

ZAGROŻENIE KATASTROFĄ POSTĘPUJĄCĄ WIEŻ (ZBIORNIKÓW) SŁUŻĄCYCH PRODUKCJI STĘŻONEGO KWASU SIARKOWEGO

OLGIERD DONAJKO, e-mail: olgierd.donajko@pl.tuv.com
TÜV Rheinland Polska Sp. z o.o.

Streszczenie: W artykule przedstawiono stan techniczny konstrukcji, urządzeń i instalacji służących do produkcji stężonego kwasu siarkowego w jednym z zakładów Dolnego Śląska, a w szczególności wież suszących i absorpcyjnych, oraz opisano zagrożenia wynikające z ok. 30-letniej nieprzerwanej ich eksploatacji w warunkach charakteryzujących się bardzo wysoką agresją w stosunku do stali i betonu. Przedstawiono również przewidywany scenariusz katastrofy postępującej spowodowanej nadmiernym osiadaniem konstrukcji i jego wpływem na istniejącą zabudowę wewnętrzną wież (zbiorników).

Słowa kluczowe: kwas siarkowy, wieże suszące, wieże absorpcyjne, osiadanie, korozja, katastrofa postępująca

Wstęp

Celem ekspertyzy opracowanej w roku 2016 było określenie stanu technicznego wież suszących i absorpcyjnych tacy węzła 300 wydziału PK (Produkcji Kwasu) jednego z zakładów przemysłowych Dolnego Śląska oraz ocena spowodowanych tym zagrożeń BHP, określenie zakresu i terminów wymaganych napraw oraz określenie wpływu stanu technicznego wież na jakość produkowanego kwasu i bezpieczeństwo dalszej eksploatacji obiektów.

W zakres opracowania wchodziły:

- przeprowadzenie wizji lokalnej wraz z dokumentacją fotograficzną;
- wykonanie badań ultradźwiękowych obecnej grubości elementów wież;
- badania geodezyjne odkształceń konstrukcji;
- wykonanie kontrolnych obliczeń statycznych wież, uwzględniających obecny stan konstrukcji;
- wnioski i zalecenia wynikające z przeprowadzonej analizy.

Opis analizowanej konstrukcji

Zespół susząco-absorpcyjny Wydziału Produkcji Kwasu Siarkowego wybudowany według projektów z lat 1977–1978 jest eksploatowany od roku 1986 bez żadnych przerw (za wyjątkiem postojów technologicznych zakładu) do chwili obecnej. Żywotność tego typu konstrukcji określa się na maksymalnie 20 lat.

Podstawowymi elementami zespołu są 2 pary wież suszących i absorpcyjnych wraz z urządzeniami towarzyszącymi. Węzeł wyposażony jest również w konstrukcję pomostów roboczych i wsporczych w postaci ramy przestrzennej żelbetowej.

Wieżę są pionowymi zbiornikami walcowymi wykonanymi ze stali St3S.



Rys. 1. Widok baterii zbiorników – wież suszących i absorpcyjnych



Rys. 2. Żelbetowe pomosty robocze i wanna ochronna

Wieże suszące i absorpcyjne wg. [9]

Wieże zlokalizowane w węźle susząco-absorpcyjnym składają się ze stalowych zbiorników walcowych – o średnicy zewnętrznej 4900 mm i wysokości części cylindrycznej dla wież suszących 14026 mm, zaś wież absorpcyjnych 16228 mm. Pokrywy wież stożkowe, wykonane z blachy stalowej o grubości 14 mm. Płaszcze części cylindrycznych wykonane z blach stalowych o grubości 10 mm, z segmentów o wysokości 2500 mm, dna płaskie z blachy o grubości dla wież suszących 16 mm, zaś dla wież absorpcyjnych 18 mm. Dna spawane do płaszczy wież dwustronnymi spoinami pachwinowymi, przy czym spoiny wewnętrzne wykonano o grubości 5 mm z zeszlifowanym wklęsłym licem (w celu wykonania łukowego przejścia dna w bok wieży), zaś spoiny zewnętrzne o grubości 7 mm.

Płaszcze wież suszących wzmocnione pierścieniami obwodowymi wykonanymi z kątowników L100×100×12 w rozstawie pionowym co 2250 mm. Płaszcze wież absorpcyjnych wzmocnione pierścieniami obwodowymi wykonanymi z ceowników C160, spawanymi do płaszcza na wysokościach 13000 mm i 14400 mm. Pierścienie stanowią jednocześnie oparcie konstrukcji stalowego pomostu roboczego rozpiętego między wieżami.

Wieże spoczywają na fundamentach żelbetowych za pośrednictwem rusztów z 11 szt. dwuteowników I200, stężonych śrubami M20 (6 szt.).

Dna i płaszcze wież zostały wyłożone od wewnątrz 2 warstwami papieru azbestowego i obmurowane cegłą kwasoodporną. Grubość wymurówki den 300 mm, ścian 114 mm.

Wewnątrz wież wymurowano po 16 szt. słupów z cegły kwasoodpornej, na których (i na gzymsach wymurowanych w okładzinach płaszczy wież) ułożono ruszty z kształtek ceramicznych kwasoodpornych podpierające wypełnienie wież.

Na rusztach ułożone 2 warstwy pierścieni ceramicznych Raschiga 4-150, na których ułożono kolejne 2 warstwy pierścieni 4-80. Na nich luźno usypana warstwa pierścieni Raschiga 1-50 o grubości warstwy 4932 mm.

Na wysokości 9984 mm wewnątrz wież zlokalizowano zraszacze żeliwne zapewniające równomierne rozproszczenie kwasu w całym przekroju wież, zraszacze oparte na gzymsach wymurowanych w obmurówkach z cegły kwasoodpornej.

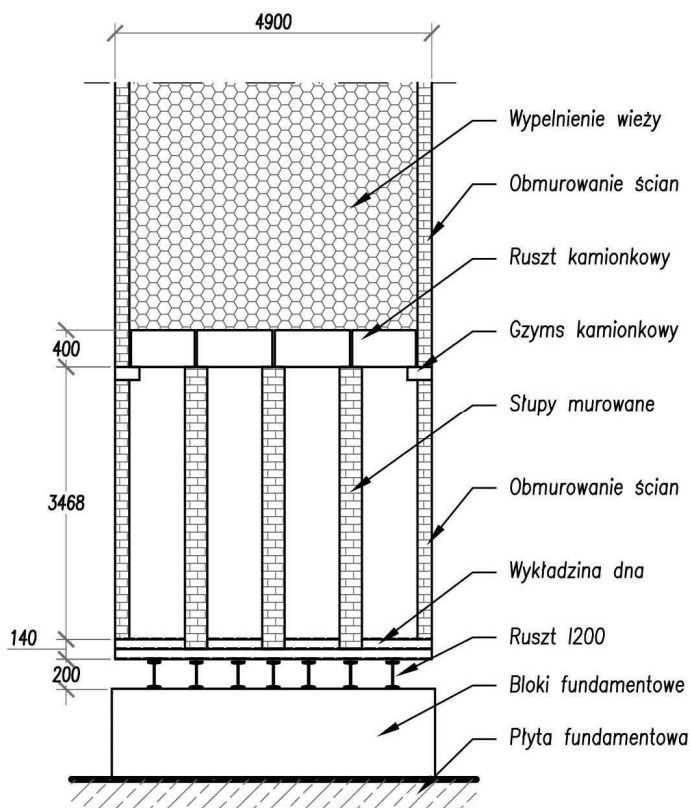
W świetle kolektorów zraszaczy ułożono warstwami pierścienie 2-50, o grubości warstwy 360 mm. Ostatnią warstwę stanowią luźno usypane pierścienie typu 1-35 o grubości warstwy 288 mm.

Kwasoodporne wyroby ceramiczne cechuje duża porowatość i niska wytrzymałość mechaniczna, szczególnie na kruche pękanie.

W górnej części wieży suszącej, na wysokości 12650 mm zlokalizowano odemglacz świecowy MONSANTO mocowany do płaszcza wieży za pośrednictwem wspawanego obwodowego kątownika L120×120×10. W wieży absorpcyjnej na tej wysokości zlokalizowano zestaw 13 demisterów KOCH mocowanych za pośrednictwem płyty stalowej z blachy o grubości 10 mm do płaszcza wieży za pośrednictwem wspawanego obwodowo kątownika L120×120×10.

Wieże wyposażone w króćce do połączenia z instalacjami technologicznymi i włązy rewizyjne.

Schemat istotnej dla treści niniejszego artykułu części dolnej konstrukcji wież pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat budowy dolnych części wież suszących i absorpcyjnych

Posadowienie węzła susząco-absorpcyjnego wg. [9]

Węzeł susząco-absorpcyjny składający się z wież, wraz z pomostami roboczymi oraz pozostałych urządzeń technologicznych, posadowiony jest na wspólnej płycie żelbetowej o grubości 80 cm, wykonanej z betonu B 20 MPa, zbrojonej stalą St0S. Płyta stanowi jednocześnie dno wanny ochronnej, zabezpieczającej przed rozlewaniem się kwasu i jego przedostawaniem się do środowiska.

Na wannie wykonane ścianki żelbetowe (bloki fundamentowe) podpierające ruszty stalowe, na których spoczywają wieże suszące i absorpcyjne.

Wnętrze wanny zostało w roku 2010 wyremontowane i wyłożone wykładziną kwaso-odporną, osłoniętą następnie płytkami kamionkowymi kwasoodpornymi.

Ze względu na brak dostępu nie naprawiono miejsc oparcia rusztów stalowych na żelbetowych ściankach wsporczych (blokach fundamentowych).

Wizja lokalna w obiekcie

W ramach zlecenia dokonano wizji lokalnej polegającej na dokładnych oględzinach wież, zinwentaryzowaniu widocznych miejsc napraw płaszczy wież połączonej z wykonaniem badań nieniszczących obecnej grubości blach tworzących płaszcze wież, dokonano pomiarów geodezyjnych rzeczywistej geometrii płaszczy wież oraz pomiarów stwierdzonych podczas wizji lokalnej szczelin pomiędzy krawędzią części dennych wież a rusztami podporowymi.

W czasie przeprowadzonej wizji lokalnej w zakresie stanu zewnętrznych powłok antykorozyjnych i stanu powierzchni stwierdzono:

- Wieże suszące o odtworzonej zewnętrznej powłoce antykorozyjnej wykazują miejscowe ubytki farby i miejscowe uszkodzenia powłok spowodowane działaniem kwasu w wyniku jego parowania i wycieków.
- Wieże absorpcyjne nie były od wielu lat malowane, powłoki antykorozyjne są w bardzo złym stanie, na znacznej powierzchni w ogóle ich brak. Stwierdzono daleko posuniętą korozję powierzchniową części płaszczy wież, gdzie odpadające płyty rdzy mają miejscami ponad 1 mm grubości.

Płaszcze wszystkich wież były wielokrotnie naprawiane przez doraźne przyspawanie łat stalowych w miejscach wycieku [rys. 4]. Miejsca naprawione doraźnie były zastępowane nowymi blachami poszycia powłoki wież w okresach postoju technicznego huty. Według otrzymanych informacji przecieki zdarzają się często, a miejsca ich występowania zgrupowane są w rejonach narażonych na silniejsze oddziaływanie kwasu.

Rurociągi dochodzące do wież także wykazują ślady napraw (łaty naszpawane na rury).



Rys. 4. Naprawy płaszcza wieży



Rys. 5. Korozja spoiny łączącej płaszczy z dnem

We wszystkich wieżach stwierdzono również znaczne wybrzuszanie się blach dennych wież, płaszcze wież uniesione w stosunku do rusztu podporowego, podparte klinami stalowymi. Oddalenie krawędzi dna od rusztu podporowego wynosi 15–45 mm. Według informacji otrzymanych w Hucie, zjawisko to zaczęło występować przed ok. 10-15 laty, pogłębiając się sukcesywnie.

W trakcie przeprowadzonej wizji lokalnej stwierdzono również bardzo zły stan konstrukcji stalowych pomostów roboczych wież suszących i absorpcyjnych, gdzie w chwili obecnej brak

w ogóle zabezpieczeń antykorozyjnych a korozja niektórych elementów rozwinęła się w stopniu redukującym ich nośność i zmniejszającym bezpieczeństwo obsługi.

Wyniki badań ultradźwiękowych

W ramach wizji lokalnej przeprowadzono wyrywkowe badanie grubości blach płaszczy wież za pomocą miernika ultradźwiękowego METRISON SONO M610. Pomiary wykonywano z pomostów roboczych i podnośnika koszowego w miejscach umożliwiających bezpośredni dostęp do płaszczy wież.

W trakcie pomiarów stwierdzono dużą niejednorodność grubości materiału płaszczy wież. Różnice w pomiarach w miejscach sąsiadujących osiągały wartości powyżej 1,5 mm. Świadczy to o nierównomiernym zużyciu płaszczy i powstawaniu miejsc lokalnych głębokich wżerów korozyjnych pod wpływem działania kwasu.

W wyniku przeprowadzonych pomiarów stwierdzono ubytek grubości blach płaszczy wież, który zredukował ich grubość z 10 mm do obecnych 7,5–8,5 mm na dużych powierzchniach blach, osłabionych w tych rejonach dodatkowo miejscowymi ubytkami korozyjnymi stali do wartości odczytów grubości blach wynoszących 4,8–5,5 mm.

Odształcenia konstrukcji

W ramach wizji lokalnej przeprowadzono geodezyjny pomiar odształceń wież. Dokonano pomiarów odchylenia powierzchni płaszczy wież od teoretycznej powierzchni walcowej i od pionu. Wszystkie pomiary wykonano dla każdego poziomu pomiarów w 4 punktach, rozmieszczonych wzdłuż obwodu płaszcza wieży.

Inwestor nie dysponuje inwentaryzacją geodezyjną z okresu budowy i oddawania wież do eksploatacji. W związku z tym wykonane pomiary można było odnosić wyłącznie do wartości teoretycznych projektowanego kształtu wież przy założeniu ich wstępnego przekroju okrągłego, pionowości wstępnej zgodnej z dopuszczalnymi normami i projektowanego wspólnego poziomu oparcia den wszystkich wież na blokach fundamentowych.

W wyniku pomiarów stwierdzono wychylenie osi wież od pionu które osiągnęło w przypadku wieży suszącej nr 1 wielkość 52 mm (co stanowi w stosunku do wysokości 0,0037%), przy czym odchylenie osi wież nie przebiega równomiernie.

Płaszcze wież uległy owalizacji. Przyrost długości osi dłuższej elipsy od promienia okręgu wynosi do 35,2 mm, zaś skrócenie osi krótszej do 59 mm.

We wszystkich wieżach stwierdzono również znaczne wybrzuszenie się blach dennych wież, płaszcze ścian bocznych wież uniesione w stosunku do rusztu podporowego, podparte klinami stalowymi [rys. 6]. Oddalenie krawędzi dna od rusztu podporowego wynosi dla wież suszących 25–45 mm, zaś dla wież absorpcyjnych 15–40 mm. Płaszcze ścian bocznych w rejonie mocowania blach dennych nie zostały odształcone, całość zmiany geometrii połączenia została przekazana na spoiny pachwinowe złącza.

W związku z powyższym dokonano pomiarów szczeliny między krawędzią dna wieży a rusztem stalowym, na którym oparto wieżę. Pomiary dokonano w 4 punktach na obwodzie dna wieży.

Wykonano również niwelację wzajemnego położenia charakterystycznych punktów posadowienia poszczególnych wież. Stwierdzono odchylenia od wspólnej płaszczyzny „zerowej” zbliżone w parach wież suszących i absorpcyjnych.



Rys. 6. Wybrzuszenie dna wieży i kliny podpierające pobocznice



Rys. 7. Wpływ wieloletniego działania kwasu na beton podpór zbiorników

Ocena stanu technicznego wież

Ocenę stanu technicznego wież suszących i absorpcyjnych wykonano w oparciu o wyniki wizji lokalnej i przeprowadzone kontrolne obliczenia statyczno-wytrzymałościowe.

W ramach analizy statycznej wykonano zestawienie obciążeń stałych i zmiennych działających na konstrukcję wież suszących i absorpcyjnych, analizę wytrzymałościową wież w obecnym stanie zużycia korozyjnego poddanych obciążeniom stałym i zmiennym, analizę wpływu odkształceń płaszcza wież na nośność konstrukcji.

W archiwum właściciela wież nie odnaleziono obliczeń statycznych wież absorpcyjnych i suszących. W związku z tym dokonano zebrania obciążeń dla stanu istniejącego, zgodnie z PN-EN 1991 (Eurokod 1) [2].

Przyjęto dane odnośnie ciśnienia i rodzajów oraz ciężarów materiałów wypełniających według danych w DTR i udostępnionej dokumentacji powykonawczej wież [9].

Obciążenia stałe i zmienne zestawiono dla obecnego wyposażenia wież.

W obliczeniach zastosowano zredukowane grubości blach poszczególnych segmentów płaszczy, zgodnie z uśrednionymi wynikami pomiarów na obiekcie.

Do płaszczy w schemacie obciążeń stałych przyłożono powierzchniowe obciążenie zastępcze rozłożone na części obwodu poszczególnych segmentów płaszczy, uwzględniające ponadnormatywne odkształcenia płaszczy wież (owalizację) w stosunku do teoretycznej powierzchni walcowej. Wielkość obciążenia dobrano metodą kolejnych przybliżeń aż do otrzymania odkształceń w kombinacji składającej się z obciążeń stałych i zmiennych – obciążenie ciśnieniem, o wartości odkształceń płaszcza zbliżonej do wyników pomiarów z natury.

Obciążeniami zmiennymi było obciążenie ciśnieniem technologicznym oraz obciążenie wiatrem.

Sprawdzono nośność na wyboczenie blach płaszcza wież w dwóch charakterystycznych miejscach dla zredukowanych grubości blach [3].

Wyniki kontrolnych obliczeń statycznych wież

Konstrukcję wież sprawdzono obliczeniowo dla rzeczywistej grubości blach, uwzględniając ubytki korozyjne i odkształcenia płaszcza.

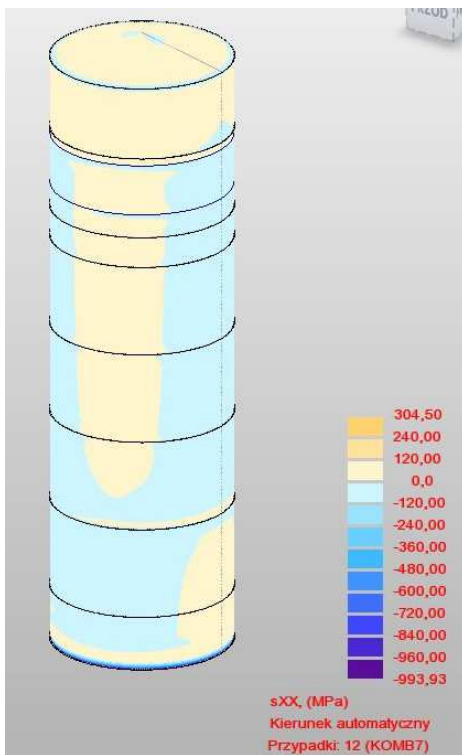
W trakcie przeprowadzanych badań stwierdzono znaczne wybrzuszenie płyt dennych wież w stosunku do płaszczyzny teoretycznej dna [rys. 6].

W ramach analizy uwzględniono odkształcenie płyt dennych i wprowadzone przez to oddziaływania na strefę przydenną płaszczy. Należy zwrócić uwagę na znaczne spiętrzenie naprężeń spowodowane sztywnym węzłem połączenia krawędzi płaszczy z odkształconymi dnami i pokrywami. W tych miejscach występują lokalne przekroczenia nośności materiału płaszczy wież, dochodzące do 373%.

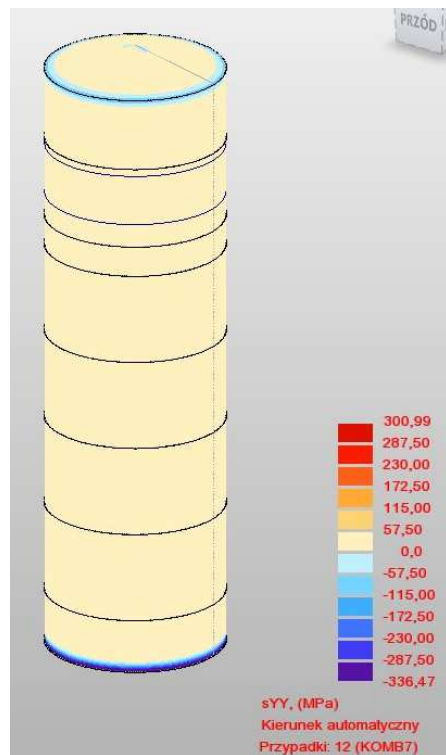
W wyniku obliczeń stwierdzono, że konstrukcje powłokowe wież (pomijając miejscowe spiętrzenie naprężeń stref dennych) w projektowanym modelu sztywności węzłów w obecnym stopniu zużycia korozyjnego charakteryzują się wyężeniem do 45%, spełniając warunki stanu granicznego nośności.

Walcowe płaszczy wież mocowane były do płaskich blach dennych obustronnymi spoinami pachwinowymi. Na skutek odkształcenia plastycznego den wież nastąpiło przekroczenie dopuszczalnego odkształcenia złączy, zniszczenie wewnętrznych spoin pachwinowych i penetracja kwasu do wnętrza złączy.

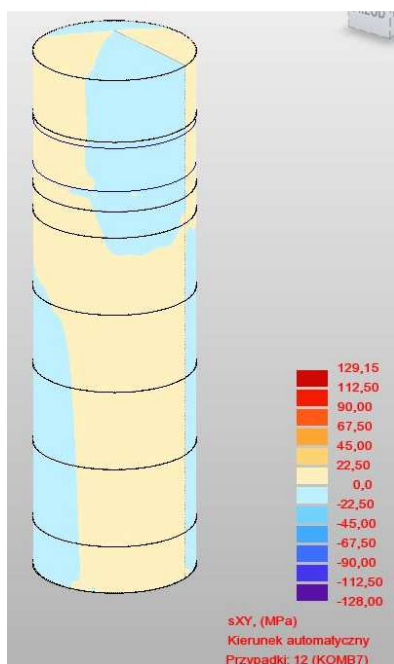
Obecnie złącza nie spełniają swojej roli, powierzchnia zewnętrzna złączy, szczególnie w wieżach absorpcyjnych, wykazuje daleko posunięty proces korozyjny [rys. 5].



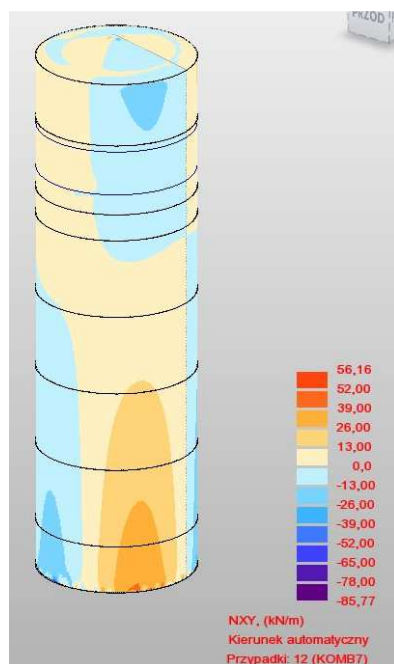
Rys. 8. Mapa naprężeń SXX z programu ROBOT dla pobocznicy utwardzonej w dnie



Rys. 9. Mapa naprężeń SYX z programu ROBOT dla pobocznicy utwardzonej w dnie



Rys. 10. Mapa naprężeń SXY z programu ROBOT dla pobocznic utwardzonej w dnie



Rys. 11. Mapa naprężeń NXY z programu ROBOT dla pobocznic utwardzonej w dnie

W obliczeniach kontrolnych uwzględniono przewidywane uszkodzenie spoin pachwinowych łączących płaszcze wież z płytami dennymi. Zrealizowano to zmniejszając sztywność złącza, tj. wprowadzając w modelu obliczeniowym podparcie przegubowe płaszczy wież.

W otrzymanych rezultatach stwierdzono spełnienie warunków stanu granicznego nośności spoin zewnętrznych łączących płaszcze z dnem w schemacie maksymalnego obciążenia konstrukcji. Wyężenie blach płaszczy wynosi 45%, zaś spoin (tylko zewnętrznych) 21%. Jest to jednak wynik nie uwzględniający zmniejszenia efektywnego wymiaru spoin spowodowanego postępującą destrukcją kwasową wewnątrz złączy poprzez nieszczelność zniszczonych spoin wewnętrznych.

Posadowienia i płyty denne. Katastrofa postępująca

Prawdopodobną przyczyną odkształcenia się den wież jest destrukcja żelbetowych bloków fundamentowych, spowodowana wieloletnią penetracją kwasu z wycieków powstałych przez nieszczelności płaszczy, rurociągów i złączy instalacji (płaszcze wież utrzymywane są w niezmiennym położeniu przez dochodzące instalacje i konstrukcje pomostów roboczych przy osiadających rusztach podpierających dna wież, co powodowało powstanie szczelin między płaszciami a rusztami podporowymi. Podklinowanie płaszczy zmniejszało naprężenia wywołane przez przemieszczenia wież i przekazywane w dochodzące do nich rurociągi).

Przyczyną osiadania rusztów podporowych może być destrukcja kwasowa bloków podporowych (fundamentowych) pod samymi belkami rusztu, bądź w miejscach połączenia ich z płytą denną. Z uwagi na znacznie utrudniony dostęp niemożliwe jest w chwili obecnej jednoznaczne wskazanie miejsca powstania osiadań, a zatem ostateczne podanie sposobu i zakresu koniecznej naprawy.

Wnętrze wież wypełnione nasączonymi kwasem (czyli o znacznie większej masie niż w stanie suchym) pierścieniami Raschiga, których ciężar przenoszony jest przez ruszty wewnątrz wież. Belki rusztów oparte na murowanych słupach i murowanej okładzinie ścianek wież. Elementy te (belki rusztu, słupy i gzymsy podpierające) wykonane z materiału kruchego, w dodatku poddane wieloletniemu działaniu kwasu siarkowego, przy zmianie geometrii podpór mogą popękać powodując zawalenie się zabudowy wnętrza wież. Dodatkowo, narożne słupy przez wybrzuszenie dna wież, mają bardzo niekorzystny sposób podparcia – w jednym narożniku. Powoduje to powstanie w słupach dodatkowych momentów zginających, na które słupy nie były projektowane.

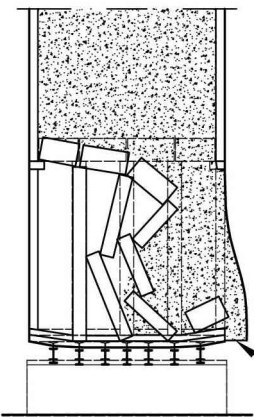
Załamanie choćby jednej belki rusztu podpierającego wypełnienie z pierścieni Raschiga spowoduje wsypanie się wypełnienia do przestrzeni między słupami, generując poprzez boczne obciążenie słupów katastrofę postępującą i destrukcję całej struktury podpierającej wypełnienie.

Dynamiczne oddziaływanie zawalenia się wypełnienia wieży na pobocznice i połączenie jej z dnem może spowodować rozerwanie już uszkodzonego połączenia i niekontrolowany wpływ kwasu, oraz naruszyć szczelność połączeń rurociągów z wieżami. Schemat powstania katastrofy postępującej przedstawiono w [tablicy 1]:

Tablica 1. Katastrofa postępująca

Wypełnienie Ruszt Gzyms Słup murowany	Belki rusztu opierają się na wypoziomowanych podporach w postaci murowanych słupów i gzymsu wykonanego w obmurówce wewnętrznej wieży, rozkładając obciążenia na duże powierzchnie styku. Słupy wewnętrzne murowane, obciążone osiowo.
Śpiętrzenie naprężeń wykruszenie podparcia Śpiętrzenie naprężeń wykruszenie podparcia Zniszczenie spoiny wewnętrznej	Odskształcenie płyty dennej w rejonie pobocznic powoduje zmianę geometrii oparcia kamionkowych belek rusztu na słupach i gzymsie – powoduje powstanie punktowych miejsc spiętrzenia naprężeń zarówno w ruszcie jak i elementach podpierających, co może prowadzić do wykruszenia się materiałów i opadnięcie belki. Odskształcenie blach konstrukcji wieży w rejonie połączenia płaszcza z płytą denną powoduje zniszczenie wewnętrznej spoiny pachwinowej łączącej te elementy, osłabiając złącze i pozwalając na penetrację kwasu do jego wnętrza.

Tablica 1. Katastrofa postępująca – c.d.

	Pęknięcie którejkolwiek belki rusztu spowoduje gwałtowne zsypanie się wypełnienia komory centralnej wieży w postaci pierścieni Raschiga do przestrzeni pod rusztem. Boczny napór osuwiska spowoduje złamanie słupów murowanych, które nie były projektowane na parcie boczne, zawalenie się kolejnych belek rusztu i dalsze osuwanie się wypełnienia. Dynamiczne działanie osuwiska spowoduje zniszczenie osłabionego złącza płyty dennej wieży z jej pobocznicą, odkształcenie pobocznicy i w efekcie – rozszczelnienie płaszczu.
Gwałtowne odkształcenie płaszczu może spowodować również uszkodzenie i rozszczelnienie połączeń rurociągów dostarczających gaz i odbierających kwas siarkowy.	

Ocena dotychczasowych napraw

Wieże suszące i absorpcyjne były sukcesywnie w ciągu swojej eksploatacji naprawiane. Pojawiające się przecieki spowodowane kwasową perforacją blach były na bieżąco zakrywane naspawanymi łatami z blach stalowych. Spawanie łat odbywało się przy wypływającym z nieszczelności kwasie, przez co praca ta odbywała się w dużym zagrożeniu zdrowia i życia pracowników, zaś jej jakość pozostawiała wiele do życzenia.

Naspawane łaty były utrzymywane do czasu najbliższego postoju technologicznego oddziału, podczas którego po opróżnieniu wież z kwasu wymieniano całe odcinki poszycia płaszczy wież.

Zastosowaną technologię można ocenić jako prowizoryczną, ale jedyną możliwą do zastosowania w warunkach ciągłej produkcji. Takie rozwiązanie może zostać zastosowane wyjątkowo, w przypadkach jednostkowych, a nie przy tak silnym zużyciu konstrukcji, czego wyrazem jest częstotliwość występowania perforacji blach.

Przeprowadzane sukcesywnie naprawy płaszczy wież, polegające na wymianie całych odcinków blach powłok walcowych płaszczy wież przy jednostronnym dostępie do konstrukcji spowodowało odspojenie wykładzin wewnętrznych od płaszczy, a zatem możliwość bezpośredniego dostępu stężonego kwasu siarkowego do wewnętrznych powierzchni płaszczy wież. W występujących wahaniach stężenia kwasu w wieżach, w momentach obniżonego stężenia następowały wzmożone procesy korozyjne, które przez niejednorodną strukturę stali postępowały nierównomiernie. Szczególnie narażone na destrukcję są miejsca o naruszonej strukturze materiału, jak spoiny.

Stan ten pogarsza się z czasem, czego dowodem jest zwiększająca się liczba miejsc naprawianych, powodujących kolejne nieszczelności wykładzin oraz coraz bardziej zaawansowany proces korozji wewnątrz wież.

Bezpieczeństwo konstrukcji i pracowników

Zgodnie z przeprowadzoną analizą obliczeniową i wnioskami z badań geometrii konstrukcji można stwierdzić, że stan wież suszących i absorpcyjnych zagraża katastrofą postępującą spowodowaną zawaleniem się wewnętrznych konstrukcji podpierających wypełnienie

z pierścieni Raschiga. Katastrofa ta może nastąpić w każdej chwili, a moment jej wystąpienia jest niemożliwy do przewidzenia.

Schemat powstania katastrofy postępującej przedstawiono schematycznie na rysunkach zamieszczonych w [tabl. 1].

W chwili obecnej powtarzające się perforacje płaszczy wież powodują wycieki stężonego kwasu siarkowego. Jest to zjawisko zwiększające w znacznym stopniu zagrożenia występujące przy normalnej eksploatacji tego typu obiektów.

Wystąpienie awarii konstrukcji wypełniającej wieże może spowodować – przez działanie dynamiczne zmieniające geometrię płaszczy wież – rozszczelnienie się połączeń spawanych dna z pobocznicą wież, połączeń kołnierзовych istniejących rurociągów z wieżami oraz uszkodzenie samych rurociągów, generując dodatkowe zagrożenia gwałtownego wycieku kwasów i gazów do środowiska. Utrudni również w znacznym stopniu wykonywanie jakichkolwiek prac związanych z zabezpieczaniem miejsca i usuwaniem skutków awarii.

Konstrukcja wież, ich wypełnienia, oraz zastosowana technologia produkcji kwasu poprzez brak wpływu ewentualnych pęknięć zabudowy wewnętrznej na jakość wyrobu gotowego eliminuje pojawienie się w okresie bezpośrednio poprzedzającym wystąpienie katastrofy postępującej sygnałów ostrzegających o zbliżającej się awarii.

Podsumowanie

Z opisaney powyżej przeprowadzonej analizy stanu konstrukcji wież wynika, że:

- Stan powłoki bocznej wież można określić jako dostateczny. Miejsca lokalnych przecieków spowodowanych perforacją płaszczy wież można doraźnie naprawiać łatami z blach stalowych. Jest to rozwiązanie tymczasowe, do momentu wymiany wież;
- Wyteżenie blach płaszczy wież wynosi ok. 45%. Stwierdzono przekroczenie stanu granicznego nośności blach płaszczy wież w rejonie spoin łączących płaszcze z dnami (wyteżenie 373%);
- W chwili obecnej po zniszczeniu spoin wewnętrznych i spowodowaną tym zmianą sztywności złącza oraz po podklinowaniu krawędzi płaszcza wyteżenie spoin wynosi 21%, powiększane przez postępującą destrukcję kwasową złącza. Złącze nie nadaje się do dalszej eksploatacji;
- Dno wież przez odkształcenie plastyczne w stopniu przekraczającym dopuszczalne nie kwalifikuje się do dalszej eksploatacji;
- Osiadanie rusztu podporowego opartego na fundamentach wież przekracza wartości dopuszczalne. Destrukcja części fundamentów wymaga natychmiastowych działań naprawczych i wzmacniających;
- Zakres koniecznych prac wzmacniających fundamenty możliwy będzie do określenia po demontażu wież;
- Odkształcenie den wież spowodowało uszkodzenie spoin łączących dna z płaszciami wież. Stan ten zagraża utratą szczelności połączenia i niekontrolowanym wypływem kwasu;
- Zabudowa wewnętrzna wież przez zmianę geometrii podparcia słupów i belek rusztów grozi w każdej chwili wystąpieniem katastrofy postępującej wewnątrz wież, co poprzez wygenerowaną zmianę geometrii pobocznic może pociągnąć za sobą uszkodzenie instalacji rurowzych zasilających urządzenia i odbierających wyprodukowane kwasy oraz rozszczelnienie połączenia den wież z płaszciami;
- Wszystkie awary powodujące rozszczelnienie instalacji stanowią poważne zagrożenie zdrowia i życia pracowników przebywających w pobliżu instalacji i znaczne obciążenie dla środowiska;

- Nie jest możliwe podanie okresu bezpiecznej eksploatacji wież suszących i absorpcyjnych. Awaria podparcia wypełnienia generująca katastrofę postępującą może wystąpić w każdej chwili.

Literatura

1. PN-EN 1990 Podstawy projektowania konstrukcji.
2. PN-EN 1991 Oddziaływania na konstrukcje, różne części.
3. PN-EN 1993 Projektowanie konstrukcji stalowych, różne części.
4. PN-EN 1090-1+A1:2012P Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych – Część 1: Zasady oceny zgodności elementów konstrukcyjnych.
5. PN-EN 1090-2+A1:2012P Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych – Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych.
6. J. Ziółko „Zbiorniki metalowe na ciecze i gazy” Arkady, Warszawa 1970.
7. E. Masłowski, D. Spiżewska „Wzmacnianie konstrukcji budowlanych”, Arkady, Warszawa 2000.
8. K. Rykaluk „Zagadnienia stateczności konstrukcji metalowych” Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2012.
9. Archiwalna dokumentacja projektowa opracowana przez Centrum Projektowego Miedzi „CUPRUM – PROJEKT” Sp. z o.o. i Przedsiębiorstwo Projektowania i Dostaw Kompletnych Obiektów Przemysłowych „CHEMADEX” Oddział Kraków z lat 1977 /1978.

THE HAZARD OF PROGRESSIVE COLLAPSE OF THE TOWERS (TANK) USED IN PRODUCTION OF CONCENTRATED SULFURIC ACID

Abstract: The article presents the technical condition of the structures, equipment and installations for the production of concentrated sulfuric acid in one of the plants in Lower Silesia. The author focused mostly on the towers that had drying and absorption, and possible hazards due to 30 years of continuous exploitation in very aggressive conditions. The paper also presents the expected scenario of progressive collapse caused by excessive subsidence of the structure and its effects on the inner parts of existing towers (tanks).

Keywords: sulfuric acid, drying towers, absorption towers, subsidence, corrosion, progressive collapse