O ocenie stanu technicznego chłodni kominowych

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielewski, dr inż. Piotr Górski, Politechnika Opolska, Opole

1. Potrzeba oceny stanu technicznego chłodni kominowych

Istniejące chłodnie kominowe w elektrowniach stanowią ważny składnik ich majątku i element konieczny w procesie produkcji energii elektrycznej każdego bloku energetycznego. Dostatecznie długą ich eksploatacją zainteresowana jest każda elektrownia. Niestety, chłodnia kominowa w czasie eksploatacji podlega procesom degradacji, tj. następuje jej techniczne zużycie. Powstają uszkodzenia i zniszczenia głównie słupów podbudowy, powłoki żelbetowej i pierścienia usztywniającego, ale także elementów wodorozdziału i zraszalnika (elementy konstrukcyjne wodorozdziału i zraszalnika są niezależne od konstrukcji chłodni i dalej nie będą omawiane). Przyczynami takiego stanu są głównie: agresywne środowisko, tj. woda w różnych stanach skupienia, zmienna temperatura otoczenia (zmieniająca się z ujemnej na dodatnią), promieniowanie słoneczne i agresywne środowisko gazowe.

Aby zatrzymać proces degradacji chłodni należy wykonać ocenę jej stanu technicznego. Należy podkreślić, że zasady oceny stanu technicznego istniejących chłodni różnią się znacznie od zasad projektowania nowych konstrukcji. Celem niniejszego artykułu jest omówienie podstawowych zasad oceny stanu technicznego istniejących chłodni opartych na normie ISO [7] (przy opracowaniu której autor niniejszego artykułu brał udział).

2. Ogólna struktura oceny

Ocena istniejących chłodni składa się z kolejnych etapów, które przedstawiono na rysunku 1. Należy podkreślić, że cele oceny powinny być zawsze określone po konsultacji z władzami elektrowni. Takich uzgodnień należy dokonać na podstawie zapewnienia: odpowiedniego bezpieczeństwa chłodni w dalszym jej użytkowaniu i ciągłego spełniania swojej funkcji.

3. Dane do oceny

3.1. Badanie uszkodzeń i zniszczeń

Badanie uszkodzeń i zniszczeń powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej powłoki chłodni wymaga zjazdów alpinistycznych (góra – dół) lub zainstalowania specjalnych wózków, które umożliwiają ruch pionowy, ale także ruch po obwodzie chłodni. Należy sporządzić dokumentację rysunkową uszkodzeń, a także dokumentację fotograficzną.

Należy podkreślić, że badaniom uszkodzeń i zniszczeń istniejących chłodni kominowych, a następnie ich naprawami, zajmuje się w Polsce kilka ośrodków, które opublikowały szereg prac, np. [1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 13].

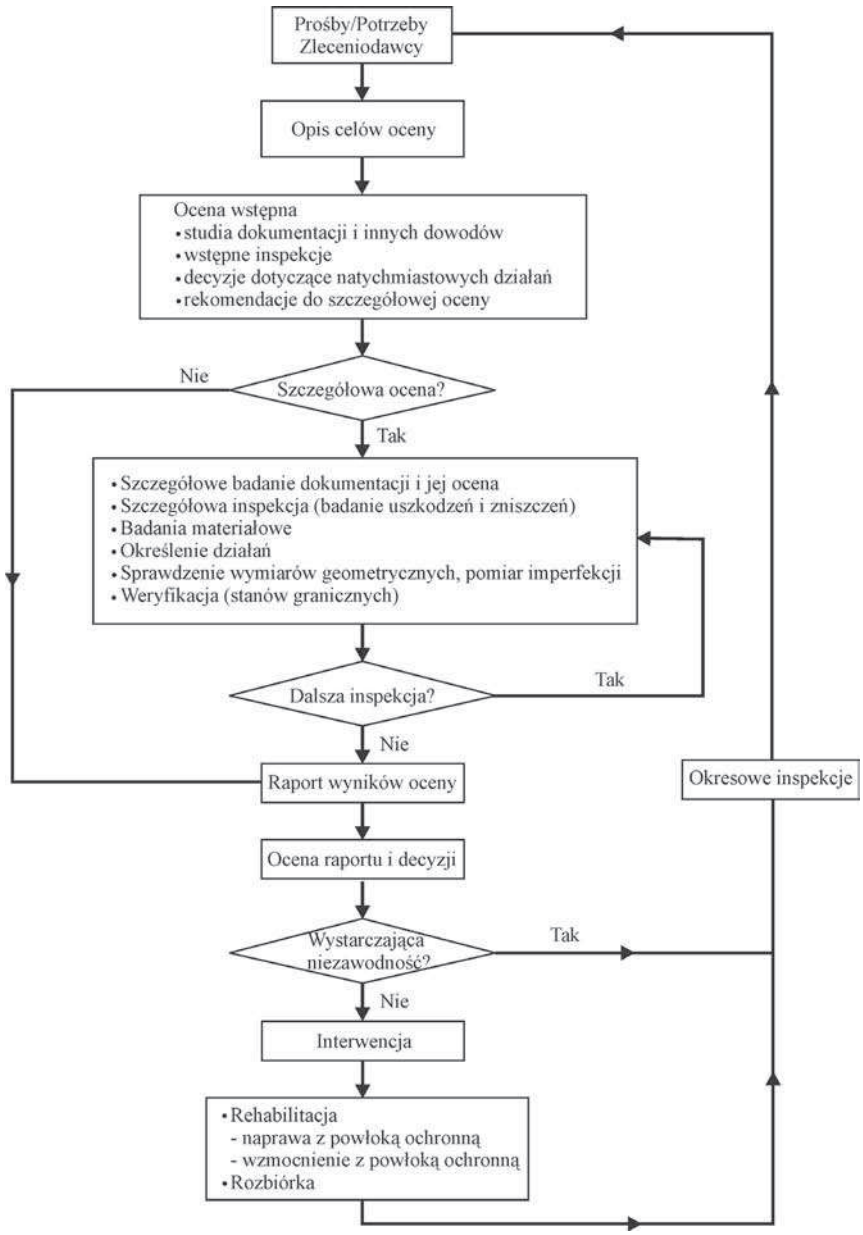
3.2. Badania materiałowe

Badania materiałowe głównych elementów konstrukcyjnych chłodni należy wykonać metodą nieniszczącą (np. młotkiem Schmidta) i metodą niszczącą – przez pobranie próbek (odwiertów) w kształcie walca. Do decyzji eksperta pozostaje liczba odwiertów, tak aby w miarodajny sposób określić cechy chemiczne i fizyczne betonu. Na podstawie pobranych odwiertów, w warunkach laboratoryjnych wykonuje się następujące badania i oznaczenia: badania makroskopowe, tj. zwartość betonu w próbkach, rodzaj i maksymalne uziarnienie, odczyn wyciągu wodnego (wskaźnik pH), zawartość spoiwa i kruszywa, zawartość jonów siarczanowych i chlorkowych, gęstość pozorną, nasiąkliwość i wytrzymałość próbki betonu na ściskane (po uwzględnieniu „efektu skali" można określić klasę betonu). Tak wykonane badania są podstawą oceny stopnia korozji i rzeczywistych cech mechanicznych betonu. Przykłady badań materiałowych poddanych działaniu środowiska chemicznego omówiono w pracy [5].

3.3. Dane dotyczące obciążeń i wpływów termicznych

Główne elementy konstrukcyjne istniejącej chłodni, tj.: powłoka żelbetowa z wieńcem usztywniającym, słupy i fundamenty są poddane działaniu ciężaru własnego (G), wiatru (W) i zmiennej temperatury (T) oraz ich możliwej kombinacji. Przyjęto założenie, że procesy osiadania podłoża gruntowego i skurczu betonu zostały zakończone.

Wielu ekspertów uważa, że wymienione powyżej działania (obciążenia i wpływ temperatury) można określać na podstawie istniejących,



Rys. 1. *Ogólny tok postępowania przy ocenie stanu technicznego chłodni*

aktualnych norm. W tym przypadku tylko ciężar własny jest łatwy do określenia. Natomiast mogą powstawać wątpliwości dotyczące obciążenia wiatrem i pola temperatury. Wyjaśnienie jest następujące. W normie obciążenia wiatrem [12] podana jest wartość charakterystyczna prędkości wiatru dla danej strefy $\overline{V}_{10}$, którą jest wartość średnia 10-minutowa, na wysokości 10 m w terenie otwartym. Powszechnie przyjęto, że wartość ta ma okres powrotu 50 lat. Oznacza to, że wartość ta może wystąpić średnio raz na 50 lat. Jeśli chłodnia już istnieje np. 25 lat i jej czas użytkowania chcemy przedłużyć na następne 25 lat, to czy słusznym i uzasadnionym jest przyjmowanie wartości $\overline{V}_{10}$ z normy? Takie przyjęcie jest konserwatywne, zachowawcze. W takim przypadku można zastosować teorię rozkładów ekstremalnych [4, 6] i określić prędkość wiatru $\overline{V}_{10}$ dla okresu T=25 lat.
Istniejąca chłodnia kominowa poddana jest działaniu zmiennej temperatury otoczenia. W praktyce inżynierskiej należy wyróżnić trzy wartości temperatury, tj.: T^L – temperaturę powierzchni zewnętrznej chłodni w czasie jej postoju w okresie letnim, T^Z – temperaturę powierzchni zewnętrznej chłodni w czasie jej postoju w okresie zimowym i T^{OP} – temperaturę operacyjną na powierzchni wewnętrznej w czasie funkcjonowania chłodni.

3.4. Dane dotyczące wymiarów geometrycznych i imperfekcji

Wymiary geometryczne mogą być określone na podstawie istniejącej dokumentacji, jeśli nie budzą one wątpliwości. Ponieważ chłodnie kominowe charakteryzują się dużymi wymiarami co do ich średnicy i wysokości, zaś małymi jeśli chodzi o grubość powłoki, dlatego sprawdzenie tych wielkości jest koniecznością. Współczesne metody geodezyjne pozwalają na pomiar odchyłek geometrycznych (imperfekcji) rzeczywistej powłoki, od geometrii powłoki idealnej, której dane geometryczne zawiera dokumentacja projektowa.

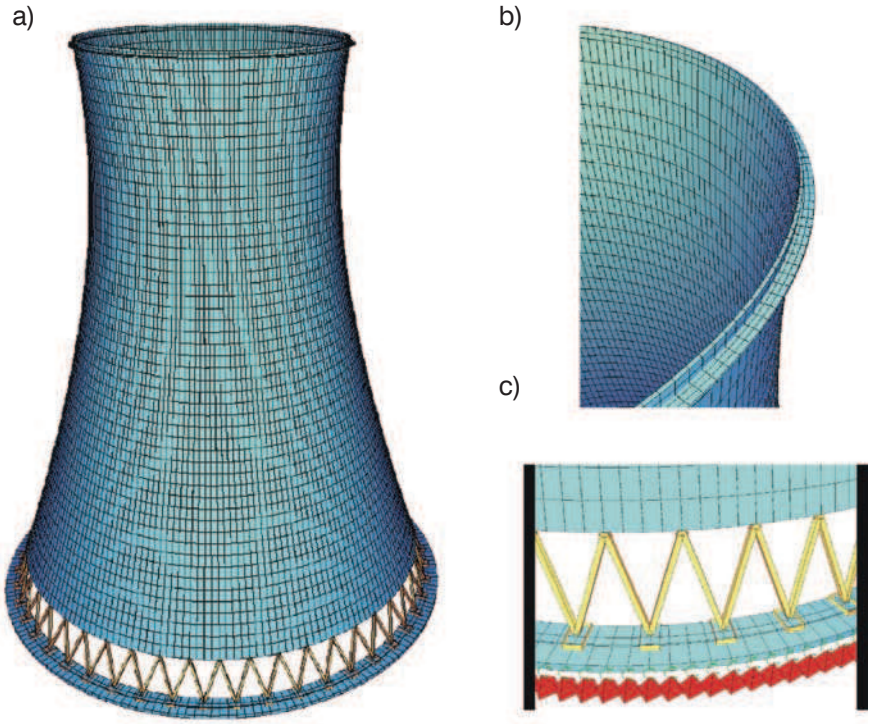
3.5. Dane dotyczące badań geotechnicznych

Badania gruntu, na którym posadowiony jest fundament chłodni powinny być przeprowadzone.

4. Weryfikacja stanów granicznych

4.1. Model obliczeniowy chłodni

Przyjęcie modelu obliczeniowego dla całej chłodni jest bardzo ważnym zagadnieniem. Konieczna jest dyskretyzacja całego złożonego układu, tj. powłoki z górnym pierścieniem usztywniającym, słupów, fundamentu (często w kształcie pierścienia) i podłoża gruntowego. Powłokę z górnym pierścieniem i fundament pierścieniowy można modelować elementami powłokowymi, słupy – przestrzennymi elementami prętowymi, podłoże gruntowe – elementami przestrzennymi lub znacznie prościej jako podłoże jednoparametrowe (Winklera) lub dwuparametrowe (np. Własowa). Kolejnym krokiem jest podjęcie decyzji o sposobie połączenia słupów z powłoką i fundamentem



Rys. 2. *Przykład dyskretyzacji: a) całej chłodni, b) jej górnej części z pierścieniem, c) połączenia słupów z powłoką i fundamentem*

(połączenia sztywne czy przegubowe).

Obliczenia statyczne można wykonać w zakresie liniowym – geometrycznie i fizycznie, tj. w ramach teorii prętów i powłok w zakresie małych przemieszczeń i odkształceń i liniowo-sprężysty model materiału. Obliczenia można także wykonać w zakresie nieliniowym. Geometrię chłodni można przyjąć idealną, lub z uwzględnieniem rzeczywistych imperfekcji.

Przykład dyskretyzacji chłodni kominowej przedstawiono na rysunku 2.

4.2. Kombinacje obciążeń i wpływów

Przy projektowaniu nowej chłodni w Polsce koniecznością jest rozważenie następujących obciążeń i wpływów: ciężaru własnego (G), wiatru (W), wpływu temperatury (T), osiadania podłoża gruntowego (P) i skurczu (S). Dwa ostatnie działania po kilkunastoletniej eksploatacji chłodni są zakończone, dlatego przy ocenie stanu technicznego należy rozważyć tylko trzy pierwsze. Załóżmy dalej, że znamy ich wartości charakterystyczne. Powstaje pytanie: jaka kombinacja zdarzeń jest fizycznie możliwa i która kombinacja będzie najmniej korzystna? Kombinację taką uzasadniam następująco. Ciężar własny G chłodni kominowej występuje zawsze i w kombinacji obciążeń należy go uwzględnić. Silne wiatry występują głównie wiosną i jesienią. Gwałtowne burze, czasem z trąbą powietrzną, mogą wystąpić latem. Powyżej opisane zjawiska nie występują zimą, a szczególnie przy silnych mrozach. Wiatry (głównie zachodnie) mogą wystąpić zimą. Przynoszą one jednak ocieplenie, mogą więc wystąpić przy temperaturze powietrza około 0°C, lub także przy małych temperaturach ujemnych. W stanie granicznym nośności chłodni obciążenie to należy koniecznie uwzględnić.

Wpływy termiczne są bardzo zmienne w okresie różnych pór roku. W czasie lata, przy eksploatacji, temperatury środowiska wewnątrz chłodni i na zewnątrz są do siebie zbliżone. Różnice temperatur wymienionych środowisk są małe i stan naprężeń w powłoce chłodni jest mały. Może się jednak zdarzyć, że chłodnia będzie wyłączona z eksploatacji (postój), wówczas różnica temperatur na powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej chłodni będzie większa. Największa różnica temperatur między temperaturą wnętrza chłodni (30°C) w czasie jej użytkowania, a temperaturą zewnętrzną powierzchni chłodni (-24°C) wystąpi w okresie surowej zimy. Ale wówczas uwzględnienie obciążenia wiatrem w maksymalnej wartości nie ma sensu. Można dodać, że postój technologiczny chłodni może się zdarzyć również zimą.

Z przeprowadzonych powyżej rozważań wynika, że dla stanu granicznego nośności chłodni (przy pominięciu wpływu osiadań i skurczu) kombinacja obciążeń powinna mieć postać:

$$\gamma_G \cdot G + \gamma_W \cdot W$$

gdzie γ_G i γ_W są częściowymi współczynnikami bezpieczeństwa.

Z teoretycznego i praktycznego punktu widzenia można kombinację obciążeń rozważyć dla stanu granicznego użytkowania na przykład w postaci:

$$G + 0{,}5W + T^{OP}$$

lub

$$G + T^{L},$$

lub

$$G + T^{Z},$$

gdzie T^{OP} jest różnicą temperatur w czasie eksploatacji chłodni, T^{L} – różnicą temperatur w czasie postoju latem, T^{Z} – różnicą temperatur w czasie postoju chłodni zimą.

5. Interwencje budowlane

W odpowiedzi na cele oceny, sformułowane ze zleceniodawcą, ocena stanu technicznego powinna być zakończona propozycjami interwencji budowlanych obejmujących na przykład: naprawę powierzchni zewnętrznych

i wewnętrznych powłoki, słupów chłodni, wzmocnienie powłoki pierścieniami usztywniającymi, pasami usztywniającymi (o szerokości kilku metrów), lub nałożeniem dodatkowej warstwy betonu. Słupy podbudowy można także naprawić lub wzmocnić nową warstwą betonu. Po wykonaniu tych robót obecnie stosuje się ponaddto wykonanie powłoki ochronnej (ograniczającej dostęp agresywnych środowisk) zarówno dla płaszcza chłodni, jak i słupów.

6. Opracowanie końcowego raportu

Ocena stanu technicznego istniejących chłodni kominowych wymaga wykonania szeregu etapów, które zostały wymienione w niniejszym artykule. Każdy etap wymaga pisemnego opracowania, które powinno być dołączone do końcowego raportu.
Końcowy raport powinien zawierać:
a) stronę tytułową, na której należy podać: nazwę opracowania, dane zleceniodawcy, dane autora(ów) oceny i datę opracowania,
b) cel oceny uzgodniony ze zleceniodawcą (łącznie z planem użytkowania chłodni),
c) opis chłodni, tj. rok budowy, opis systemu konstrukcyjnego, przeszłe i obecne użytkowanie,
d) opis wykonanych badań; w tym punkcie należy wymienić: stan dokumentacji technicznej, listę badanych dokumentów, źródło ich pochodzenia, szczegółowy opis uszkodzeń i zniszczeń wraz z analizą ich przyczyn, sposób pobierania ich próbek i laboratoria, które badania wykonały,
e) opis analizy – rodzaj wykonanych obliczeń,
f) weryfikacja – głównie stanu granicznego nośności,
g) przegląd wariantów interwencji budowlanych,
h) wnioski i zalecenia; wnioski należy formułować w sposób krótki, stanowczy i jasny; każdy wniosek powinien być oparty na materiale zawartym we wcześniejszych rozdziałach raportu,
i) spis wykorzystanych dokumentów i literatury,
j) załączniki, tj.: rysunki, dokumentację fotograficzną, wyniki badań laboratoryjnych, wyniki obliczeń itd.

BIBLIOGRAFIA

[1] Broniewski T., Jamroży Z., Płachecki M., Uszkodzenia korozyjne i naprawa żelbetowych hiperboloidalnych chłodni kominowych. Inżynieria i Budownictwo, nr 10/1988
[2] Broniewski T., Płachecki M., Ziobroń W., Kryteria trwałości żelbetowych chłodni kominowych. Inżynieria i Budownictwo, nr 1/1991
[3] Chmielewski T., Golczyk M., On the structural reliability of natural draught cooling towers. Archives of Civil Engineering, XLV, 2, 1999, p. 181–191
[4] Chmielewski T., Probabilistyczny model statycznego obciążenia wiatrem budowli wieżowych. Materiały XXII Konferencji Naukowej KILiW PAN i Komitetu Nauki PZITB „Problemy naukowo-badawcze budownictwa", Tom Teoria Konstrukcji
[5] Fiertak M., Trwałość materiałów budowlanych poddanych działaniom środowiska chemicznego. Materiały 51 Konferencji Naukowej KILiW PAN i Komitetu Nauki PZITB „Problemy naukowo-badawcze budownictwa", Tom 1, str. 65–84, 2005 r.
[6] Gumbel E.J., Statistics of extremes. New York, 1958
[7] International Standard ISO 13822, Bases for design of structures – Assessment of existing structures, Geneva 2001
[8] Jamroży Z., O naprawach i zabezpieczaniu żelbetowych chłodni kominowych. Inżynieria i Budownictwo, nr 6/1996
[9] Konderla P., Kasprzak T., Badania i ocena stanu bezpieczeństwa chłodni kominowej nr 2 w Elektrowni Adamów. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej nr 81, Seria, Konferencje nr 30, Wrocław 2002, str. 74–80
[10] Lewiński P. M., Więch P. P., Analiza diagnostyczna uszkodzeń chłodni kominowej. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej nr 90, Seria: Studia i Materiały nr 19, Budownictwo w energetyce, Wrocław 2008, str. 141–148
[11] Persona M., Z badań doświadczalnych chłodni kominowych Elektrowni „Turów". Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Problemy trwałości żelbetowych chłodni kominowych", Wrocław-Zamek Czocha-Bogatynia, 2–5 listopada 1989 r., str. 109–116.
[12] PN-EN1991–1–4:2008 Eurokod 1, Oddziaływania na konstrukcje – Część 1–4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru.
[13] Runkiewicz L., Przyczyny powstawania i sposoby usuwania zagrożeń żelbetowych chłodni kominowych. Przegląd Budowlany, nr 11/1994.

Wybrane problemy diagnostyki i oceny stanu technicznego chłodni kominowych

Prof. dr hab. inż. Mieczysław Kamiński, Instytut Budownictwa, Politechnika Wrocławska

1. Wprowadzenie

Od czasu katastrofy chłodni kominowej w Elektrowni Turów wszystkie chłodnie kominowe w Polsce poddane zostały szczegółowej ocenie stanu technicznego, wskutek czego większość z nich została gruntownie wyremontowana. W kilku przypadkach chłodnie kominowe wymagały wykonania miejscowych wzmocnień z uwagi na brak spełnienia wymogów bezpieczeństwa. Część chłodni została wyremontowana bez speł-