

tego przekroju oraz siły równoleżnikowe – według wzoru:

$$n_{\alpha}(z, \alpha) = -p(z, \alpha) \cdot r_s \quad (11)$$

W przypadku użycia normy [2] ciśnienie obliczeniowe wiatru p odpowiada iloczynowi $w_e \cdot \gamma_r$. Otrzymano następujące porównanie obciążeń wiatrem i sił wewnętrznych wyznaczonych według obu norm [1, 2]. Uśrednione charakterystyczne obciążenie wiatrem na wysokości 40 m wyniosło $p_k = 0,378 \text{ kN/m}^2$ według normy [1] oraz $0,473 \text{ kN/m}^2$ według [2], zaś obliczeniowe obciążenie wiatrem na tej wysokości wyniosło $p = 0,491 \text{ kN/m}^2$ według normy [1] oraz $0,710 \text{ kN/m}^2$ według [2]. Podobnie charakterystyczne ciśnienie wiatru działające na powierzchnie zewnętrzne konstrukcji (tj. w_e według [2]) na wysokości 40 m wyniosło $0,899 \text{ kN/m}^2$ według normy [1] oraz $1,456 \text{ kN/m}^2$ według [2], zaś obliczeniowe ciśnienie wiatru na tej wysokości wyniosło $1,169 \text{ kN/m}^2$ według normy [1] oraz $2,183 \text{ kN/m}^2$ wg [2]. Tym samym charakterystyczne siły równoleżnikowe n_{α} (wynoszące na tej wysokości zgodnie z normą [1] $6,49 \text{ kN/m}$) wzrastają do $10,51 \text{ kN/m}$ według [2] – tj. o 62%, zaś

obliczeniowe siły równoleżnikowe n_{α} (wynoszące na wysokości 40 m zgodnie z normą [1] $8,44 \text{ kN/m}$) wzrastają do $15,76 \text{ kN/m}$ wg [2] – tj. o 90%. Równocześnie charakterystyczne siły pionowe n_x wzrastają według normy [2] w stosunku do normy [1] mniej niż siły równoleżnikowe n_{α} – tj. o 25 %, zaś obliczeniowe siły pionowe n_x wzrastają według normy [2] w stosunku do normy [1] o 44,6%. Większy wzrost sił równoleżnikowych w stosunku do sił pionowych wynika ze wzrostu podanych w normie [2] współczynników ciśnienia zewnętrznego $c_{pe}(\alpha)$ dla walców kołowych w stosunku do normy [1] oraz mniejszej redukcji wpływu swobodnego końca (wz. (6)).

5. Wnioski

Z zestawienia sił wewnętrznych n_x i n_{α} powstających w silosach żelbetowych od wiatru wynika, że wartości charakterystyczne tych sił wyznaczone na podstawie normy [2] są znacznie większe od tego typu wartości wyznaczonych według dotychczasowej normy obciążenia wiatrem [1]. Algorytmy obliczeniowe obu

norm znacznie się różnią. Ponadto zasadnicze znaczenie ma zmiana wartości prędkości wiatru i współczynników obciążenia. Według normy [1] przyjmowano dotychczas współczynnik 1,3, podczas gdy według normy zharmonizowanej [2] współczynnik obciążenia wiatrem wynosi 1,5.

NORMY

- [1] PN-77/B-02011 Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie wiatrem
 [2] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru
 [3] Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions at annexes, règles N. V. 65 révisées 1967, Paris, Janvier 1968

BIBLIOGRAFIA

- [4] Lechman M., Obciążenie wiatrem kominów żelbetowych według wymagań norm PN-EN 1991-1-4 i PN-EN 13084, „Budownictwo w energetyce”, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej No. 90, Seria: Studia i Materiały No. 19, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008, s. 123-139
 [5] Żurański, J. A., Wpływ warunków klimatycznych i terenowych na obciążenie wiatrem konstrukcji budowlanych, Prace Naukowe Instytutu Techniki Budowlanej, ITB, Warszawa 2005

Wyburzanie wysokich obiektów stalowych z wykorzystaniem robót strzałowych

Dr inż. Ryszard Morawa, dr inż. Józef Lewicki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

1. Zagadnienia wstępne

Stalowe obiekty, które mogą podlegać wyburzeniom za pomocą robót strzałowych, można podzielić na dwie główne grupy:

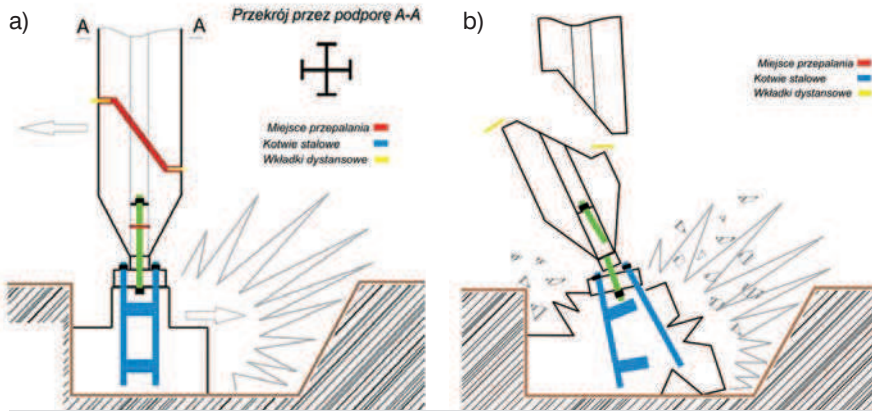
- obiekty posadowione na żelbetowych fundamentach,
- obiekty ruchome, niezwiązane z gruntem.

W pierwszej grupie można wyróżnić obiekty górnicze, energetyczne, takie jak: wieże szybowe, nadszuby, stalowe budowle w hutnictwie, hale kotłowni w elektrowniach, zbiorniki kamienia oparte na stalowych słupach, obiekty flotacji, płuczki, słupy linii przesyłowych inne podobne konstrukcje stalowe. W drugiej grupie znajdują się

ruchome maszyny, takie jak: koparki, zwałowarki, mosty przerzutowe, mosty ruchome w hutach itp.

Wyburzenie obiektów o konstrukcji stalowej dokonywane jest na kilka sposobów:

- sukcesywne rozcinanie palnikami,
- rozcinanie palnikami i ściąganie wielkich elementów liną lub dźwigiem,



Rys. 1. Schemat proponowanej metody wyburzeniowej

- obalanie strzelaniem z zastosowaniem ładunków kumulacyjnych,
- obalanie (po odpowiednim przygotowaniu) przez rozsadzenie ładunkami żelbetowych fundamentów, na których wspierają się stalowe słupy nośne likwidowanego obiektu.

Bardzo często różne obiekty stanowią zblokowane i połączone ze sobą konstrukcje. W takim przypadku możliwe jest na ogół tylko ich równoczesne wyburzenie, najczęściej nie udaje się pozostawienie jednej części obiektu w taki sposób, aby był on samodzielny statycznie. W przypadku wystąpienia możliwości równoczesnego wyburzania zblokowanych konstrukcji i obiektów stosowanie robót strzałowych jest bardzo racjonalną i bezpieczną technologią. Rozbiórka obiektów stalowych przez sukcesywne odcinanie palnikami jest niebezpieczna, gdyż wycinanie poszczególnych ele-

mentów konstrukcji rozpoczyna się od najwyższych położonych, a zdejmowanie z dużych wysokości niektórych odciętych elementów jest często trudne i ryzykowne (gwałtowne oderwanie elementu konstrukcji). Bardzo często przecinanie konstrukcji stalowych wykonuje się stosując różnego rodzaju ładunki kumulacyjne. Stosowanie ładunków kumulacyjnych pociąga za sobą pewne zagrożenia dla otoczenia ze względu na ogromną szybkość odłamków stalowych oraz ze względu na powstawanie powietrznej fali uderzeniowej o dużej energii. Skuteczność ładunków kumulacyjnych dla przecięcia konstrukcji może okazać się niekiedy niewystarczająca (zła detonacja MW, naruszony ładunek kumulacyjny na konstrukcji itp.), a wtedy częściowo podcięty element może stwarzać duże zagrożenie dla bezpieczeństwa prowadzonych robót rozbiórkowych. W wielu przypad-

kach ta metoda jest jedyną możliwą do zastosowania ale wymagającą dużego doświadczenia używania ładunków kumulacyjnych do cięcia stali.

Większość budowli o konstrukcji stalowej oparta jest na żelbetowych fundamentach, stąd też dużą skuteczność ich wyburzenia uzyskać można wykonując roboty strzałowe w tych fundamentach oraz podcinając w specjalny sposób słupy stalowe nad fundamentami. Skuteczność wyburzeń konstrukcji żelbetowych metodami wybuchowymi jest znacznie większa niż w przypadku konstrukcji stalowych.

Zaproponowano więc oryginalną i uniwersalną metodę wyburzeń i rozbiórek stalowych konstrukcji przestrzennych z wykorzystaniem technik wybuchowych, polegającą na przygotowaniu konstrukcji stalowej do obalenia przez specjalne podcięcia słupów (rys. 1a), a następnie na wyburzeniu ładunkami wybuchowymi samych fundamentów żelbetowych (rys. 1b), do których kotwione są te słupy. Zaletą tej metody jest to, że unika się w ten sposób rozrzutu elementów konstrukcji stalowej i wielkiej fali nadciśnienia. Metoda ta została zastosowana w wielu przypadkach ze znakomitym skutkiem i z zapewnieniem bezpieczeństwa otoczenia. Wyburzenie konstrukcji stalowych tą metodą pokazano schematycznie na rysunku 1.



Fot. 1. Przykład podcięcia słupa stalowego przed wyburzeniem fundamentu



Fot. 2. Roboty przygotowawcze przed robotami strzałowymi

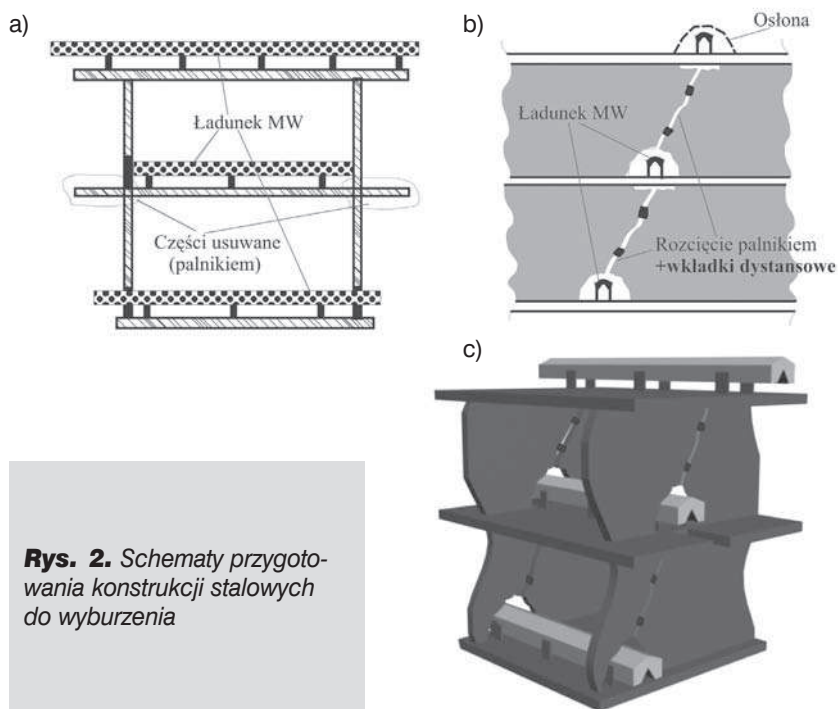
2. Wybrane szczegóły wykonawcze

Stalowe obiekty przeznaczone do wyburzenia to często złożone ustroje przestrzenne o bardzo zróżnicowanych przekrojach poprzecznych ich słupów. Najczęściej słupy te są mocowane do cokołów fundamentów za pomocą śrub kotwiących. Słupy mogą mieć niezależne fundamenty stopowe, ale też mogą być oparte na wspólnej ławie fundamentowej w poszczególnych rzędach lub też być oparte na jednej, wspólnej płycie fundamentowej. W wyburzeniowych technikach wybuchowych ważną zasadą jest ustalenie kierunku runięcia (obalenia) demontowanej konstrukcji. Wysokie i smukłe obiekty poddają się dość łatwo obaleniu w konkretnym kierunku. W obiektach krępych o dużym stosunku szerokości do wysokości niezbędne jest niekiedy wykonanie odpowiednich rozcięć w płaszczyznach pionowych wyburzanej konstrukcji.

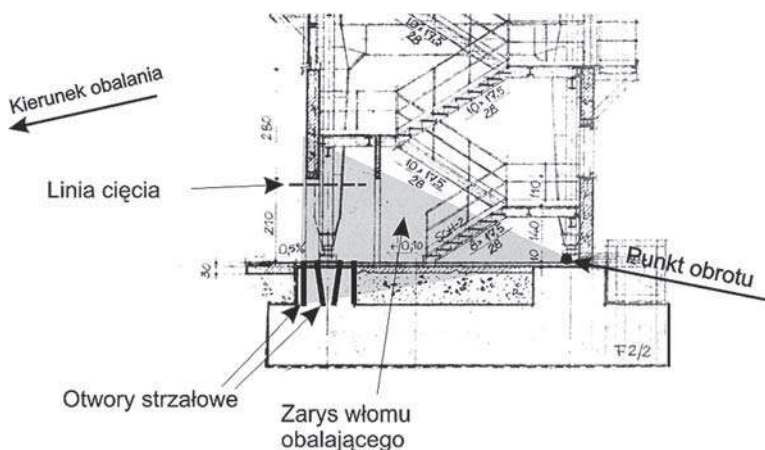
Poniżej przedstawiono podstawowe zabiegi techniczne, towarzyszące procesowi wyburzania kierunkowego stalowej konstrukcji ze słupami rozmieszczonymi w dwóch rzędach I i II. Widok robót przygotowawczych w tej konstrukcji przedstawiono na fotografiach 1 i 2.

Kolejność zabiegów technicznych, związanych z wyburzeniem stalowej konstrukcji podpartej na słupach rozmieszczonych w dwóch rzędach (fot. 2) była następująca:

- odstąpienie koparką fundamentów słupów I rzędu, który będzie pełnił rolę tzw. włomu,
- wykonanie otworów strzałowych w fundamentach słupów I rzędu,
- wykonanie poziomych podcięć palnikami w słupach stalowych (fot. 1) na wysokości 2 – 2,5 m nad gruntem i włożenie stalowych wkładek dystansowych w te podcięcia (aby uniknąć przemieszczeń konstrukcji),
- odcięcie lub odkręcenie nakrętek w śrubach kotwiących w 2-gim, tylnym rzędzie,



Rys. 2. Schematy przygotowania konstrukcji stalowych do wyburzenia



Rys. 3. Schemat kierunkowego obalenia konstrukcji stalowej

- osadzenie ładunków w otworach w żelbetowych fundamentach w rzędzie I i zabezpieczenie ich przed rozrzutem,
 - wykonanie niepełnych ukośnych przecięć palnikami w słupach stalowych 2-giego rzędu i włożenie w nie wkładek dystansowych, pozostawiając jeden niewielki fragment przekroju poprzecznego w każdym słupie,
 - odpalenie ładunków.
- Jednym z poważnych problemów przy wyburzaniu wielkogabarytowych obiektów stalowych jest uderzenie upadającej konstrukcji o podłoże. Energia uderzenia

jest niejednokrotnie bardzo duża, co jest źródłem wywołania fali parasejsmicznej, powodującej drganie obiektów w rejonie prowadzonych prac. Energia upadku niejednokrotnie przewyższa energię detonowanych ładunków MW. Konstrukcje stalowe tworzą także sztywny wzajemnie powiązany układ, co sprawia, że w po runięciu (obaleniu) tych konstrukcji na podłoże wysokość utworzonego zwału równa się szerokości obalanego obiektu. Sytuacja taka jest bardzo niekorzystna dla dalszego, koniecznego etapu rozcinania powalonej konstrukcji.

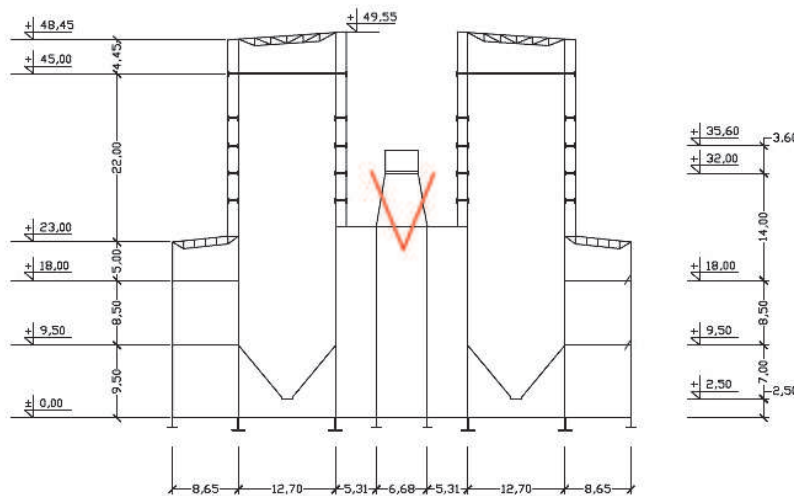
Stąd też dla zmniejszenia niekorzystnego oddziaływania energii upadku na otoczenie oraz zmniejszenia wysokości utworzonego zwału, stosuje się tzw. zmiekczenie konstrukcji stalowej, polegające na uprzednim specjalnym przecięciu poziomych belek nośnych konstrukcji wyburzanej. Zasadę tego zabiegu pokazano schematycznie na rysunku 2. Tak przygotowana i osłabiona w odpowiednich płaszczyznach stalowa konstrukcja będzie się łatwiej łamać, co zapewni łagodniejsze uderzenie o podłoże i zmniejszy wysokość powstałego zwału po upadku (konstrukcja lepiej się złoży). Stosując takie właśnie rozwiązania technologiczne, wykonano wyburzenia i rozbiórki wysokich stalowych obiektów budynków kotłowni wraz z kotłami w Elektrowni Chorzów, w Elektrowni Konin, obiekty w Zakładach Metalurgicznych w Skawinie, koparki i zwałowarki w wielu kopalniach odkrywkowych. Prace związane z końcowym rozcinaniem obalanej konstrukcji stalowej muszą mieć na uwadze fakt, że w obalanej konstrukcji może występować duża kumulacja naprężeń wewnętrznych wywołanych zginaniem. Prace te trzeba prowadzić bardzo ostrożnie i pod fachowym nadzorem, gdyż zagrożenie wypadkowe dla robotników jest w tym przypadku bardzo realne.

3. Przykład wyburzenia kotła w Elektrowni Konin

Zasada obalania kierunkowego (rys. 3) konstrukcji stalowych została zastosowana podczas wyburzania kotła w Elektrowni Konin. Stalowy kocioł o wysokości 52 m i masie 6304 Mg oparty był na 6 słupach głównych (rys. 4) i kilkunastu słupach hali z którą był połączony.

Do wyburzenia (obalenia) obiekt był odpowiednio przygotowany. Wykonano dylatację (3 m) między stalowymi elementami kotła a żelbetowymi elementami bun-

Likwidowana kotłownia-przekrój pionowy A - A



Rys. 4. Schematyczny układ słupów stalowych i miejsc przecięć (—) wyburzanego kotła

krowni. Przecięto termicznie belki blachownic nośnych na wysokości pierwszego piętra tak, by ułatwić ich zginanie. Przecięto stężenia pomiędzy słupami oraz przecięto wszystkie słupy pośrednie tak, aby przenosiły tylko obciążenia pionowe ściskające. Założono ładunki dynamitu w podporach żelbetowych słupów I rzędu, których celem było pokruszenie i rozrzućenie tych fundamentów. W tak powstała wyrwę osunęły się nośne słupy I-ego rzędu, co spowodowało przechylenie i runięcie (obalenie) kotła. Upadek kotła wywołał tylko nieznaczne drgania sąsiednich obiektów i tym samym nie zakłócił eksploatacji innych bloków elektrowni.

Kilka dni po wyburzeniu kotła pokazanego na rysunku 4 wykonano wyburzenie kolejnego, sąsiedniego kotła w tej elektrowni stosując tę samą metodę wyburzeniową.

4. Podsumowanie

Przedstawiona metoda wybuchowej likwidacji (wyburzenia) wysokich obiektów budowlanych o konstrukcji stalowej posiada wiele zalet w porównaniu z innymi metodami rozbiórki podobnych obiektów. Do tych zalet należą m.in. krótki

czas wykonania prac wyburzeniowych i ich stosunkowo niski koszt. Opracowane są też szczegółowe instrukcje prowadzenia tych prac [1], co sprawia, że nie zagrażają one bezpieczeństwu ludzi i nie zakłócają eksploatacji sąsiednich obiektów. Prace nad udoskonaleniem tej metody trwają nadal w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

BIBLIOGRAFIA

[1] Lewicki J. i inni: Metody prognozowania i minimalizacji niektórych zagrożeń przy prowadzeniu robót wyburzeniowych metodą strzałową. Materiały Konferencji „Technika strzelnicza w górnictwie”, Jaszowice 1996

Praca niniejsza została wykonana w ramach grantu nr 18.18.100.289 na temat „Określenie warunków stosowania technologii strzelania w budownictwie uwzględniających zapobieganie zagrożeniom środowiska”.