

Wybrane przypadki typowych wad i uszkodzeń chłodni kominowych po wieloletniej eksploatacji

JACEK HULIMKA*
Politechnika Śląska

Streszczenie: Żelbetowe chłodnie kominowe są powszechnie stosowane do schładzania wody technologicznej, najczęściej w elektrowniach i elektrociepłowniach. W Polsce znaczna część tych obiektów ma za sobą kilkadziesiąt lat eksploatacji, co, wobec trudnych warunków użytkowania, skutkuje powstaniem szeregu uszkodzeń w obrębie elementów konstrukcyjnych. Znaczna część z nich jest typowa dla konstrukcji żelbetowych, podobnie jak typowe są sposoby ich napraw – niemniej, są pewne uszkodzenia i naprawy charakterystyczne dla tych właśnie obiektów. W opracowaniu zestawiono i zilustrowano fotografiami najbardziej typowe wady i uszkodzenia chłodni kominowych, pokrótce odnosząc się do wybranych technologii ich napraw. Z uwagi na bazowanie w całości na własnych doświadczeniach i wynikach badań około 20 chłodni, w opracowaniu zrezygnowano z cytowania literatury.

Słowa kluczowe: chłodnia kominowa, konstrukcja żelbetowa, korozja, badania chemiczne betonu, naprawy.

1. Wprowadzenie

Schładzanie wody przemysłowej stanowi nieodzowny element wielu procesów technologicznych, w tym związanych z produkcją energii elektrycznej i ciepłej. Wszędzie tam, gdzie nie ma możliwości wykorzystania do chłodzenia zimnej wody z odpowiednio dużych zbiorników lub rzek, stosuje się chłodnie będące wymiennikami ciepła z powietrzem atmosferycznym. W szczególności są to chłodnie wentylatorowe (w których ruch powietrza wymuszony jest przez układ wentylatorów) i chłodnie kominowe (gdzie odpowiedniej wysokości komin wywiewny wymusza naturalny przepływ powietrza z dołu do góry). W praktycznie wszystkich nowoczesnych chłodniach stosowany jest system przeciwpływowy, w którym wymiana ciepła następuje w zraszalniku, gdzie rozprowadzona systemem deszczownic woda spływa grawitacyjnie ku dołowi, a strumień powietrza unosi się ku górze. Rezygnując w tym miejscu z dokładnego opisu procesów technologicznych należy przyjąć, że wydajność chłodni jest proporcjonalna do ilości przepływającego przez nią powietrza, a ta – w przypadku chłodni kominowych – zależy od wysokości i średnicy komina oraz powierzchni okien wlotowych.

Z konstrukcyjnego punktu widzenia chłodnie kominowe mogą być żelbetowe, stalowe (zwykle w postaci przestrzennych układów prętowych, bardzo rzadko powłokowe) lub drewniane (obecnie już rzadkie z uwagi na niewielkie wymiary skutkujące małą wydajnością

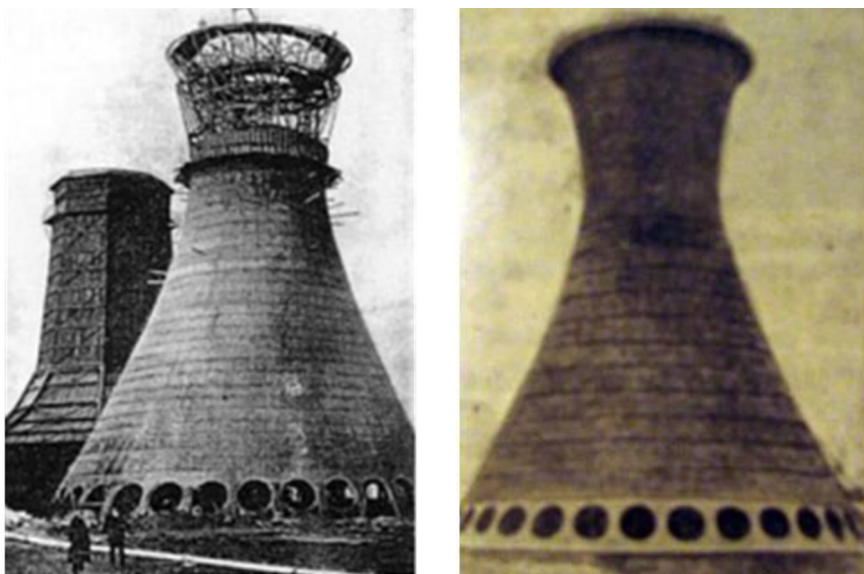
*Autor do korespondencji: jacek.hulimka@polsl.pl

chłodzenia). W praktyce dominują konstrukcje żelbetowe, w postaci powłok o kształcie hiperboloidy obrotowej, wspartych na systemie słupów tworzących okna wlotowe powietrza.

W niniejszym opracowaniu zestawiono najczęściej spotykane wady i uszkodzenia konstrukcji typowych chłodni, pokrótce odnosząc się do przyczyn ich powstania oraz, w uzasadnionych przypadkach, komentując stosowane technologie napraw.

2. Krótki opis budowy typowych chłodni żelbetowych

Pierwsza chłodnia kominowa o konstrukcji żelbetowej została wzniesiona w roku 1923 w Holandii. Według obecnych standardów była ona niewielka, osiągając wysokość 37 m, przy średnicy u podstawy 31 m. Powłoka chłodni opisana była typowym równaniem hiperboloidy obrotowej, jednak od późniejszych, typowych obiektów różniło ją znaczne przewężenie oraz wykonanie okien wlotowych w postaci kołowych otworów (rys. 1). We wczesnym okresie stosowania chłodni kominowych eksperymentowano z ich kształtem, jednak ostatecznie niemal wszystkie żelbetowe chłodnie wykonywano jako hiperboloidy obrotowe, czasem z górną częścią (nad przewężeniem) jako powłoką walcową.



Rys. 1. Pierwsza żelbetowa chłodnia kominowa z powłoką hiperboliczną.

Konstrukcja typowej żelbetowej chłodni kominowej złożona jest (od dołu) z fundamentu pierścieniowego, misy (basenu zbiorczego) z otaczającą jego krawędź tacą ociekową, systemu słupów ukośnych lub prostych i powłoki zwieńczonej pierścieniem usztywniającym, w większych obiektach pełniącym jednocześnie rolę galerii. Elementy te wykonane są z betonu monolitycznego, za wyjątkiem słupów, które w części obiektów były wykonane jako prefabrykaty i wbetonowane (za pośrednictwem wystawionych wiązek zbrojenia) w monolityczną ścianę misy i dolne pasmo płaszcza. Jako żelbetowe były też wykonywane konstrukcyjne elementy wewnętrzne, w tym konstrukcja podtrzymująca kolektor rozpraszający (zwykle monolityczna) oraz prefabrykowane słupy i belki podtrzymujące zraszalnik i wodorozdziel (te, w starszych obiektach, mogły też być drewniane).

Do elementów konstrukcyjnych zaliczyć też należy pomocnicze konstrukcje stalowe, w tym drabinę wjazdową i barierki ochronne na galerii i wzdłuż wewnętrznych przejść.

3. Przykłady typowych wad i uszkodzeń elementów konstrukcyjnych

Znaczna część istniejących w Polsce żelbetowych chłodni kominowych ma już za sobą kilkadziesiąt lat użytkowania w trudnych warunkach środowiskowych, co w sposób oczywisty skutkuje pojawieniem się różnego rodzaju uszkodzeń – część z których była już, z różnym skutkiem, naprawiana. Niektóre chłodnie były też obarczone pierwotnymi wadami, po części niemożliwymi do usunięcia. Lista uszkodzeń i wad jest tu długa i typowa dla obiektów poddanych wieloletniej eksploatacji, niemniej, obok przypadków obserwowanych w praktycznie wszystkich konstrukcjach żelbetowych, wyróżnić można problemy charakterystyczne właśnie dla chłodni. W dalszym tekście zostaną one pokrótce opisane i zilustrowane fotografiami.

Trzeba w tym miejscu wspomnieć o specyficznych warunkach, a jakich użytkowane są chłodnie kominowe. Ich dolne elementy w sposób niemal ciągły są zanurzone w wodzie lub nią zalewane, podczas gdy większa część płaszcza od wnętrza jest narażona na stały kontakt z parą wodną, a od zewnątrz z parą z sąsiadujących obiektów oraz ze spalinami z kominów przemysłowych. Część starszych obiektów została w pewnym momencie zmodernizowana w taki sposób, że w do wnętrza chłodni wprowadzono czopuch i wykorzystano komin wywiewny jako komin spalin – co spowodowało narażenie wewnętrznej powierzchni płaszcza na kontakt z gazami spalinowymi. Ponadto, chłodnie narażone są na bezpośrednie oddziaływanie atmosferyczne, w tym wiatr i opady, a także na znaczne zmiany temperatur. Trzeba też wspomnieć, że przez wiele lat jako metodę zapobiegania porostowi glonów w chłodniach stosowano zakwaszanie wody technologicznej, co również przyspieszało zjawiska korozyjne w betonie i stali.

Uszkodzenia i wady misy (basenu zbiorczego) i tacy ociekowej

Dno i ściany misy chłodni wykonywane były z betonu monolitycznego zwykle niskiej klasy (dawniej marki), co przekładało się na dość wysoką nasiąkliwość. Nie miało to wielkiego znaczenia w obszarach na stałe zanurzonych w wodzie, jednak w strefie przejściowej i w obszarze okresowych wahań poziomu wody (to jest przy górnej krawędzi ściany misy) prowadziło do powstawania uszkodzeń w wyniku korozji mrozowej. Dość często było to połączone z pierwotnymi wadami w postaci rozsegregowania i niedowibrowania betonu w górnych partiach ściany, spowodowanego koncentracją prętów zbrojeniowych. Największe pustki i rozsortowania występują zwykle w strefach podparcia słupów, gdzie krzyżują się pręty zbrojeniowych poziome (górne zbrojenie ściany misy) i ukośne, wprowadzone w ścianę ze słupów monolitycznych lub prefabrykowanych. Przykłady pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowe wady i uszkodzenia przy górnej krawędzi misy chłodni.

W tacach ociekowych dość często obserwuje się poprzeczne rysy o charakterze skurczowym, spowodowane zbyt dużym rozstawem szczelin dylatacyjnych i stosowaniem betonu

o niewłaściwym składzie (zbyt wysokim w/c). Typowym uszkodzeniem są też wykruszenia betonu w linii połączenia tacy ze ścianą misy – zwłaszcza, gdy próbowano ten styk wypełnić przy użyciu kruchych zapraw (rys. 3). Czasem dochodziło też do podmycia tacy wskutek przelania chłodni lub nieszczelności sąsiadujących z nią instalacji (rys. 4).



Rys. 3. Przykłady uszkodzeń tacy ociekowej.



Rys. 4. Przykład przelania chłodni oraz nieszczelności zewnętrznej części rurociągu wody technologicznej.

Uszkodzenia i wady słupów podpierających powłokę

Słupy podpierające powłokę chłodni w większości starszych obiektów wykonywano jako prefabrykowane, w układzie ukośnym. W prefabrykatkach stosowano beton klasy (marki) znacznie wyższej niż w misie chłodni i w samej powłoce, co przekładało się na niską nasiąkliwość i generalnie dobrą jakość. W poszczególnych obiektach bywały jednak odstępstwa od tej reguły, co przykładowo pokazano na rysunku 5. Podstawową wadą, obserwowaną w znacznej liczbie słupów, było wykonanie zbyt cienkiej otuliny prętów zbrojeniowych (czasami nieudolnie naprawianej), skutkujące ich korozją (rys. 6). W nielicznych przypadkach obserwowano niewłaściwe osadzenie słupów lub ich wady geometryczne (rys. 7), a także uszkodzenia w wyniku osadzania w słupach stalowych wsporników (rys. 7). W pojedynczych przypadkach w chłodniach stwierdzono zmiany w pierwotnym układzie słupów, polegające na wycięciu jednej pary słupów ukośnych i zastąpieniu ich elementami pionowymi. Zabiegi takie stosowano w celu umożliwienia wjazdu ciężkiego sprzętu budowlanego do wnętrza chłodni podczas wymiany starego typu ociekaczy i ich konstrukcji wsporczej na nowsze rozwiązania.

W założeniu eksploatacyjnym słupy nie powinny mieć kontaktu z wodą technologiczną (naturalny ciąg powietrza powinien odchyłać strugi wody do wnętrza obiektu), lecz zakłócenia przepływu powietrza spowodowane podmuchami wiatru i wpływem sąsiadujących obiektów często powodują długotrwałe zalewanie części słupów. Zimą skutkuje to lokalnie silnym ich oblodzeniem (rys. 8).



Rys. 5. Przykłady wykonania słupów z betonu bardzo złej jakości.



Rys. 6. Przykłady korozji zbrojenia wskutek zbyt cienkiej otuliny (po prawej nieudana naprawa).



Rys. 7. Przykład nieprostoliniowego słupa (z lewej) i uszkodzenia spowodowanego niewłaściwym osadzeniem wspornika (z prawej).

Uszkodzenia i wady powłoki (płaszcz) chłodni

W wielu przypadkach powłoki chłodni wykazują szereg uszkodzeń korozyjnych zbrojenia, skutkujących lokalnymi lub powierzchniowymi odspojeniami i odpadaniem otuliny (rys. 9). Powyższe wynika z szeregu czynników, często występujących jednocześnie. Są to: wykonanie konstrukcji z betonu niskiej klasy (marki), a więc nasiąkliwego i o niskiej trwałości, niestaranne ułożenie zbrojenia, w tym niezachowanie projektowanej otuliny (w starszych obiektach z założenia dość cienkiej, zwłaszcza w wyższych fragmentach powłoki mającej grubość zaledwie 120 mm) oraz wady wykonawcze samego betonu (rozsortowanie i niewłaściwe zagęszczenie mieszanki). Powyższe często widoczne jest w postaci wyraźnych wycieków wody (rys. 10). W skrajnych przypadkach beton był tak słabej jakości, że wymagał wymiany całych pól – co zwykle ujawniało się po krótkim okresie eksploatacji. Większość opisanych wad ujawniała się

wyraźniej na zewnętrznej powierzchni płaszcza, co przypisać należy znacznej zmienności oddziaływań. Na wewnętrznej powierzchni warunki pracy były znacznie stabilniejsze; tu z kolei pojawiały się odspojenia warstwy ochronnej (jeśli była stosowana), a często widoczne są ślady wypłykiwania węgla wapnia świadczące o wyciekach wody wykraplającej się w betonie (rys. 11).



Rys. 8. Przykłady oblodzenia słupów chłodni.

W paru obiektach stwierdzono różnej intensywności imperfekcje geometryczne płaszcza chłodni, w skrajnym przypadku przekraczające wartość 1,0 m. Odchyłki takie były wynikiem niestaranego wykonawstwa. Ich obecność skutkuje powstaniem lokalnych obszarów zginania płaszcza (w założeniu pracującego w stanie błonowym), mogących doprowadzić do powstania silnych zarysowań.



Rys. 9. Przykłady powierzchniowych i wgłębnych uszkodzeń korozyjnych na zewnętrznej powierzchni płaszcza chłodni.



Rys. 10. Przykłady wycieków wody na zewnętrznej powierzchni płaszcza chłodni.

W dolnym paśmie płaszcza często obserwuje się uszkodzenia korozyjne spowodowane zawilgoceniem betonu (rys. 12), a lokalnie wady struktury betonu źle zagęszczonego w miejscach koncentracji zbrojenia płaszcza i prętów wyprowadzonych ze słupów.



Rys. 11. Przykłady odspojień powłoki ochronnej oraz wycieków węglanu wapnia na wewnętrznej powierzchni płaszcza chłodni.



Rys. 12. Przykłady uszkodzeń korozyjnych w obrębie dolnej krawędzi płaszcza chłodni (z prawej – po odkuciu otuliny).

Uszkodzenia i wady pierścienia wieńczącego (galerii)

Uszkodzenia w obrębie pierścienia wieńczącego są podobne jak w płaszczu chłodni, jednak są one lokalnie zwiększone wskutek ściekania wody opadowej (stałego zawilgocenia i korozji mrozowej) oraz rozsadzania betonu przez korodujące elementy barier stalowych. Przykłady pokazano na rysunku 13.



Rys. 13. Przykłady uszkodzeń korozyjnych w obrębie górnej galerii.

Uszkodzenia i wady wewnętrznych elementów nośnych

Prefabrykowane konstrukcje wsporcze (słupy i belki) elementów wyposażenia chłodni wykonywano z betonu dość wysokich klas, co przekładało się na niewielkie przekroje tych elementów. W starszych chłodniach (a takie są przedmiotem niniejszego opracowania) stosowano bardzo ciężkie zraszalniki wykonane z płyt eternitowych. Z czasem wymieniano je na lekkie bloki zgrzewane z folii, skutkiem czego istotnie malały obciążenia przekazywane na wewnętrzne belki i słupy prefabrykowane. Stąd, awarie tych elementów są dość rzadkie. Niemniej, podczas przeglądów często zauważyć można przypadki zbyt małej otuliny zbrojenia, skutkujące korozją niewłaściwie otulonych prętów zbrojeniowych oraz spękaniami ich otuliny (rys. 14). W belkach i wspornikach spotyka się również uszkodzenia o charakterze przeciążeniowych (rys. 15) – najczęściej spowodowane nieostrożnym montażem elementów, a więc istniejące od początku użytkowania obiektów.



Rys. 14. Przykłady efektów korozji zbrojenia w wewnętrznych słupach pod zraszalnikiem.



Rys. 15. Przykłady typowych uszkodzeń w belkach pod zraszalnikiem.

Odrębną grupę stanowią uszkodzenia korrozyjne monolitycznych konstrukcji wsporczych kolektorów wody. Są to typowe uszkodzenia korrozyjne, często wynikające z wykonania tych elementów z betonów dość niskich klas, z niewłaściwie dobranym kruszywem (rys. 16).

Uszkodzenia i wady pomocniczych konstrukcji stalowych

Podstawowe uszkodzenia elementów stalowych (drabin włazowych i barier) sprowadzają się do różnej intensywności korozji – w tym wżerowej, prowadzącej do perforacji elementów, a w skrajnych przypadkach do ich całkowitego zniszczenia. Intensywność tych uszkodzeń zwykle rośnie wraz z wysokością obiektu (najbardziej zniszczone są bariery na obwodzie galerii oraz górne fragmenty drabin włazowych), co wynika z ich ciągłego narażenia na silne zawilgocenie parą

technologiczną oraz na oddziaływanie gazów spalinowych z sąsiadujących kominów (rys. 17). W wielu obiektach stan barier stalowych wokół galerii był tak zły, że zostały one usunięte (rys. 18).



Rys. 16. Przykłady uszkodzeń korozyjnych konstrukcji wsporczych kolektorów wody.

W zakresie pierwotnych wad spotkać można liczne niedokładności geometryczne w połączeniach spawanych oraz, rzadziej, brak śrub mocujących elementy wsporcze drabin do konstrukcji żelbetowej (rys. 18). Również tu liczba wad rośnie wraz z wysokością obiektów – zapewne wskutek słabszej kontroli wykonawczej.



Rys. 17. Przykłady korozji bariery na górnej galerii i górnego fragmentu drabiny włazowej.



Rys. 18. Przykład usunięcia przerdzewiałej bariery (z lewej) oraz braku śruby mocującej wspornik pod drabiną włazową (z prawej).

4. Wybrane, typowe sposoby napraw

Naprawy uszkodzonych lub zużytych konstrukcji żelbetowych są standardowymi działaniami, wielokrotnie opisywanymi w literaturze i ujętymi w normach. Typowe są również

materiały stosowane w naprawach – w przypadku reprofilacji są to zwykle systemowe rozwiązania typu PCC lub ECC. Znaczne ubytki zbrojenia uzupełniane są dodatkowymi wkładkami stalowymi lub matami i taśmami CFRP, a naprawy osprzętu stalowego sprawdzają się do wymiany najsilniej skorodowanych elementów oraz oczyszczenia i zabezpieczenia antykorozyjnego pozostałych konstrukcji. Z uwagi na powszechność i standardowość takich napraw zrezygnowano tu z ich opisów. Podobnie, z uwagi na zastosowanie standardowych technik i materiałów, nie opisano napraw polegających na lokalnej wymianie (wykuciu i ponownym zabetonowaniu) obszarów płaszcza chłodni w strefach wykonanych z betonu o bardzo niskiej wytrzymałości (co w przeszłości miało miejsce w paru obiektach).

Częstą praktyką w przypadku chłodni ze znacznymi powierzchniowo uszkodzeniami powłoki (płaszcza) było stosowanie, zwykle na całej powierzchni, betonu natryskowego w warstwie od około 30 do nawet 100 mm. Zdaniem autora część takich napraw okazała się w praktyce mało skuteczna, a nawet szkodliwa – stąd poświęcono im parę słów.

Beton natryskowy jest powszechnie stosowany w przypadku napraw na dużych powierzchniach, wydaje się zatem wręcz stworzony do reprofilacji uszkodzeń płaszcza chłodni. Trzeba jednak pamiętać, że warunkiem skuteczności takich napraw jest właściwe zespolenie warstwy betonu natryskowego z oryginalnym podłożem – w przeciwnym bowiem wypadku nowy beton staje się balastem niewspółpracującym z oryginalną konstrukcją, przy okazji uniemożliwiając jej obserwację i bieżącą ocenę stanu technicznego. Z kontroli tak naprawianych obiektów wynika, że prawidłowo nałożony beton natryskowy bardzo dobrze współpracuje z konstrukcją oryginalnego płaszcza wtedy, gdy jest ułożony w warstwie grubości do 50 mm i zbrojony włóknami niemetalicznymi – jednak bez zbrojenia prętowego. Oczywiście są tu wyjątki, co pokazano przykładowo na rysunku 19, gdzie widoczne są uszkodzenia stosunkowo cienkiej warstwy niezbrojonego torkretu – zapewne spowodowane błędami technologicznymi popełnionymi przy przygotowaniu podłoża lub nakładaniu materiału. W wielu przypadkach, kiedy zastosowane zostało zbrojenie mocowanymi do oryginalnego płaszcza siatkami stalowymi, obserwować można odspojenie "nowej" powłoki od oryginalnej konstrukcji, po czasie skutkujące niemożliwym do skontrolowania przyrostem uszkodzeń, a często też przenikaniem i gromadzeniem się wody w szczelinie pomiędzy "starym" i "nowym" płaszczem (rys. 20). Powyższe najczęściej spowodowane jest technologią wykonania prac, gdzie najpierw są układane i mocowane siatki zbrojeniowe, a później, pasmami pionowymi, układany jest beton natryskowy. Torkretowanie prowadzone jest zwykle z wiszących podestów remontowych, które dociskając do zbrojenia powodują odrywanie wcześniej wykonanego pola nowego betonu. W efekcie naprawa po jakimś czasie przynosi więcej szkód niż pożytku, a w przypadku odspojen obejmujących znaczne powierzchnie praktycznie jedynym wyjściem jest kosztowne i czasochłonne skucie warstwy betonu natryskowego i ponowne wykonanie napraw w sposób gwarantujący ich właściwą trwałość.



Rys. 19. Przykłady odspojen cienkiej warstwy niezbrojonego betonu natryskowego.

W tym miejscu warto przypomnieć o pozornie oczywistym zabiegu, jakim jest stwierdzenie stanu chemicznego betonu który ma podlegać naprawom i dobranie materiałów naprawczych do uzyskanych wyników. W praktyce nie zawsze jest to stosowane, a badania betonu sprowadzone są do oceny jego wytrzymałości (dobrze, jeśli na pobranych próbkach rdzeniowych, gorzej, kiedy mało wiarygodnymi metodami sklerometrycznymi). Tymczasem, wobec wieloletniego narażenia konstrukcji chłodni na działanie agresywnej atmosfery przemysłowej, a także na stosowane przez lata zakwaszanie wody technologicznej w celu ograniczenia wzrostu glonów, beton w konstrukcjach chłodni często wykazuje zły stan chemiczny, skutkujący niewłaściwą ochroną antykorozyjną zbrojenia także w miejscach bez wyraźnych uszkodzeń lub wad otuliny. Powyższe musi być brane pod uwagę w planowaniu prac remontowych – zwłaszcza gdy planowana jest dalsza, długoletnia eksploatacja chłodni.

Trzeba też pamiętać o fakcie, że potrzeba istnienia danej chłodni uwarunkowana jest żywotnością obsługiwanej przez nią instalacji, którą najczęściej jest blok energetyczny. Wobec likwidacji kolejnych bloków (aktualnej lub planowanej) coraz więcej chłodni jest lub niedługo będzie niepotrzebnych. Znaczne koszty wyburzenia tych budowli powodują jednak, że część użytkowników decyduje się na pozostawienie nieużywanych chłodni – co, przy świadomości, że konstrukcje te już nigdy nie wrócą do eksploatacji, każe inaczej spojrzeć na zakres i technologię niezbędnych prac naprawczych. W takich przypadkach często wystarczy zapewnić bezpieczeństwo samego obiektu i jego otoczenia, ograniczając prace remontowe do niezbędnego minimum gwarantującego bezawaryjne trwanie chłodni w okresie do jej przewidywanej likwidacji.



Rys. 20. Odspojenie warstwy betonu natryskowego (z lewej); ślady wycieków wody (wymyte sole wapnia) spod odspojonej warstwy betonu natryskowego (z prawej).

5. Podsumowanie

Eksploatowane w Polsce chłodnie kominowe w znacznej części powstały w latach 60 i 70. dwudziestego wieku, mają zatem za sobą kilkadziesiąt lat eksploatacji w skrajnie trudnych warunkach. To, a także fakt wykonania części tych obiektów z relatywnie słabych betonów i z licznymi wadami pierwotnymi powoduje, że ich stan techniczny jest bardzo różny – od dobrego, po zagrażający awarią, a nawet katastrofą budowlaną. Większość istniejących chłodni była w swojej historii poddana pracom remontowym o różnym zakresie i różnej kulturze wykonania. W skrajnych przypadkach prace te nie tylko nie poprawiały ich stanu, ale wręcz prowadziły do pogorszenia ich kondycji w dłuższym przedziale czasu.

W opracowaniu zestawiono najczęściej spotykane wady i uszkodzenia chłodni, odnosząc się do przyczyn ich powstania. Jednocześnie jedynie wspomniano o pewnych rodzajach

napraw, w większości bowiem mają one charakter typowy i wykonywane są przy użyciu powszechnie stosowanych materiałów.

Pomimo znacznej powtarzalności rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych każda z chłodni musi być traktowana indywidualnie, bowiem zarówno liczne wady pierwotne, jak i bardzo różne warunki eksploatacyjne po latach skutkują znacznym zróżnicowaniem stanu technicznego tych obiektów, nawet w przypadkach sąsiadujących ze sobą, bliźniaczych chłodni. Obiekty te pokazują jednak, jak trwałe potrafią być konstrukcje żelbetowe eksploatowane w skrajnie niekorzystnych warunkach.

Natural draft cooling towers: typical defects and damage after long-term operation

Key words: cooling tower, reinforced concrete structure, corrosion, chemical testing of concrete, repairs