

Ocena skutków rozbudowy elektrowni na stan bezpieczeństwa istniejącej chłodni kominowej

Mgr inż. Tomasz Kasprzak, prof. dr hab. inż. Piotr Konderla, dr hab. inż. Ryszard Kutylowski, dr inż. Grzegorz Waśniewski, Politechnika Wrocławska

1. Wprowadzenie

Przedmiotem analizy jest żelbetowa chłodnia kominowa o całkowitej wysokości 132 m. Wysokość powłoki kominowa wynosi 124, wysokość wsporczyj konstrukcji prętowej w obszarze okien wlotu powietrza jest równa 8 m. Średnica powłoki chłodni na krawędziach dolnej i górnej wynosi odpowiednio 100,00 m i 57,88 m. Widok, zasadnicze wymiary oraz schemat statyczny chłodni pokazano na rys. 1.

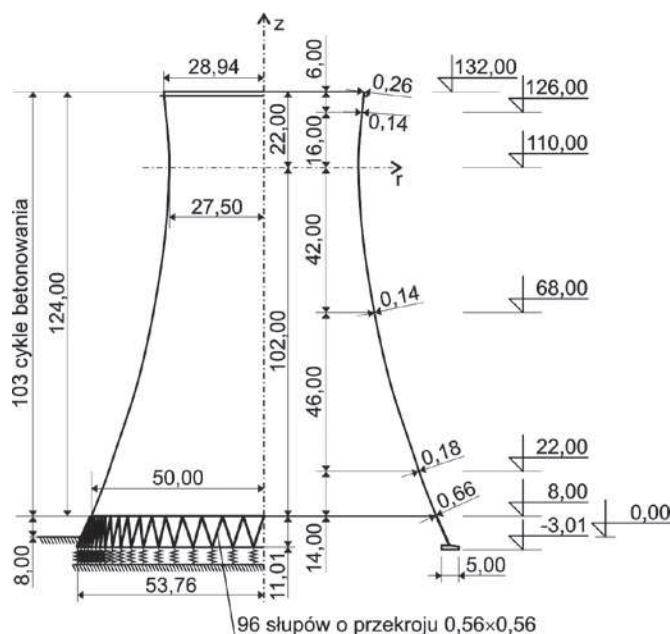
W wyniku rozbudowy elektrowni powstały nowe obiekty o znacznych rozmiarach, znajdujące się w sąsiedztwie istniejących obiektów (rys. 3). Znaczne gabaryty oraz usytuowanie

tych obiektów wpływa na zasadniczą zmianę oddziaływania aerodynamicznego wiatru na analizowaną chłodnię kominową. Z tego powodu zaistniała konieczność sprawdzenia stanu bezpieczeństwa tej konstrukcji w nowych warunkach pracy. Poziome obciążenia wiatrem przyjęto na podstawie badań modelowych przeprowadzonych w tunelu aerodynamicznym. Ocenę przeprowadzono uwzględniając aktualny stan techniczny budowli. W celu jego określenia przeprowadzono polowe i laboratoryjne badania materiałowe oraz geodezyjne pomiary geometrii. Na ich podstawie wykonano analizy statyczno-wytrzymałościowe

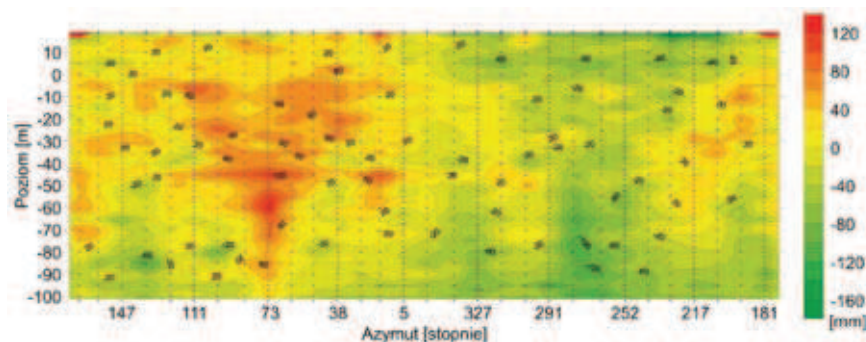
i określono wyężenie konstrukcji. Zaproponowano wzmocnienie obszarów konstrukcji o niedostatecznej nośności.

2. Badania chłodni

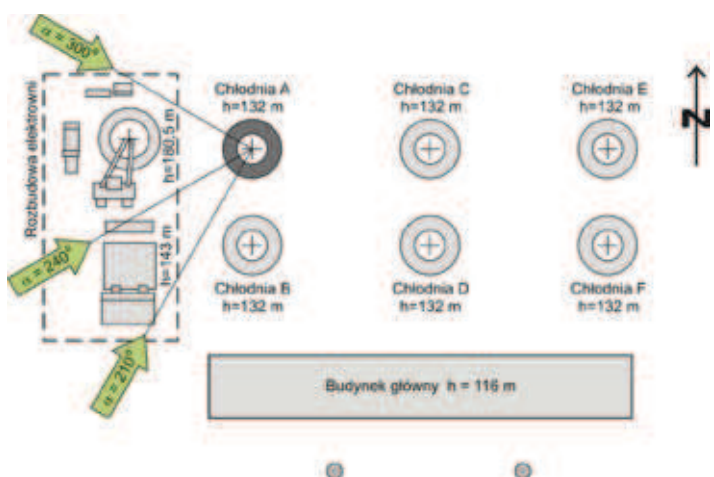
W ramach badań dokonano wizualnej oceny stanu powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej płaszcza chłodni oraz słupów. Na ich podstawie sporządzono inwentaryzację występujących uszkodzeń oraz wykonano ich dokumentację fotograficzną. Na podstawie badań laboratoryjnych próbek rdzeniowych, badań pull-off, pull-out i sklerometrycznych wykonanych in situ oraz badań ul-



Rys. 1. Widok oraz schemat statyczny chłodni



Rys. 2. Mapa izolinii imperfekcji geometrycznych



Rys. 3. Plan sytuacyjny obiektów elektrowni

Tabela 1. Wartości współczynnika interferencji aerodynamicznej

azymut wiatru	F_i	
	stateczność	wyężenie
$\alpha = 300^\circ$	1,17	1,14
$\alpha = 240^\circ$	1,16	1,20
$\alpha = 210^\circ$	1,27	1,14

tradźwiękowych wyznaczono parametry fizyczno-mechaniczne betonu oraz poziom zawartości szkodliwych związków chemicznych. W szczególności określono klasy betonu: C25/30 dla powłoki chłodni oraz C20/25 dla pierścienia fundamentowego. W miejscach odwiertów rdzeniowych zmierzono grubość ścianki powłoki, która nieznacznie różni się od wartości projektowych.

Na podstawie precyzyjnych pomiarów geodezyjnych wyznaczono rzeczywistą geometrię płaszcza powłoki. Mapę imperfekcji względem geometrii projektowej przedstawiono na rysunku 2.

Współczynnik interferencji aerodynamicznej F_i wyznaczono na podstawie

badania modelowych w tunelu aerodynamicznym [1]. Wartości współczynnika interferencji dla wybranych niekorzystnych kierunków działania wiatru przedstawiono w tabeli 1.

3. Analiza statyczna

3.1. Model fizyczny i model obliczeniowy

Płaszcz kominu wywiewnego chłodni łącznie z elementami korony przyjęto jako cienkie powłoki Kirchhoffa–Love. Słupy podbudowy oraz pierścien fundamentowy modelowano jako belki Bernoulliego. Przyjęto pełne zamocowanie słupów w płaszczu powłoki i pierścieniu fundamentowym. Podparcie na gruncie budowlanym przyjęto jako sprężyste. Parametry podłoża wyznaczono na podstawie parametrów geotechnicznych podłoża gruntowego pod chłodnią. Analizę statyczną wykonano dla rzeczywistej geometrii powłoki z uwzględnieniem pomierzonych imperfekcji oraz przyjmując do obliczeń wszystkie przewidziane

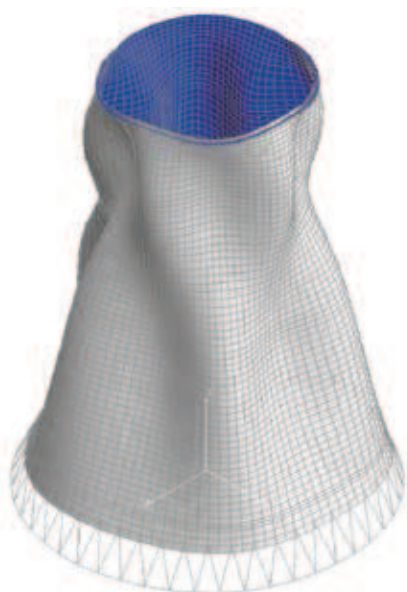
dla takiej konstrukcji obciążenia normowe. Obciążenie wiatrem rozpatrywano dla azymutów podanych na rysunku 3. Rozważano następujące sytuacje obciążenia termicznego: chłodnia użytkowana zimą, chłodnia użytkowana latem, zimowa przerwa technologiczna oraz promieniowanie słoneczne wyznaczane wg [2].

Analizy numeryczne przeprowadzono metodą elementów skończonych. W modelu dyskretnym dźwigiary powłokowe zostały podzielone na płaskie elementy skończone powłokowe, natomiast elementy belkowe na prostoliniowe elementy prętowe. Konstrukcja podparta jest na sprężystych więziach translacyjnych na poziomie pierścienia fundamentowego. Przyjęty do analizy model dyskretny MES widoczny jest na rysunku 4.

3.2. Stateczność konstrukcji

Rozwiązano zagadnienie stateczności początkowej. Mnożnik obciążenia krytycznego λ jest współczynnikiem bezpieczeństwa ze względu na utratę stateczności. W analizie stateczności wzięto pod uwagę jedynie kombinacje charakterystycznych wartości obciążeń ciężarem własnym i wiatrem. Rozważano trzy wyróżnione kierunki obciążenia wiatrem jak to pokazano na rysunku 3. Ze względu na znaczną degradację betonu w górnej części powłoki obliczenia wykonano dla czterech modeli rozkładów grubości powłoki, i tak: w modelu 1 przyjęto grubości projektowe; w modelach 2, 3 i 4 grubości projektowe, w powłoce powyżej poziomu 68 m, zmniejszono odpowiednio o 1, 2, 3 cm.

Wyniki analizy zestawione są w tabeli 2. Zgodnie z oczekiwaniami w miarę zmniejszenia się grubości powłoki współczynnik bezpieczeństwa z uwagi na wyboczenie maleje, niemniej redukcja tego współczynnika nie jest znacząca. Formy wyboczenia dla poszczególnych modeli są podobne. Przykładowo formę wyboczenia dla modelu 1 i kierunku parcia wiatru wzdłuż azymutu $\alpha = 300^\circ$ przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Forma wyboczenia

3.3. Nośność graniczna konstrukcji

W wyniku rozwiązania zagadnienia statycznego otrzymuje się siły przekrojowe w powłoce: $n_{11}, n_{22}, n_{12} = n_{21}$ oraz momenty: $m_{11}, m_{22}, m_{12} = m_{21}$. Na ich podstawie wyznacza się miarodajne przekrojowe siły normalne i momenty zginające, będące podstawą wymiarowania

$$\begin{aligned} n_1 &= n_{11} + \text{sgn}(n_{11}) \cdot |n_{12}| \\ n_2 &= n_{22} + \text{sgn}(n_{22}) \cdot |n_{12}| \\ m_1 &= m_{11} + \text{sgn}(m_{11}) \cdot |m_{12}| \\ m_2 &= m_{22} + \text{sgn}(m_{22}) \cdot |m_{12}| \end{aligned} \quad (1)$$

Warunki nośności przekroju sprawdza się dla wartości miarodajnych, niezależnie dla kierunków równoleżnikowego (n_1, m_1) i południkowego (n_2, m_2).

Dla zadanych parametrów przekroju: grubości powłoki, parametrów wytrzymałościowych betonu i stali, grubości otulin i pola powierzchni przekroju zbrojenia wyznaczono powierzchnie nośności granicznej przekroju w przestrzeni $m_i \times n_i$ niezależnie dla kierunków: południkowego i równoleżnikowego. Stan wyężenia przekroju w kierunku południkowym lub równoleżnikowym determinują obliczeniowe wartości sił wewnętrznych (m_i, n_i) – punkt S

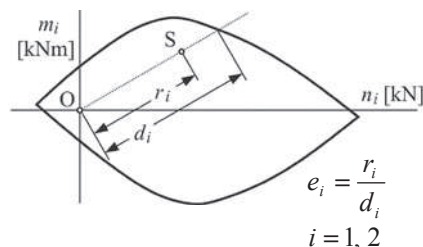
Tabela 2. Zestawienie współczynników bezpieczeństwa z uwagi na stateczność chłodni

	$\alpha = 210^\circ$	$\alpha = 240^\circ$	$\alpha = 300^\circ$
model 1	6,25	6,09	5,80
model 2	6,11	5,93	5,61
model 3	5,97	5,78	5,44
model 4	5,84	5,62	5,23

na rysunku 5. Lokalny współczynnik wyężenia e_i w dowolnym punkcie powłoki definiuje się jako iloraz promienia wektora r_i punktu S i promienia wektora d_i punktu przecięcia prostej przechodzącej przez punkty S i O z powierzchnią nośności granicznej. Wartości lokalnego współczynnika wyężenia $e_i > 1,0$ oznaczają stany niebezpieczne. Rozważa się kombinacje podstawowe dla efektów oddziaływań (sił wewnętrznych) wyznaczone na podstawie [3].

$$\sum_j \gamma_G G_j + \gamma_{Q1} Q_1 + \sum_{i>1} \gamma_{Qi} \Psi_{0i} Q_i \quad (2)$$

Dla oddziaływań alternatywnych uwzględnia się efekt ekstremalny. W analizowanym przypadku, jako wiodące obciążenie zmienne przyjmuje się w poszczególnych kombi-



Rys. 5. Geometryczna interpretacja lokalnego współczynnika wyężenia

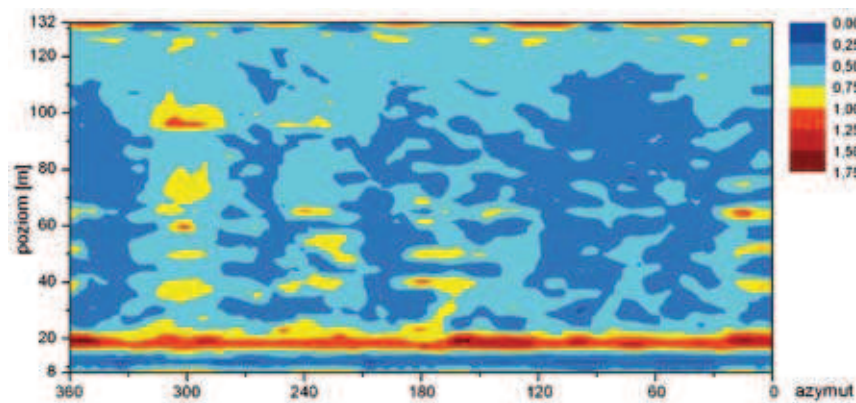
nacjach obciążeń jedno z oddziaływań: obciążenie wiatrem lub wybrane obciążenie termiczne.

Współczynniki wyężenia wyznaczone dla wszystkich możliwych kombinacji obciążeń. Zestawienie maksymalnych wartości współczynnika wyężenia przedstawiono w postaci planu warstwicowego na rysunku 6. Obszary, na których współczynniki wyężenia są większe niż 1,0 (kolor czerwony na planie warstwicowym) oznacza obszary, na których nie są spełnione warunki wymiarowania powłoki chłodni. Praktycznie oznacza to niedobór stali zbrojeniowej.

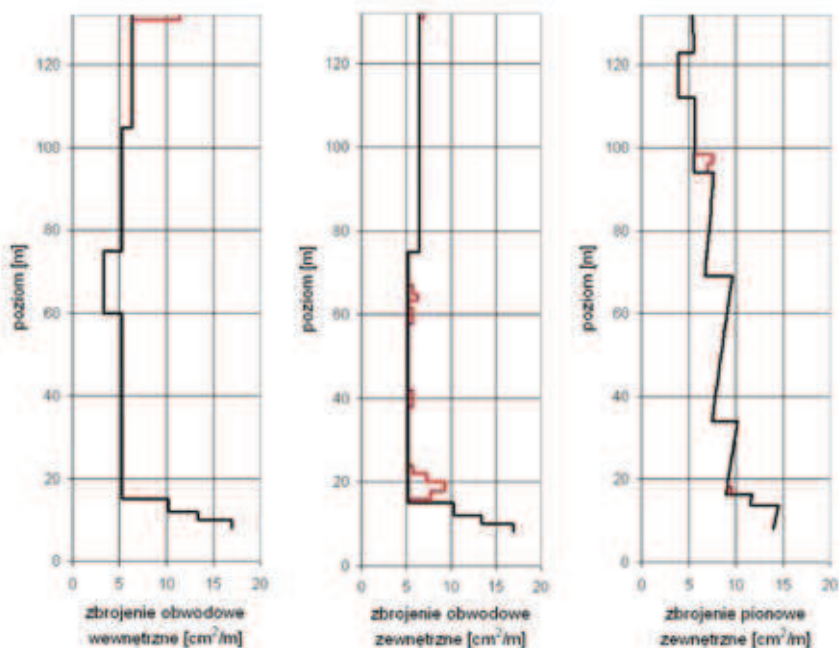
Na rysunku 6 przedstawiono maksymalne wartości współczynnika wyężenia. W przeprowadzonej analizie wyznaczano jego wartości niezależnie dla kierunków równoleżnikowego i południkowego z uwzględnieniem znaków sił wewnętrznych. Umożliwiło to określenie deficytów zbrojenia z rozróżnieniem kierunków oraz stron powłoki: wewnętrznej i zewnętrznej.

4. Ocena stanu bezpieczeństwa chłodni i propozycja wzmocnienia

Analiza stateczności konstrukcji wskazuje, że chłodnia spełnia kryterium stateczności – mnożni-



Rys. 6. Lokalny współczynnik wyężenia



Rys. 7. Przekroje zbrojenia

ki obciążenia krytycznego równoważne współczynnikowi bezpieczeństwa w każdym przypadku są większe od $\gamma_B = 5,0$, co uznaje się

za spełnienie kryterium stateczności. Z kolei analiza wytrzymałościowa powłoki chłodni wskazuje, że na części obszarów powłoki nie są spełnione

warunki nośności. W obszarach tych nośność graniczna przekroju nie jest wystarczająca z uwagi na brak wystarczającej ilości zbrojenia. Niedobory zbrojenia występują zarówno na kierunku równoleżnikowym, jak i południkowym.

W celu zapewnienia bezpiecznej pracy konstrukcji należy chłodnię wzmocnić w obszarach, gdzie nośność jest niewystarczająca. Na rysunku 7 pokazano przekroje zbrojenia istniejącego (kolor czarny) oraz dodatkowego potrzebnego do spełnienia warunków nośności granicznej (kolor czerwony).

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] Study on interference effects on the new and old building structures. Report n° W05-383-1N. Bochum, September 2005.
- [2] BTR Technika budowlana dla chłodni kominowych: Zalecenia (VGB-Richtlinie) R610 U, VGB PowerTech, Essen, Rev. 2005.
- [3] PN-EN 1990:2002 Eurocod 1: Podstawy projektowania konstrukcji.

S&P Polska

SYSTEMY KOMPOZYTOWE FRP
WZMOCNIENIA KONSTRUKCJI INŻYNIERSKICH
 na bazie włókien węglowych, szklanych i aramidowych

S&P Polska Sp. z o.o.
 ul. Bydgoska 9 PL-82-200 Malbork Tel.055 646 97 00 Fax 055 646 97 01
 info@sp-polska.pl www.sp-polska.pl