywne skutki i pułapki i im przeciwdziałać. Komin musi zostać obalony jednym strzałem, a po strzale wykonawca nie ma już na nic wpływu. Właściwe ukierunkowanie upadku jest najtrudniejszą i najważniejszą sprawą, jaką należy prawidłowo rozwiązać w czasie wyburzania kominów.

Artykuł ten podaje kilka rozwiązań technicznie możliwych, pozwalających wykonawcy w miarę dokładnie przewidzieć wynik strzelania. W artykule celowo pominięto istotny aspekt zwiększania bezpieczeństwa i pewności zachowania kierunku po strzale: badania wytrzymałościowe i badania stanu komina przed strzelaniem. Opis metody badania i praktycznego wykorzystania wyników badań ukaże się niebawem, po dopracowaniu szczegółów.

Na zakończenie można stwierdzić, że posiadamy narzędzia umożliwiające precyzyjne obalanie kominów żelbetowych.

LITERATURA

- [1] *Batko P., Lewicki J., Morawa R.*: Metody prognozowania i minimalizacji niektórych zagrożeń przy prowadzeniu robót wyburzeniowych metodą strzałową”, Materiały konferencyjne nt. Technika strzelnicza w górnictwie, Jaszowiec ‘96, Wyd. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków 1996
- [2] *Batko P., Lewicki J.*: Wybrane problemy likwidacji kopalnianych obiektów budowlanych. Materiały konferencyjne nt. Technika strzelnicza w górnictwie, ART-TEKST, Jaszowiec 2001
- [3] *Budycz L.*: Projektowanie robót strzelniczych inżynierskich. AGH Kraków 1986 (praca dyplomowa)
- [4] *Kłoś Cz.*: Kominy. BA, Warszawa 1956
- [5] *Krzyworączka P., Lewicki J.*: Analiza możliwości wyburzenia metodami strzałowymi komina żelbetowego $H = 170$ m w Elektrowni „Chorzów”. Kraków 2004 (praca niepublikowana)
- [6] *Krzyworączka P.*: Analiza rozkładu sił i momentów przy obalaniu kominów żelbetowych metodą wybuchową. Międzynarodowa Konferencja na Słowacji pt. Trhacia Technika, Stara Leśná 2004
- [7] *Meller M., Pacek M.*: Kominy przemysłowe. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2001
- [8] PN-85/B-02170: Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki

Zatwierdzono do druku: 17.09.2004 r.