

dr hab. inż. Marek Lechman, prof. nadzw.<sup>1)</sup>

# Naprawa przemrożonej powłoki żelbetowej chłodni kominowej

DOI: 10.15199/33.2015.05.07

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono ocenę stanu technicznego oraz metodę naprawy chłodni kominowej, która uległa przemrożeniu w wyniku nagłego wyłączenia z ruchu podczas silnych mrozów. Diagnozę stanu chłodni sformułowano na podstawie wyników przeprowadzonych badań diagnostycznych, które posłużyły do opracowania technologii naprawy i zabezpieczenia powłoki żelbetowej chłodni z uwzględnieniem wymagań w zakresie trwałości. Na tej podstawie zrealizowano I etap remontu chłodni, obejmujący naprawę i zabezpieczenie jej płaszcza wewnętrznego, skupiając uwagę na sposobie realizacji oraz ocenie wykonania tych prac.

**Słowa kluczowe:** chłodnia kominowa, powłoka żelbetowa, naprawa, przemrożenie.

**Abstract.** The paper presents the assessment of the technical state and the concept of repair of a cooling tower damaged by frost penetration. Based on the results of inspection and laboratory tests the method for repair and protection of the damaged reinforced concrete shell is presented with regard to durability. Moreover, the first stage of the performed works is described which included the repair and protection of the inner surface of the RC shell with quality assessment of the workmanship.

**Keywords:** cooling tower, shell, damaged, frost penetration, repair.

**H**iperboloidalna chłodnia kominowa o ciągu naturalnym, stanowiąca przedmiot artykułu, jest eksploatowana od 1982 r. Konstrukcja chłodni została wykonana w technologii monolitycznej, w deskowaniach przestawnych. Powłoka oparta jest na 48 parach ukośnych słupów prefabrykowanych (fotografia 1). Całkowita wysokość chłodni nad poziomem terenu wynosi 132,0 m, wysokość samej powłoki 124,0 m, a średnica powierzchni środkowej powłoki na poziomie jej oparcia na głowicach słupów (+8,0 m), 100,00 m. Grubość powłoki

żelbetowej chłodni zmienia się od 0,66 m w poziomie + 8,00 m do 0,18 – 0,14 m w części środkowej i 0,26 m w poziomie korony. Powłoka została zaprojektowana z betonu klasy B20 (C16/20), zbrojonego prętami głównymi ze stali gatunku 34GS o granicy plastyczności  $f_{yk} = 410$  MPa.

## Ocena stanu technicznego chłodni

Stosując algorytm postępowania opisany m.in. w pracach [1, 2], chłodnię poddano badaniom diagnostycznym obejmującym:

- szczegółowe oględziny powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej płaszcza żelbetowego przy użyciu technik alpinizmu przemysłowego wraz z identyfikacją i rejestracją uszkodzeń oraz nieprawidłowości;
- pobranie odwiertów rdzeniowych betonu płaszcza;
- pomiary sklerometryczne wytrzymałości betonu płaszcza;
- badania kontrolne na odrywanie (próby pull-off);
- ocenę stanu osprzętu stalowego (drabina, pomosty, barierki);
- sporządzenie dokumentacji fotograficznej i filmowej;
- laboratoryjne badania fizykochemiczne betonu powłoki.

Na podstawie wykonanej inwentaryzacji stwierdzono na zewnętrznej powierzchni płaszcza chłodni występowanie uszkodzeń w postaci odprysków

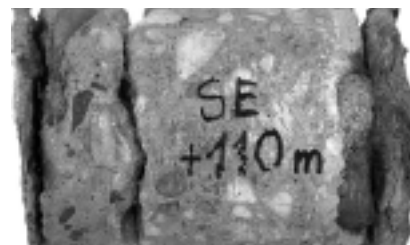
i ubytków betonu o głębokości od jednego do kilku mm, a miejscowo do kilkunastu mm, a także zarysowań powierzchniowych oraz złuszczeń i ubytków powłoki ochronnej. Niektórym ubytkom betonu towarzyszyło odsłonięcie prętów zbrojenia poziomego, wskazujących objawy korozji. Najwięcej tego rodzaju uszkodzeń o charakterze lokalnym występowało w pasie 70 – 125 m. Zarejestrowano ponadto przypadki odpajania się i złuszczenia betonu płaszcza o charakterze mrozowym.

Na podstawie analizy makroskopowej odwiertów wyciętych z powłoki żelbetowej chłodni na wysokości 84 – 110 m, stwierdzono rozwarstwienia betonu zarówno po stronie zewnętrznej, jak i wewnętrznej pobranych próbek (fotografia 2). Stal zbrojeniowa wykazywała w tych miejscach objawy korozji. Akrylowa powłoka ochronna płaszcza wewnętrznego uległa w znacznym stopniu zużyciu, o czym świadczyły złuszczenia, ubytki farby, zmatowienie. Ponadto zło-



**Fot. 1. Widok ogólny chłodni**  
Photo 1. General view of the cooling tower

<sup>1)</sup> Instytut Techniki Budowlanej;  
e-mail: m.Lechman@itb.pl



**Fot. 2. Rozwarstwienia betonu wskutek przemrożenia**  
Photo 2. Delamination of the concrete due to frost penetration

kalizowano kilkanaście miejsc przecieków (nieszczelności) płaszczu żelbetowego chłodni. Oprócz opisanych uszkodzeń zewnętrzny płaszcz chłodni wykazywał usterki wykonawcze, takie jak niewłaściwie wykonane szwy robocze i rysy skurczowe, lokalne niedowibrowania itp. Uszkodzenia betonu i zbrojenia występowały szacunkowo na ok. 28% powierzchni płaszczu zewnętrznego.

Przeprowadzone oględziny wykazały obecność rozwarstwień, odspojień i ubytków betonu na znacznej powierzchni płaszczu wewnętrznego, powstałych w wyniku przemrożenia. Głębokość tych ubytków wynosiła od jednego do kilkunastu mm, w niektórych miejscach nawet ponad 20 mm. Odkryte w wielu miejscach pręty zbrojenia (głównie poziomego) wykazywały objawy korozji w postaci złuszczeń osiagających głębokość użebrowania prętów. Beton w wielu miejscach „głucho oddawał” przy ostukiwaniu powierzchni płaszczu młotkiem stalowym. Epoksydowa powłoka ochronna płaszczu została w dużym stopniu zniszczona i kwalifikowała się w całości do odtworzenia (fotografia 3). Wymienione wcześniej usterki wykonawcze płaszczu zewnętrznego widoczne były także na powierzchni płaszczu wewnętrznego. Oceniono, że beton i zbrojenie uległy uszkodzeniu na ok. 40% powierzchni płaszczu wewnętrznego w przedziale wysokości 18 – 128 m.

Pobrane z powłoki chłodni odwierty betonu poddano badaniom fizykochemicznym, które obejmowały: określenie wytrzymałości na ściskanie i gęstości objętościowej, odczynu (wskaźnika pH) wyciągu wodnego, zawartości jonów siarczanowych i chlorkowych, a także nasiąkliwości. Rezultaty badań przedstawiono w tabeli. Wynika z nich, że wytrzymałość odwiertów betonu płaszczu na ściskanie odpowiadała klasie C35/45 wg PN-EN 206-1:2004 [3], a gęstość obję-



Fot. 3. Uszkodzenia płaszczu wewnętrznego  
Photo 3. Damage to the inner shell

ściowa wahała się od 2,21 do 2,32 kg/dm<sup>3</sup>. Uzyskane wartości wytrzymałości betonu żelbetowej powłoki chłodni były większe, niż wynikałoby to z przyjętej w projekcie klasy B20 (C16/20) i wg metody sklerometrycznej. Wyniki badania pull-off wytrzymałości betonu płaszczu wewnętrznego na odrywanie wskazywały na bardzo słabą przyczepność powierzchniowej warstwy betonu do podłoża (tabela). Ponadto beton płaszczu chłodni

### Wyniki badań fizykochemicznych betonu powłoki chłodni

Badanie	Wyniki	Wymagania wg PN-EN 206-1:2004
Badanie wytrzymałości betonu powłoki chłodni	badanie odwiertów (płaszcz) – C35/45, metodą sklerometryczną – B20(C16/20)	płaszcz: B20 (C16/20)
Oznaczenie gęstości pozornej	2,21 – 2,32 kg/dm <sup>3</sup>	2,20 – 2,50 kg/dm <sup>3</sup>
Oznaczenie nasiąkliwości betonu	6,8 – 8,4%	≤ 5%
Odczyn wyciągu wodnego z betonu	9,2 – 12,4 jedn. pH	≥ 11,7 jedn. pH
Zawartość jonów chlorkowych	0,08%	< 0,4%
Zawartość jonów siarczanowych	2,5 – 4,5%	< 3%
Badanie pull-off powłoki żelbetowej	powierzchnia wewnętrzna: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,7; 0,9; 2,0 MPa	≥ 1,0 MPa

wykazywał nadmierną nasiąkliwość (wartość dopuszczalna 5%). Z rezultatów badań chemicznych wynikało, iż we wszystkich badanych miejscach beton płaszczu chłodni uległ odalkalizowaniu w warstwach zewnętrznych i wewnętrznych (wartość dopuszczalna: pH ≥ 11,7). Skażenie betonu jonami siarczanowymi przekroczyło wartość dopuszczalną 3% w próbkach pobranych z korony i w strefie przewężenia. Zawartość jonów chlorkowych była niewielka we wszystkich badanych próbkach (wartość graniczna 0,4%).

Na podstawie wyników sprawdzających obliczeń statyczno-wytrzymałościowych wg eurokodów [4, 5, 6] stwierdzono, że spełnione są warunki stanu granicznego nośności i użyteczności powłoki żelbetowej chłodni. Ze względu na konieczność zapewnienia dalszej bezpiecznej eksploatacji obiektu podjęto decyzję o jego rewitalizacji.

### Technologia naprawy i zabezpieczenia płaszczu żelbetowego chłodni

Rozwiązanie materiałowo-technologiczne zastosowane do naprawy lub ochrony przed korozją powłoki chłodni powinno cechować się trwałością i niezawodnością ze względu na ekstremalne parametry obciążeń działających na konstrukcję. Spełnienie tych wymagań zależy przede wszystkim od odpowiednio do-

branego materiału, jako prawidłowo funkcjonującego elementu układu, który powstaje w wyniku przeprowadzenia naprawy bądź wykonania zabezpieczenia antykorozyjnego. Do naprawy płaszczu chłodni zalecono zastosowanie mieszanek kompatybilnych z właściwościami naprawianego podłoża betonowego (moduły sprężystości powinny być podobne), spełniających wymagania PN-EN 1504 [7]. Mieszanekami o wymaganych właściwo-

ściach są nowoczesne materiały kompozytowe, które cechuje krótki czas do osiągnięcia sprawności użytkowej, dobra adhezja do betonu oraz połączenie chemo-odporności z dużą wytrzymałością mechaniczną.

### Naprawa powłoki żelbetowej chłodni polegała na wykonaniu następujących czynności:

- przygotowanie podłoża – usunięcie warstw betonu o małej wytrzymałości, oczyszczenie powierzchni płaszczu zewnętrznego i wewnętrznego metodą strumieniowo-ścierną lub hydrodynamiczną, oczyszczenie odsłoniętego zbrojenia;
- zabezpieczenie antykorozyjne odsłoniętego zbrojenia i reprofilacja jego otuliny;
- naprawa powierzchniowa/wgłębna w miejscach ubytków, wycieków mokrych i suchych oraz nieszczelnych szwów roboczych;
- szpachlowanie, nałożenie powłoki ochronnej na powierzchni płaszczu wewnętrznego i zewnętrznego.

Do reprofilacji ubytków zaproponowano beton natryskowy na bazie cementu odpornego na siarczany, aplikowany metodą natrysku na sucho (głębsze ubytki) bądź konfekcjonowaną zaprawę typu SPCCII klasy R4 wg PN-EN 1504-3 [7] na bazie cementu odpornego na siarczany do natrysku na sucho (płytsze ubytki lub warstwa wy-

równująca). Z uwagi na ograniczenie okresu postoju chłodni do 60 dni i związaną z tym konieczność aplikacji powłok ochronnych na wilgotnym podłożu oraz w trudnych warunkach atmosferycznych, przewidziano wykonanie powłoki dwuwarstwowej łącznej grubości 260  $\mu\text{m}$ , na bazie modyfikowanego poliuretanu.

### Realizacja prac remontowych

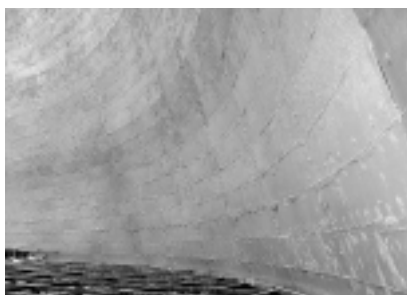
Zasadnicza część prac remontowych chłodni polegała na usunięciu uszkodzonego i zdegradowanego betonu płaszczu wewnętrznego, reprofilacji powstałych ubytków betonem natryskowym lub konfekcjonowaną zaprawą oraz na zabezpieczeniu powierzchni powłoką ochronną. Kolejne etapy prowadzenia prac remontowych wewnętrznego płaszczu chłodni, począwszy od odkucia zdegradowanego, odspojonego betonu i hydrodynamicznego czyszczenia powierzchni (przygotowanie powierzchni, podłoża), przez reprofilację ubytków metodą suchego natrysku aż do nałożenia powłoki ochronnej, obrazują fotografie 4 – 6. Na potrzeby realizacji prac, powierzchnię wewnętrzną płaszczu chłodni podzielono na 21 pionowych pasów roboczych o szerokości ok. 9 m każdy. Prace były wykonywane początkowo z czterech, a następnie z sześciu ruchomych pomostów (rusztowań). Zgodnie z zaleceniami, rozkucie, czyszczenie i reprofilacja płaszczu wewnętrznego prowadzone były z zachowaniem osiowo symetrycznego położenia pasów jednocześnie naprawianych, co wynikało z konieczności wyeliminowania możliwości lokalnej utraty stateczności osłabionej powłoki chłodni. Podczas prowadzenia prac związanym z odkuciem i czyszczeniem hydrodynamicznym powierzchni stwierdzono w wielu miejscach uszkodzenia wgłębne w postaci odspojenia betonu w dwóch



Fot. 4. Przygotowanie podłoża  
Photo 4. Substrate preparation



Fot. 5. Reprofilacja ubytków płaszczu  
Photo 5. Filling of the concrete losses in the inner shell



Fot. 6. Odtworzona powłoka ochronna płaszczu wewnętrznego  
Photo 6. Renewed protective coating of the inner shell

warstwach, lokalnie nawet do głębokości 10 – 11 cm (średnio 6 cm), przy grubości powłoki żelbetowej 14 cm. Czyszczenie powierzchni realizowano metodą hydrodynamiczną za pomocą agregatów wysokociśnieniowych do 1000 barów. Przeprowadzone po oczyszczeniu oględziny nie wykazały występowania znacznych ubytków korozyjnych prętów zbrojenia poziomego i pionowego. Przed nałożeniem torkretu powierzchnia została dokładnie oczyszczana metodą strumieniową. Opisane prace nadzorował uprawniony personel, który prowadził m.in. inspekcje i badania kontrolne w obiekcie. Zakres tych badań obejmował pomiary kontrolne wytrzymałości na odrywanie podłoża betonowego oraz przyczepności materiału naprawczego do podłoża. Zgodnie z wymaganiami uzyskane wartości były nie mniejsze niż 1,0 MPa, a wartości średnie nie mniejsze niż 1,5 MPa. Sprawdzano ponadto odczyn betonu i przyczepność powłoki ochronnej do zreprofilowanego podłoża płaszczu chłodni.

### Podsumowanie

W artykule przedstawiono nietypowy przypadek uszkodzeń żelbetowej powłoki chłodni kominowej powstałych

wskutek jej przemrożenia. W wyniku przeprowadzonych badań diagnostycznych i obliczeń sprawdzających konstrukcji chłodni stwierdzono, iż w celu zapewnienia dalszej bezpiecznej eksploatacji i trwałości obiektu konieczna jest jego rewitalizacja, ponieważ ewentualne wyłączenie z użytkowania nie wchodziło w grę, z uwagi na funkcjonowanie elektrowni. Remont chłodni kominowej jest zadaniem trudnym, kosztownym i technicznie odpowiedzialnym, w związku z czym powinien być powierzany wykonawcy wyspecjalizowanemu w tego rodzaju pracach, gwarantującemu wysoki poziom wykonawstwa. Z doświadczeń zdobytych podczas remontu rozpatrywanej chłodni wynika, iż skuteczność i terminowość realizacji tego rodzaju przedsięwzięć zależy w dużej mierze od ścisłej współpracy wykonawcy z dostawcą materiałów i technologii, jak również od stałego nadzoru technicznego, obejmującego inspekcje oraz badania kontrolne przeprowadzane na wszystkich etapach prac remontowych. Po wykonanym w rekordowym czasie 60 dni remoncie wewnętrznej części powłoki żelbetowej chłodni i słupów podbudowy obiekt został ponownie włączony do ruchu. Ocena skuteczności przeprowadzonych prac rewitalizacyjnych jest przewidywana podczas planowanych postojów chłodni.

Wszystkie fotografie – Autor

### Literatura

- [1] Lechman M., Diagnostics and Maintenance of Cooling Towers In Polish Power Plants, IASS 2013 Symposium Wrocław, Poland.
- [2] Richtlinie. Maßnahmen an Kühltürmen und Schornsteinen aus Stahlbeton zum Schutz gegen Betriebs- und Umgebungseinwirkungen, VGB PowerTech, VGB-R 612 Dritte Ausgabe 2010.
- [3] PN-EN 206-1:2004, Beton – Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [4] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [5] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 8 Oddziaływanie na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływanie ogólne. Oddziaływanie wiatru.
- [6] PN-EN 1991-1-5:2005 Eurokod 1 – Oddziaływanie na konstrukcje – Część 1-5: Oddziaływanie ogólne – Oddziaływanie termiczne.
- [7] PN-EN 1504-1:2006 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część (1 – 10).

Otrzymano 27.02.2015 r.