



EUGENIUSZ HOTAŁA, *hotala@hesko.pl*  
Politechnika Wroclawska

## USZKODZENIA KONSTRUKCJI OBIEKTÓW ELEKTROWNI WSKUTEK WYBUCHU PYŁÓW

### STRUCTURAL DAMAGE OF POWER STATION BUILDINGS AS A RESULT OF DUST EXPLOSION

**Streszczenie** Przedstawiono przebieg i skutki wybuchu pyłów w budynkach jednej z elektrowni węglowych, w której razem z węglem spalano również biomasę. Zapłon i wybuch pyłu w jednym z budynków rozprzestrzenił się na dużą liczbę innych budynków, wywołując w nich lokalne pożary i poważne uszkodzenia konstrukcji. Wskazano na poważne zagrożenia uszkodzenia stalowych konstrukcji obiektów już w początkowej fazie rozwoju pożaru.

**Abstract** The course and consequences of dust explosion in buildings of one of coal power stations, in which the coal has been burned with biomass as well, have been presented. An ignition and explosion of dust in one of the buildings has spread to a number of other buildings causing in them serious local fire and structural damages. The study indicated a serious threat of damages to steel structures already in the early stage of fire.

#### 1. Wprowadzenie

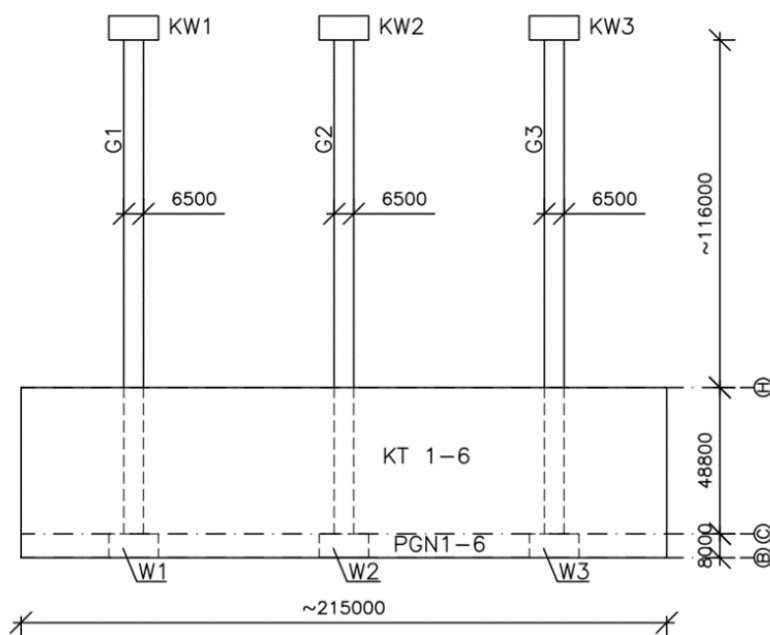
Wybuchy pyłów i powstałe po nich pożary w obiektach elektrowni węglowych zdarzają się od czasu do czasu i mają przeważnie dość poważne skutki [1], [2]. Nierzadko w takich sytuacjach dochodzi do utraty zdrowia lub życia ludzi, a straty materialne są z reguły bardzo znaczne. Zagrożenie wybuchem w polskich elektrowniach po roku 2005 wzrosło wyraźnie z powodu wykorzystywania różnych rodzajów biomasy do spalania jej razem z węglem kamiennym lub brunatnym. Pył biomasy łatwiej niż sam węgiel tworzy chmurę wybuchową, łatwiej ulega zapłonowi i w przypadku mieszania węgla z biomasą wybuchu w pierwszej kolejności. W istniejących obiektach budowlanych, związanych ze składowaniem, przeróbką i transportem węgla do palenisk kotłów energetycznych, występują powszechnie bezpośrednie połączenia przestrzeni w tych obiektach za pośrednictwem ciągów transportowych, w tym galerii przenośnikowych (rys. 1). Z tego powodu wybuch mieszanki pyłowo-powietrznej w jednym z obiektów przenosi się szybko do większości pozostałych obiektów, zwielokrotniając szkody związane z lokalnym wybuchem. Wraz z wykorzystywaniem biomasy do współspalania jej z węglem nie nastąpiły niestety stosowne przebudowy tzw. ciągów nawęglania i dostosowania konstrukcji obiektów w elektrowniach do wyraźnie zwiększonego zagrożenia wybuchem pyłów biomasy pochodzenia rolnego lub leśnego. Potwierdzają to wyniki kontroli Państwowej Inspekcji Pracy z ostatnich lat.

W niniejszym referacie przedstawiono przykład bardzo poważnych uszkodzeń obudowy i częściowego uszkodzenia konstrukcji nośnej budynku kotłowni 6-ciu bloków energetycznych KT1-KT6 (rys. 1), dwóch ukośnych galerii transportowych G1, G2 i dwóch budynków kruszarek węgla KW1, KW2, które wystąpiły wskutek rozległego wybuchu pyłów transportowanej biomasy oraz wskutek lokalnych pożarów. Do tej pory nie ustalono jednoznacznie, gdzie było miejsce inicjacji wybuchu i jak przebiegała fala wybuchowa.

## 2. Uszkodzenia elementów lekkiej obudowy ściennej obiektów

Wybuch pyłów biomasy miał miejsce w jednej z elektrowni po zakończeniu pracy na drugiej zmianie w bardzo upalny lipcowy dzień. Fala wybuchowa rozprzestrzeniła się szybko wewnątrz budynków kruszarek węgla KW1, KW2 (rys. 1) oraz w całym budynku kotłowni KT1-6 poprzez ukośne galerie transportowe węgla i biomasy G1, G2 oraz tzw. poziomą galerię nawęglania PGN1-6, zlokalizowaną wewnątrz budynku kotłowni.

Fala wybuchowa o bardzo dużej wartości nadciśnienia spowodowała całkowite zniszczenia lub poważne uszkodzenia ok. 25% powierzchni ścian i dachów wymienionych wyżej obiektów. W budynkach kruszarek oraz budynku kotłowni zastosowane były lekkie, ocieplane obudowy, złożone z kaset ściennych o wysokości 110 mm, wełny mineralnej o grubości 8÷10 cm oraz zewnętrznej powlekanej blachy fałdowej o wysokości fali 55 mm. Ukośne galerie transportowe miały nieocieplane obudowy, wykonane z powlekanych blach fałdowych. Nadciśnienie wybuchowe wewnątrz obiektów objętych wybuchem spowodowało wyrwanie wielu kaset ściennych ze słupów konstrukcji wsporczej razem z blachami fałdowymi (rys. 2), a niekiedy oderwane zostały tylko zewnętrzne blachy fałdowe, a kasety pozostały na swoim miejscu. W wielu kasetach, które nie zostały oderwane oraz w tych częściach ścian, w których nie doszło do wyrwania zewnętrznych blach fałdowych, stwierdzono częściowe uszkodzenia lub poluzowania łączników kaset ze słupkami obudowy (rys. 3). W normalnych warunkach eksploatacyjnych nie występuje z reguły parcie od wewnątrz obiektu na kasety ścienne, a obciążenie wiatrem przekazywane jest poprzez blachy fałdowe na żebra kaset, a nie na ich całą powierzchnię wewnętrzną, jak to miało miejsce podczas działania nadciśnienia wybuchowego wewnątrz uszkodzonych budynków.



Rys. 1. Usytuowanie obiektów elektrowni, uszkodzonych wskutek wybuchu pyłów (bez KW3 i G3)



Rys. 2. Ogólny widok uszkodzeń fragmentu obudowy ściennej budynku kotłowni



Rys. 3. Widok fragmentu pozostającej obudowy ściennej z uszkodzonym łącznikiem dolnej kasety



Rys. 4. Odgięte do góry zimnogięte płatwie dachu wraz z obudową w ukośnej galerii transportowej

W nieocieplonych obudowach dachów i ścian ukośnych galerii transportowych G1, G2 (rys. 1) wiele blach trapezowych zostało oderwanych i rozrzuconych po otaczającym terenie, a niekiedy uszkodzone zostały też źle zamocowane płatwie dachowe (rys. 4) lub rygle ścienne.



Wybuch pyłów ujawnił różne wady projektowe lub wykonawcze, choć słabe konstrukcje elementów obudów ściennych i dachowych sprzyjały ochronie głównej konstrukcji nośnej obiektów przed poważnymi uszkodzeniami wskutek dużego nadciśnienia wybuchowego.



Rys. 5. Widok fragmentu uszkodzeń pokrycia dachu budynku kotłowni

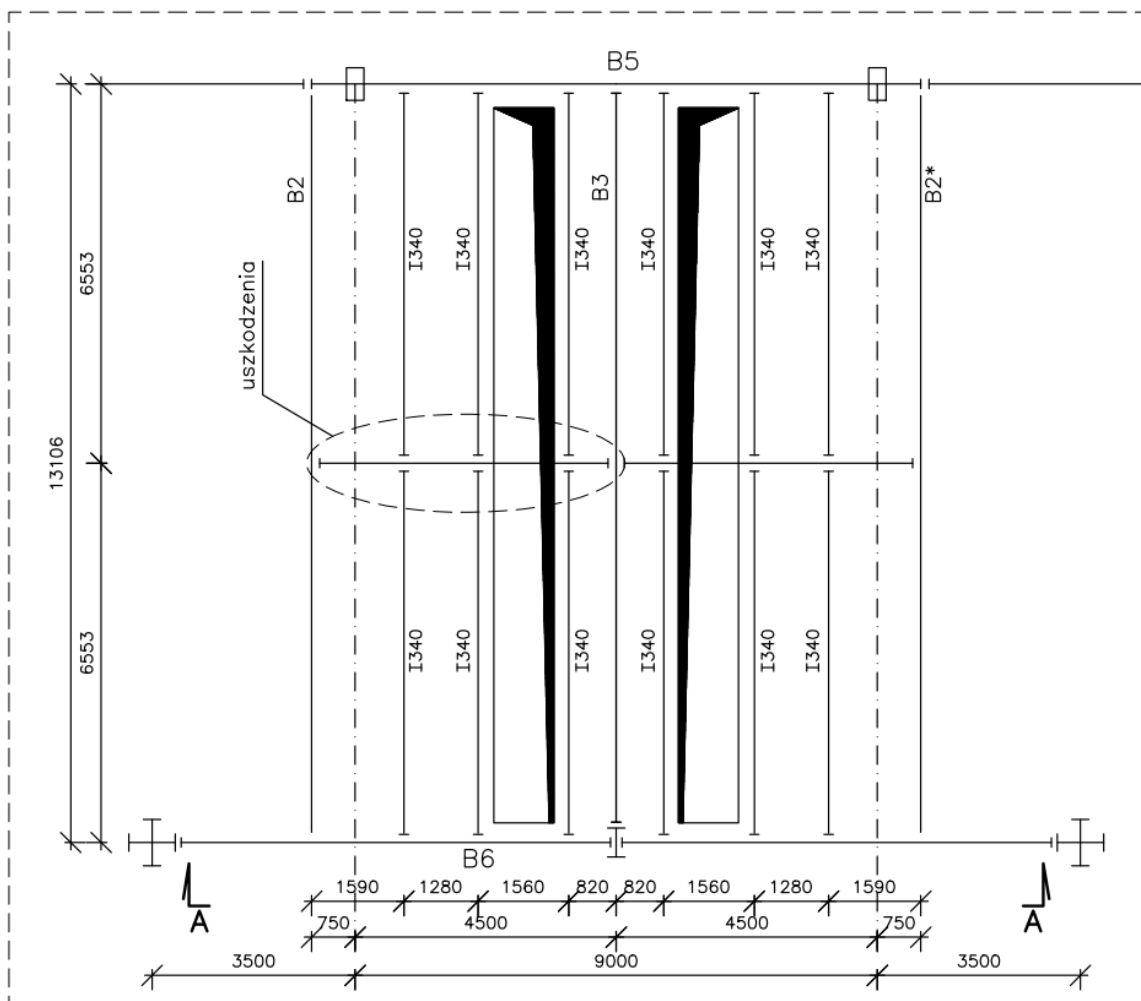
Nadciśnienie wywołane serią wybuchów pyłów wystąpiło w całym budynku kotłowni, a więc od poziomu parteru do poziomu ok. +65 m w części poddachowej. Dość duża część pokrycia dachowego została wyrwana do góry (rys. 5), odsłaniając stalową konstrukcję nośną poddachowej części budynku. Przekrycie dachowe w jednej części budynku wykonane było ze stalowych paneli korytkowych HMS, pokrytych pianką PUR, a w innej części dachu zastosowano blachy fałdowe z ociepleniem wełną mineralną i pokryciem papowym. W przeważających częściach obiektów nie doszło do przegrzania ich głównych konstrukcji nośnych, a ślady lokalnych pożarów widoczne były gdzieś jedynie w postaci sadzy na powierzchniach stalowych elementów konstrukcyjnych.

### 3. Uszkodzenia głównych konstrukcji nośnych

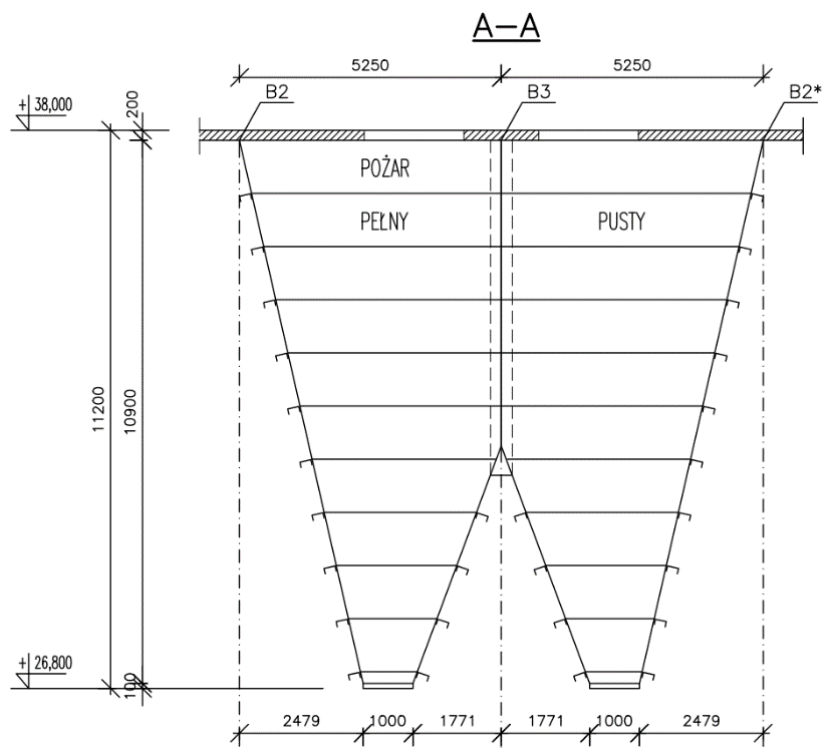
Stalowe, szkieletowe konstrukcje nośne wszystkich obiektów, w których wystąpiło nadciśnienie wybuchowe, zostały uszkodzone jedynie lokalnie w dwóch miejscach kotłowni. Jedno z uszkodzeń miało miejsce w górnej, poddachowej części wieży przesypowej W2 (rys. 1, 6), gdzie zlokalizowane są stacje napędowe taśmociągów ukośnej galerii G2. Wskutek mocowania słupków obudowy do głównych rygli poddachowych bez zastosowania odpowiednich stężeń dachowych, wystąpiły znaczne plastyczne deformacje tych dwuteowych rygli w płaszczyźnie poziomej (rys. 6) podczas działania nadciśnienia wewnętrznego na ściany osłonowe wieży przesypowej W2. Rygle poddachowe tej części budynku kotłowni wymagały poważnych, dość skomplikowanych napraw i wzmocnień.



Rys. 6. Widok uszkodzeń głównej konstrukcji nośnej poddachowej części wieży W2 (wg rys. 1)



Rys. 7. Widok fragmentu konstrukcji stropu +38 m nad dwoma zasobnikami węgla



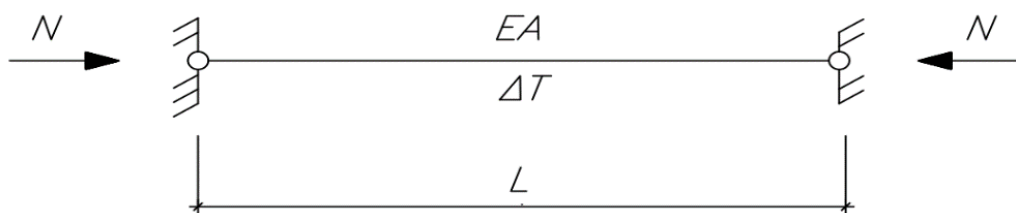
Rys. 8. Widok przekroju pionowego zasobników węgla wg oznaczenia na rys. 7



Rys. 9. Widok zniszczonego połączenia śrubowego belki I340 (strona prawa) z belką główną B3 (strona lewa) wg oznaczeń na rys. 7, 8

Poważnym uszkodzeniom uległa stalowa konstrukcja stropu +38 m nad jednym z zasobników węgla (rys. 7, 8), w którym po wybuchu pyłów wystąpił lokalny pożar. Zasobnik ten był pełny, a sąsiedni zasobnik był pusty (rys. 8). Krótkotrwały pożar w zasobniku spowodował podgrzanie stalowych belek stropu +38 m, wykonanych z dwuteowników I340, a brak pełnej swobody odkształceń podłużnych tych belek spowodował wystąpienie w nich dużych sił podłużnych, które doprowadziły do ścięcia śrub M24 (rys. 9) w wielu połączeniach belek I340, zaznaczonych obwódką na rys. 7.





Rys. 10. Schemat statyczny podgrzewanej belki stropu +38 m



Rys. 11. Plastyczne ugięcie belki stropu +41,5 m nad zasobnikiem +38 m wskutek przegrzania

W większości stalowych konstrukcji obiektów początek poważnych uszkodzeń elementów w czasie pożaru następuje już na początku podgrzewania konstrukcji, jeszcze znacznie poniżej tzw. normowej temperatury krytycznej, wynoszącej ok.  $500^{\circ}\text{C}$ . Taka sytuacja miała również miejsce w przypadku belek stropu +38 m (rys. 7, 8, 9). Belka dwuteowa I340 (oznaczona obwódką na rys. 8) o długości  $L = 5250$  mm (rys. 10) podgrzana podczas pożaru o ok.  $30^{\circ}\text{C}$  wydłużyła się o ok. 2 mm, a więc skasowane zostały luzy w zakładkowych połączeniach śrubowych ( $3 \times \text{M}24-4.8$  – rys. 9). Przy dalszym wzroście temperatury o ok.  $32^{\circ}\text{C}$  swobodne wydłużanie się tej belki nie było już możliwe, a zatem pojawiły się w niej ściskające, normalne naprężenia podłużne o wartości ok. 76 MPa, co skutkowało powstaniem siły osiowej w belce o wartości  $N \approx 656$  kN (rys. 10), która była ponad dwukrotnie większa od obliczeniowej nośności jej połączenia śrubowego. Ścięcie śrub mogło więc nastąpić już przy wzroście temperatury belki o  $\Delta T \approx 62^{\circ}\text{C}$ , a więc osiągnięciu przez nią realnej temperatury nieco poniżej  $100^{\circ}\text{C}$ . Dwuteowe belki stropu +38 m ze zniszczonymi połączeniami śrubowymi opadły o ok. 17 mm w dół i oparły się swoimi półkami górnymi na żeberkach, do których były mocowane śrubami M24, przed ścięciem tych śrub. To przypadkowe podparcie belek stropu uchroniło pełny i ciężki zasobnik przed runięciem w dół pomieszczeń kotłowni, co poważnie ograniczyło zasięg i rozmiar uszkodzeń konstrukcji budynku kotłowni. Uszkodzone belki I340 stropu +38 m stężyły przecież główne belki B2, B3, B5 i B6 (rys. 7), na których zawieszony były dwa duże zasobniki węgla.

Powyższy przypadek pokazuje, że wiele uszkodzeń stalowych konstrukcji podczas przebiegu pożaru może wystąpić już we wczesnym jego stadium, znacznie wcześniej niż nastąpi nagrzanie konstrukcji do temperatury krytycznej. Dość często takim wczesnym uszkodzeniom podczas pożaru ulegają elementy obudowy, a więc płatwie dachowe [1] i rygle ścienne oraz

rygle ram i belki stropowe. Uszkodzenia te związane są ze zwykłym zjawiskiem powstawania dużych sił osiowych w prętowych konstrukcjach, wynikającym z ograniczonej swobody rozszerzalności termicznej prętów konstrukcji, jeszcze przy stosunkowo małych wzrostach ich temperatur.

Na rys. 11 przedstawiono fragment stalowej belki stropu +41,5 m, zlokalizowanej bezpośrednio nad zasobnikiem +38 m, w którym wystąpił krótkotrwały pożar. Belka to o rozpiętości 9,0 m wykazywała plastyczne ugięcie o wartości maksymalnej  $f = 8$  cm, nie wykazując przy tym objawów deformacji bocznych i skrętnych. Strop żelbetowy podczas modernizacji konstrukcji kotłowni wykonany został na szalunku traconym z blach fałdowych, opartych na półce górnej tej belki, podobnie jak w pozostałych stropach budynku. Płyta żelbetowa stropu nie chroniła więc półki górnej tej dwuteowej belki przed nagraniem, gdyż do tej półki przylegały jedynie stopki fałd blach trapezowych. Płyta żelbetowa stropu nie opadła w dół w ślad za ugięciem belki, stąd była możliwa stosunkowo prosta jej naprawa.

#### 4. Podsumowanie

Wybuchy pyłów w kilku budynkach elektrowni spowodowały bardzo duże uszkodzenia lekkich ścian osłonowych i dachów tych obiektów. Wywołały one również niezbyt rozległe, lokalne uszkodzenia głównej, stalowej konstrukcji nośnej budynku kotłowni. Straty materialne wywołane zniszczeniami obiektów oraz ich czasowym wyłączeniem z eksploatacji były znaczne. Dość szybko włączono do eksploatacji 2 najbardziej uszkodzone bloki energetyczne, a cała kotłownia bl. 1÷6 oraz pozostałe obiekty były eksploatowane warunkowo z tymczasowymi osłonami ściennymi i dachowymi. W wyniku przeprowadzonych robót naprawczych i remontowych udało się przywrócić pełną sprawność eksploatacyjną wszystkich uszkodzonych obiektów budowlanych w ciągu 4 miesięcy.

Przedstawiony przypadek rozległych uszkodzeń bardzo wielu obiektów budowlanych (w tym również instalacji technologicznych) wskutek powstania lokalnego wybuchu pyłów w jednym z obiektów wskazuje na niedostosowanie tzw. ciągów nawęglania do transportu biomasy pochodzenia rolnego i leśnego i jej współspalania z węglem. Istnieje więc poważne ryzyko wystąpienia kolejnych awarii i katastrof obiektów budowlanych w podobnych elektrowniach, które spalają w kotłach energetycznych biomasę wraz z węglem.

Przedstawiono przykład poważnych uszkodzeń stalowej konstrukcji nośnej stropów budynku w wyniku stosunkowo niewielkiego wzrostu temperatury w początkowej fazie lokalnego pożaru w zasobniku węglowym. Ten i inne podobne przykłady [1] wskazują wyraźnie na potrzebę uwzględniania wzrostu temperatury w początkowym stadium pożaru w analizach odporności ogniowej stalowych konstrukcji budowlanych, gdyż dość często poważne uszkodzenia i awarie takich konstrukcji występują znacznie wcześniej niż nastąpi osiągnięcie temperatury krytycznej w elementach konstrukcyjnych.

#### Literatura

1. Hotała E, Rykaluk K.: Nośność stalowych konstrukcji hak maszynowni bloków energetycznych w warunkach pożaru. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej nr 27, Seria Konferencje, Wrocław 2000, s. 63-70.
2. Paczkowska T., Popiel P.: Uszkodzenia dźwigara kratowego wywołane wybuchem i jego naprawa. Materiały XXV Konferencji Naukowo-Technicznej „Awaryje Budowlane“, tom 2, Szczecin-Międzyzdroje 2011, s. 857-864.