

Michał Świątecki
Piotr Bruzgo

– Dyrektor Zakładu Produkcji i Przesyłu Ciepła MPEC sp. z o.o.
– Zastępca Kierownika Działu Produkcji Ciepła MPEC sp. z o.o.

Odsiarczanie spalin metodą moką magnezową w MPEC sp. z o.o. w Białymstoku 15 lat doświadczeń w eksploatacji IOS

Ciepłownia Zachód



Ciepłownia „Zachód” zlokalizowana jest w Białymstoku w dzielnicy przemysłowo-składowej Bażantarnia w pobliżu osiedla „Ścianka” przy ul. Starosielce 2/1 i jest instalacją wytwarzającą ciepło na potrzeby miejskiego systemu ciepłowniczego w okresie tzw. „sezonu grzewczego”, tj. najczęściej w miesiącach od października do kwietnia. Produkcja ciepła prowadzona jest w kotłach wodnych, rusztowych opalanych miałem węglowym. Aktualnie zabudowane są - trzy kotły WR-25-014S, jeden WRm-40 i jeden WRp-40-022. Wydajność znamionowa kotłów wynosi obecnie 185 MW. Produkcja ciepła kształtuje się na poziomie około 1 000 – 1 200 TJ/rok co pokrywa blisko 25% rocznego zapotrzebowania na ciepło miejskiego systemu ciepłowniczego.

Trochę historii

Ciepłownia „Zachód” rozpoczęła pracę w 1987 r. Pierwsze dwa kotły uruchomiono w kwietniu 1987 roku i były to WR-25-014 Nr 1 i Nr 2. W roku następnym rozpoczął pracę trzeci kocioł WR-25-014 (zakończenie I etapu budowy instalacji). Dalsza rozbudowa Ciepłowni została wstrzymana przez rygorystyczne przepisy ochrony środowiska w zakresie emisji SO₂. MPEC posiadał zakupione i złożone na placu elementy dwóch kotłów narzutowych WRp-46, jednak ich montaż nie mógł zostać rozpoczęty bez podjęcia decyzji o wykonaniu Instalacji Odsiarczania Spalin. Podstawowe kryteria jakie przyjęto na tym etapie to:

- wysoka skuteczność odsiarczania,
- niskie nakłady inwestycyjne,
- akceptowalne koszty eksploatacji
- łatwy do zagospodarowania odpad

Ponieważ MPEC nie posiadał własnego składowiska odpadów, jednym z istotniejszych aspektów, który wzięto pod uwagę. Był rok 1994. Rozpoczęło się intensywne poszukiwanie odpowiedniej technologii. Nawiązano współpracę z Wydziałem Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej, który oferował technologię odsiarczania z zastosowaniem metody mokrej magnezowej. Autorami technologii byli Prof. dr hab. inż. Andrzej Urbanek, Dr inż. Krzysztof Kumanowski, Dr inż. Roman Krzywda, Dr inż. Zygmunt Jarczyk. Instalacja spełniała z założenia wszystkie kryteria postawione przez MPEC, jednak problemem był brak w Polsce obiektów referencyjnych o podobnej wielkości. Jedyną funkcjonującą, jednak znacznie mniejszą, instalacją tego typu, była IOS w KPEC Karczew. Potrzebna była szybka decyzja i podjęcie ryzyka wdrożenia prototypowej instalacji. Taką odważną decyzję podjął ówczesny Prezes Zarządu MPEC sp. z o.o. w Białymstoku mgr inż. Ryszard Dobrowolski. Rozpoczął się proces projektowania, uzyskiwania stosownych zezwoleń oraz poszukiwanie źródeł finansowania. Na zrealizowanie inwestycji MPEC pozyskał pożyczkę NFOŚiGW.

W roku 1996 został warunkowo dopuszczony do eksploatacji kocioł typu WRp-46. W dniu 15 kwietnia 1998 r. została uruchomiona Instalacja Odsiarczania Spalin (IOS) przewidziana do współpracy z dwoma kotłami WRp-46. W roku 1999 dobudowano drugi kocioł typu WRp-46.



Otwarcie instalacji w roku 1998. Wstęgę przecina minister ochrony środowiska prof. Jan Szyszko.

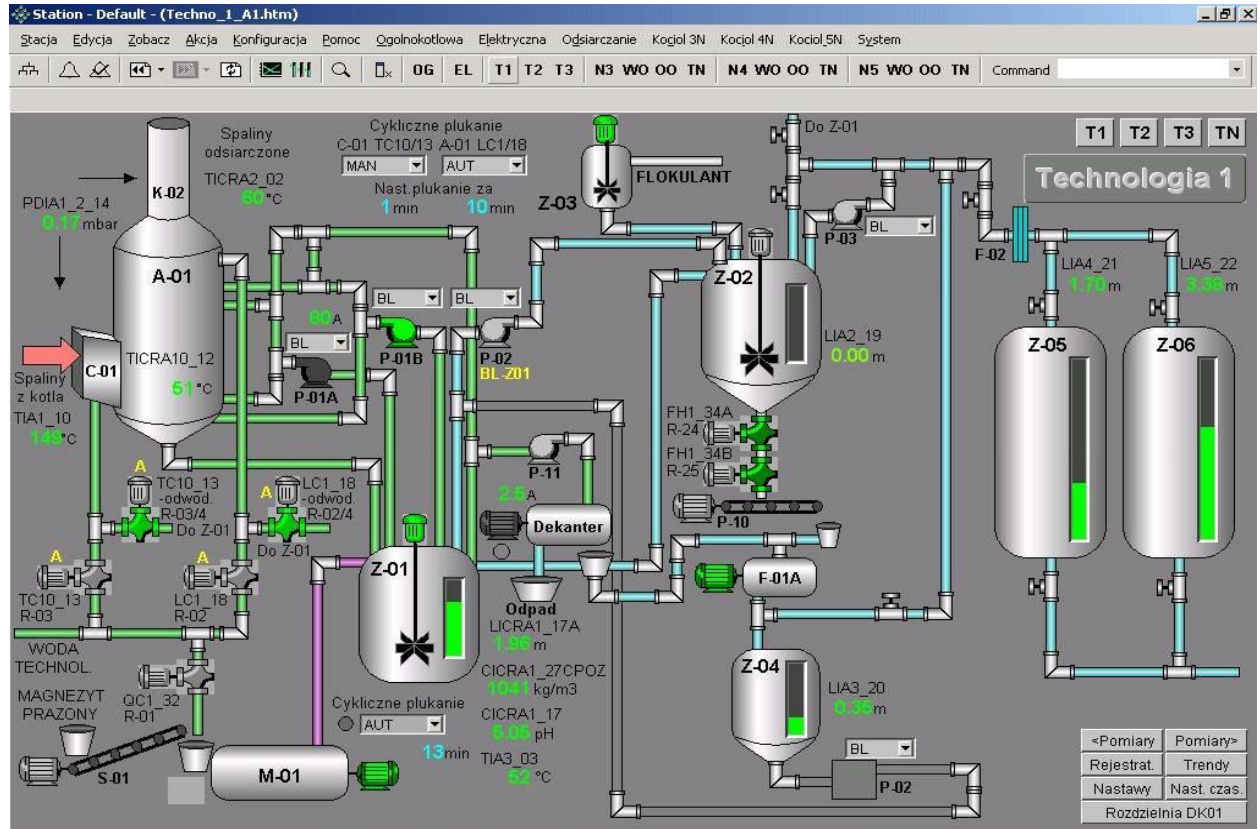
Technologia

Spaliny doprowadzane do emitora A2 są oczyszczane w IOS z wykorzystaniem metody mokrej magnezowej. W instalacji odsiarczania spalin wyróżnia się trzy zasadnicze części:

- 1. Część absorpcyjna IOS**
- 2. Część filtracji zawiesiny poabsorpcyjnej**
- 3. Część do wydzielenia produktu stałego**

Z punktu widzenia oczyszczania spalin najistotniejsza jest część absorpcyjna instalacji, w której następuje redukcja substancji szkodliwych zawartych w spalinach. Pozostałe części instalacji zapewniają wydzielenie i zagospodarowanie produktów ubocznych i umożliwiają eksploatację instalacji jako bezodpadową. W przypadku awarii Instalacji Odsiarczania Spalin istnieje możliwość jej wyłączenia i skierowania całości spalin na emitor suchy H-120m.

Część absorpcyjna



Spaliny o temperaturze 150⁰C-190⁰C odpylone na sucho, tłoczone są wentylatorami wyciągowymi spalin, do chłodziacza spalin C-01. W chłodziaczu C-01 są zraszane zawiesiną absorpcyjną podawaną przez zraszacze rurowe, zainstalowane w górnej ścianie chłodziacza oraz okresowo wodą technologiczną. Oziębione do temperatury 90÷110⁰C, wprowadzane są do pionowego absorbera natryskowego A-01, zasilanego zawiesiną absorpcyjną z dwóch systemów zraszających, połączonych z pompami cyrkulacyjnymi P-01A i P-01B o wydajności 400 m³/h każda. W absorberze A-01 następuje absorpcja kwaśnych składników spalin (SO₂, HCl, NO_x), wychwytywanie cząstek pyłu zawartych w spalinach, a także utlenianie siarczynów tlenem zawartym w spalinach. Oczyszczone spaliny poprzez odkraplacz, zainstalowany w górnej części absorbera kierowane są do komina K-02, usytuowanego nad absorberem. Spaliny poprzez komin, zakończony 70m ponad poziom terenu Ciepłowni, odprowadzane są



do atmosfery. W kominie K-02 zainstalowane są czujniki mierzące temperaturę i ciśnienie spalin odsiarczonych oraz króćce pomiarowe, przeznaczone do instalowania sond pomiarowych analizatora spalin w celach kontrolnych.

Zawiesina poabsorpcyjna o temperaturze 50÷70⁰C, wypływa ze zraszaczy absorbera, a następnie spada na jego dno i króćcem połączonym z rurą odpływową odprowadzana jest do zbiornika cyrkulacyjnego Z-01. Zawiesina cyrkulująca przez absorber A-01 jest pobierana ze zbiornika

cyrkulacyjnego Z-01, w którym zawarta jest objętość buforowa na przejęcie zawiesiny znajdującej się w obiegu. Zbiornik cyrkulacyjny wyposażony jest w wolnoobrotowe mieszadło kotwicowe, które ogranicza gromadzenie się osadu na jego dnie i pracuje w sposób ciągły, jeżeli tylko zbiornik wypełniony jest zawiesiną absorpcyjną. W zbiorniku cyrkulacyjnym zanurzone są rury ssące pomp cyrkulacyjnych P-01A i P-01B oraz pompy P-02, podającej zawiesinę do zbiornika Z-02, tj. do układu filtracji. W zbiorniku cyrkulacyjnym Z-01 zainstalowane są czujniki do pomiaru temperatury zawiesiny, poziomu oraz gęstości. Pomiar poziomu oraz pomiar gęstości sterują dozowaniem wody technologicznej do zbiornika cyrkulacyjnego.

Podstawowym reagentem stosowanym w procesie jest magnezyt prażony dozowany do zbiornika cyrkulacyjnego Z-01 w postaci wodnej zawiesiny, wytwarzanej w układzie dozowania.

Magnezyt prażony jest dostarczany w „big-bagach” o masie około 1000kg i zasypywany do zasobnika, z którego okresowo podajnikiem S-01 dozuje się go do mieszalnika M-01. Równocześnie z magnezylem do mieszalnika M-01 dozowana jest woda technologiczna. W mieszalniku zawierającym kule stalowe następuje mieszanie magnezytu z wodą oraz rozdrobnienie na mokro magnezytu prażonego. W efekcie do zbiornika cyrkulacyjnego Z-01 dopływa jednorodna zawiesina, zawierająca ziarna magnezytu o wymiarach



Mieszalnik M -01

poniżej 0,06mm. Ilość zawiesiny magnezytu prażonego i częstotliwość jej dozowania powoduje utrzymywanie pH zawiesiny absorpcyjnej w granicach od 3,0 do 6,5.

Typowy skład zawiesiny cyrkulującej w układzie absorpcyjnym odpowiada 20% wagowym soli magnezowych w roztworze wodnym, oraz 3÷5% wagowych części stałych, co daje gęstość zawiesiny w granicach 1,17÷1,23 kg/dm³. Zawiesina o tych parametrach i temperaturze 50÷70°C jest okresowo pompowana przez pompę P-02 do zbiornika zawiesiny Z-02, gdzie są z niej wydzielane części stałe. W przypadku nadmiernego wzrostu gęstości zawiesiny absorpcyjnej (z powodu dużej ilości pyłów) włączana jest wirówka dekantacyjna, która usuwa z zawiesiny zawarte w niej pyły i zanieczyszczenia stałe. Wirówka może pracować w sposób ciągły lub okresowo w zależności od potrzeb.

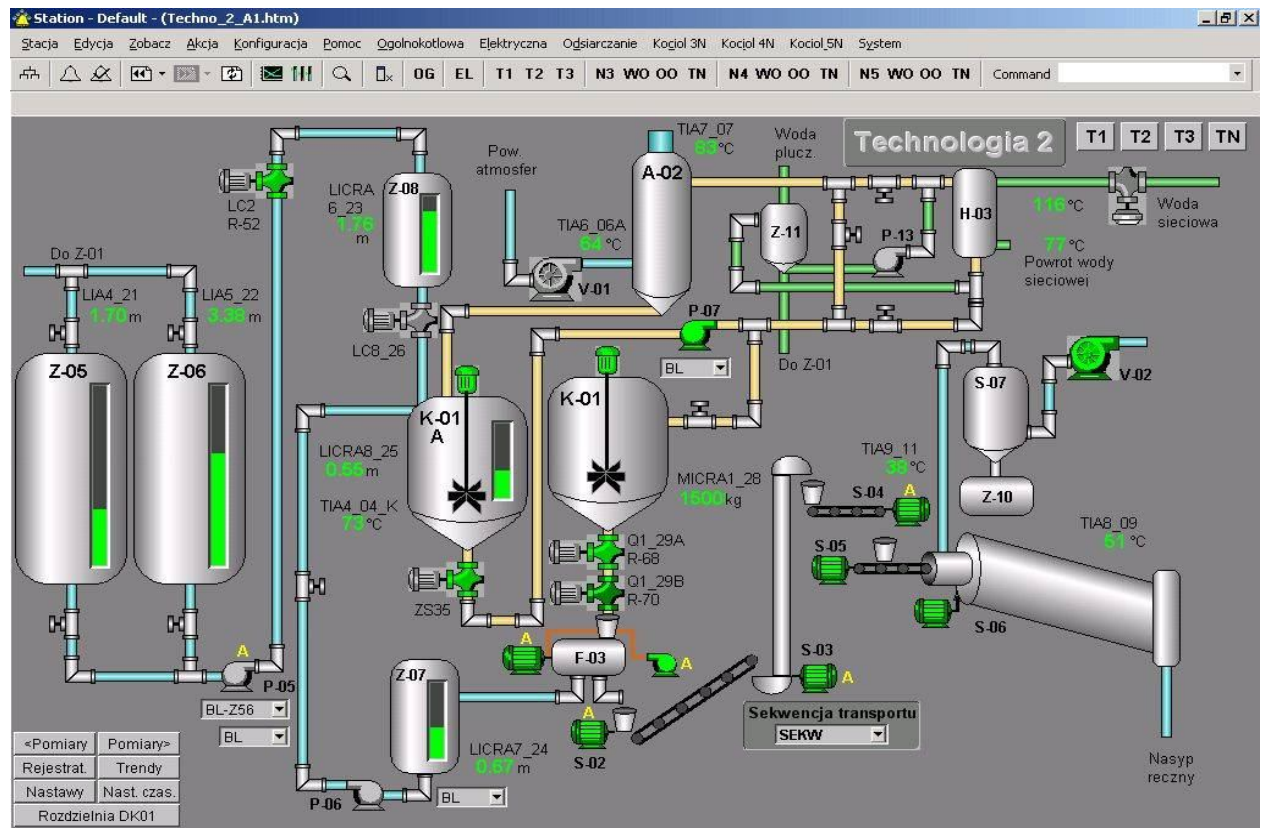
Sekcja filtracji zawiesiny poabsorpcyjnej

Filtracja zawiesiny poabsorpcyjnej prowadzona jest okresowo. Zawiesina cyrkulująca przez absorber A-01 jest przetłaczana do zbiornika Z-02. Po jego napełnieniu do poziomu pracy, uruchamiane jest mieszadło wolnoobrotowe, w które wyposażony jest zbiornik i dodaje się porcję roztworu wodnego flokulanta przygotowanego w zbiorniku Z-03. Po sklarowaniu zawiesiny w Z-02, pompą P-02 podaje się górną sklarowaną warstwę cieczy do filtra dynamicznego F-02. W filtrze następuje wydzielenie cząstek fazy stałej, które nie zsedymntowały w zbiorniku Z-02 i zostały zassane pompą razem z roztworem z górnych warstw cieczy. Klarowny wodny roztwór soli magnezowych z filtra F-02 kierowany jest do zbiorników magazynowych Z-05 lub/i Z-06. W przypadku, gdy stwierdzony zostanie brak klarowności roztworu, opuszczającego filtr F-02, roztwór kierowany jest do zbiornika Z-04. Po wyczerpaniu klarownej warstwy górnej, dolną warstwę zagęszczoną zawiesiny odprowadza się do podajnika ślimakowego pompy śrubowej P-10, która przetłacza zagęszczoną zawiesinę do wirówki filtracyjnej F-01A, gdzie odfiltrowuje się osad, zaś filtrat zbiera się w zbiorniku Z-04. Osad z wirówki wywozi się na składowisko żużla i popiołu.

Klarowny filtrat zgromadzony w zbiornikach Z-05 i Z-06 stanowi produkt finalny sekcji absorpcji instalacji IOS, oczyszczony w części filtracyjnej i jest surowcem dla sekcji zateżania i krystalizacji, w której prowadzone jest przetwarzanie roztworu soli magnezowych w produkt - krystaliczny siarczan magnezu.

Roztwór gromadzony w zbiornikach Z-05 i Z-06 może też być finalnym produktem instalacji w przypadku, gdy znajdzie się odbiorca produktu ciekłego.

Sekcja zateżania roztworu soli magnezowych i krystalizacji $MgSO_4 \times 7 H_2O$.



W tej części IOS następuje przetwarzanie wodnego roztworu soli magnezowych, wytworzonego w sekcji absorpcji i oczyszczonego w sekcji filtracji w krystaliczny siarczan magnezowy siedmiowodny o jakości technicznej.

Na tę część procesu technologicznego składają się:

- dozowanie roztworu soli magnezowych do krystalizatora;
- zateżanie roztworu soli magnezowych w wyniku jego ogrzania w wymienniku ciepła i adiabatyicznego odparowania wody do strumienia powietrza;
- separacja kryształów $MgSO_4 \times 7H_2O$;
- suszenie i workowanie kryształów $MgSO_4 \times 7H_2O$.

Surowcem do przetwarzania jest roztwór gromadzony w zbiornikach magazynowych Z-05 i Z-06.

Roztwór ze zbiorników Z-05 i Z-06 jest okresowo przetłaczany pompą P-05 do zbiornika krystalizatora K-01/A a uzupełnianie poziomu roztworu soli odbywać się może ręcznie lub automatycznie.



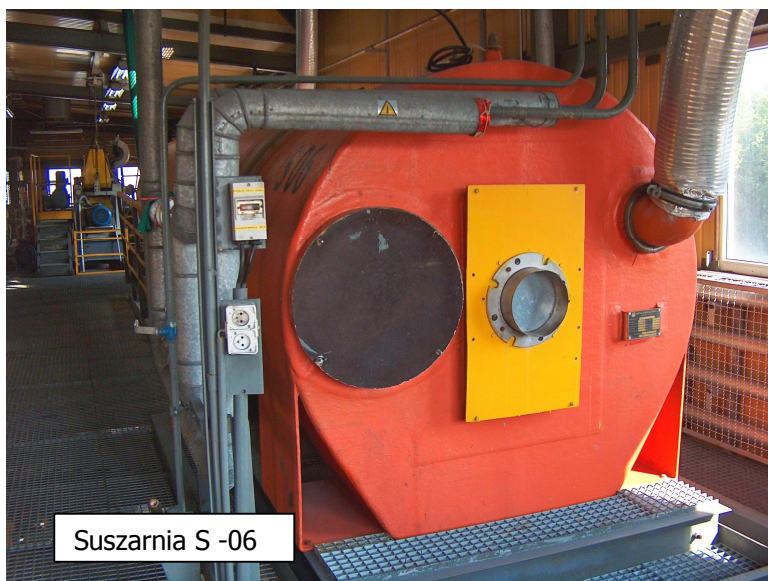
Krystalizator K -01

Pompa P-07 pobiera roztwór z krystalizatora K-01/A i pompuje go poprzez wymiennik ciepła H-03 do kolumny zateżającej A-02. Roztwór soli magnezu ulega zateżeniu cyrkulując przez krystalizator K-01/A, pompę P-07, wymiennik ciepła płytowy H-03 oraz przez fluidalną kolumnę odpędową A-02. Roztwór ogrzany w wymienniku ciepła H-03 do temperatury ok. $70 \div 99^\circ \text{C}$, wprowadzany jest na najwyższej położoną półkę fluidalną kolumny odpędowej. W kolumnie A-02 zainstalowane są trzy półki fluidalne, na których następuje odparowanie wody z roztworu kosztem ciepła zawartego w tym roztworze do strumienia powietrza przepływającego od dołu kolumny ku górze. Schłodzony i zateżony roztwór spływa następnie z kolumny A-02 do krystalizatora K-01/A. Czynnikiem fluidyzującym układ jest wypełnienie ruchome (kulki polipropylenowe) - roztwór soli magnezowych, jest przedmuchiwany przez powietrze atmosferyczne, pobierane z otoczenia i doprowadzane pod najniższą półkę kolumny A-02. Strumień powietrza przechodzi od dołu ku

górze przez wszystkie trzy półki kolumny odpędowej i kierowany jest do absorbera A-01.

Zateżony i schłodzony strumień roztworu z krystalizatora K-01A doprowadzany jest do krystalizatora K-01. Z krystalizatora K-01 do wirówki filtracyjnej ciągłej F-03 doprowadzana jest mieszanina kryształów $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ i ługu pokryształizacyjnego. W wirówce F-03 następuje odseparowanie kryształów od ługu pokryształizacyjnego, który grawitacyjnie spływa do zbiornika Z-07. Wyseparowany kryształ spada do podajnika ślimakowego S-02, a następnie kolejnymi podajnikami (S-03÷S-05) doprowadzany jest do suszarni bębnowej S-06. Ług pokryształizacyjny zgromadzony w zbiorniku Z-07 jest okresowo przetłaczany pompą P-06 do krystalizatora K-01/A.

W suszarni bębnowej S-06 kryształ kontaktuje się z powietrzem atmosferycznym, zasysanym z otoczenia IOS za pomocą wentylatora V-02 poprzez nagrzewnicę powietrza, zasilaną gorącą wodą oraz separator cyklonowy S-07 z pojemnikiem pyłu Z-10. Temperatura powietrza, wchodzącego do suszarni S-06 kontrolowana jest czujnikiem zainstalowanym w komorze wysypowej suszarni.



Suszarnia S -06



Kryształy wysuszone w suszarni bębnowej S-06, spadają do zbiornika magazynowego produktu lub bezpośrednio do worków typu Big-bag.

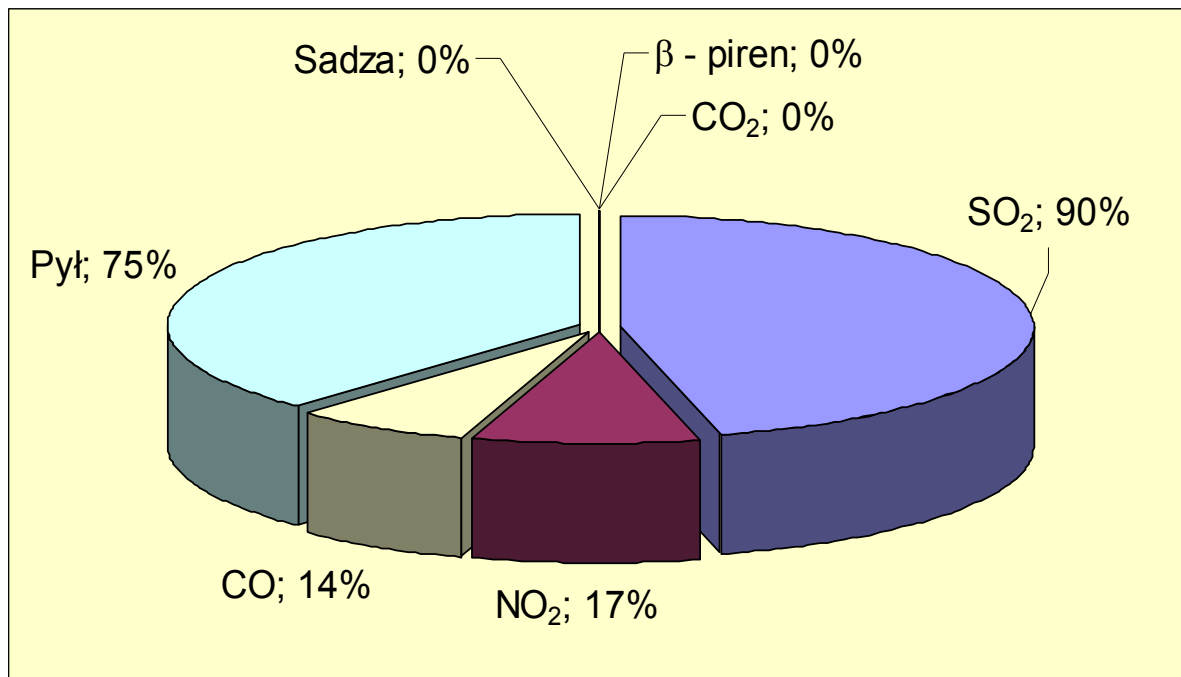
Kryształy siedmiowodnego siarczanu magnezu zgromadzone w zbiorniku magazynowym produktu pobierane są do konfekcjonowania w workach o masie 25kg.

Produkt jest pełnowartościowym nawozem rolniczym posiadającym certyfikat uprawniający do oznaczania wyrobu znakiem bezpieczeństwa „B” oraz certyfikat

zgodności potwierdzający zgodność z typem nawozu oznaczonego znakiem „nawóz WE”.

Eksplatacja i efekty

Podstawowym efektem pracy instalacji jest redukcja emisji SO₂. Efektami dodatkowymi jest redukcja emisji pyłów, a także w niewielkim stopniu NO_x i CO. Pomimo, że znaczna dodatkowa redukcja emisji



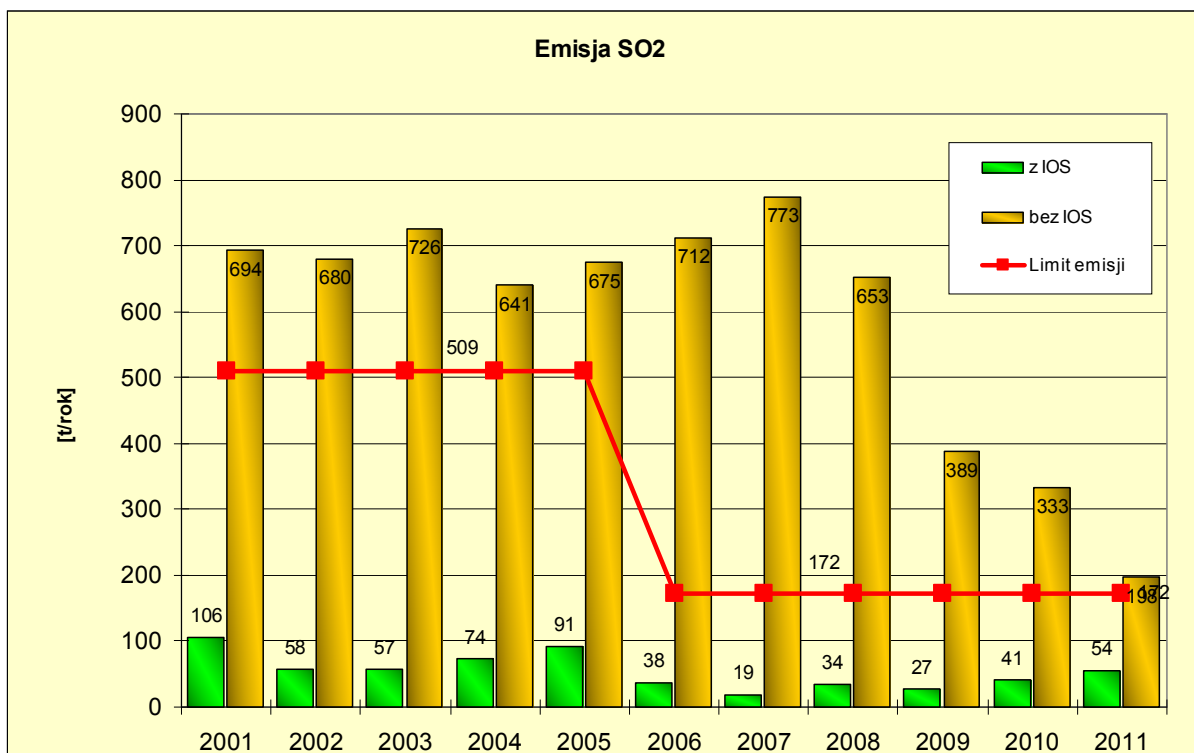
pyłu w IOS pozwala na spełnienie dopuszczalnych norm w tym zakresie, to ze względów eksploatacyjnych nie jest to korzystne dla pracy samej instalacji. Związane z zawartością pyłu właściwości cierne medium w połączeniu z jego pozostałymi cechami fizykochemicznymi takimi jak kwaśny odczyn oraz skłonność do krystalizacji przy obniżeniu temperatury sprawia, że eksploatacja instalacji jest trudna. Ze względu na właściwości korozyjne medium, w instalacji nie można stosować żadnych elementów metalowych. Pompy wymagają zastosowania specjalistycznych uszczelnień z cieczą zaporową i wirników pokrytych powłokami elastomerowymi. Od obsługi wymaga się ścisłego przestrzegania reżimów technologicznych i staranności w zakresie utrzymania czystości i drożności instalacji. Korzystna z punktu widzenia eksploatacji IOS jest sezonowość pracy Ciepłowni. W okresie

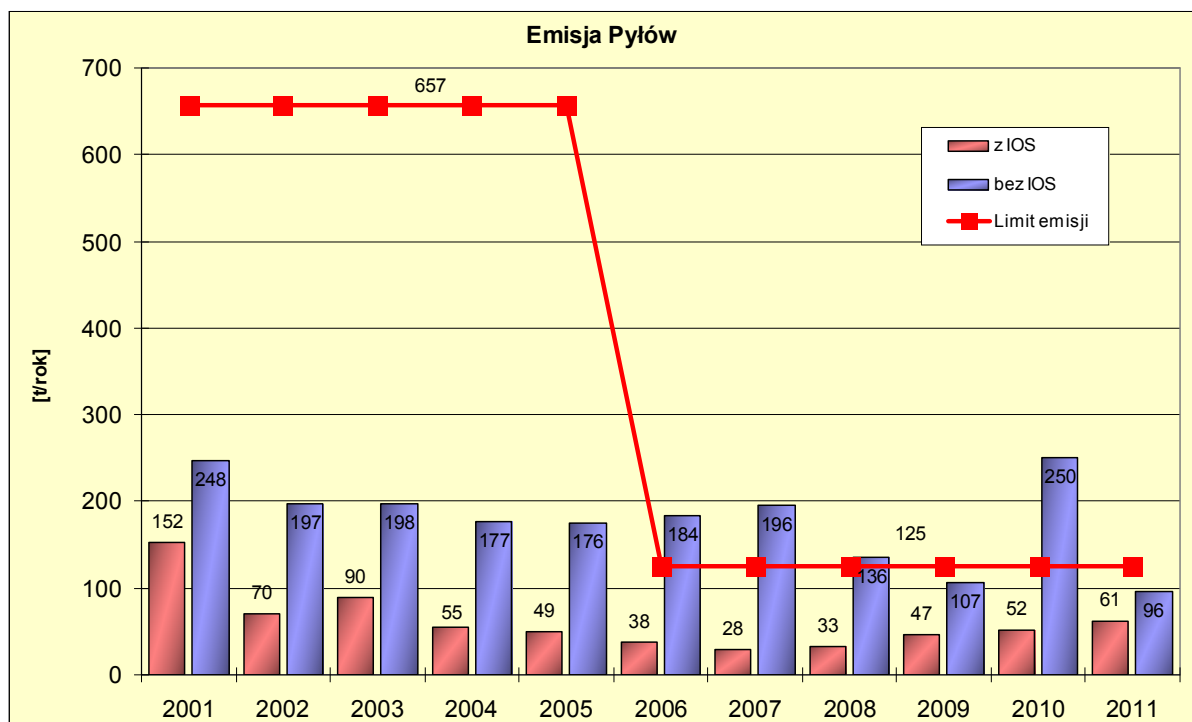
poza sezonem grzewczym Ciężarówka nie pracuje i możliwy jest kompleksowy przegląd i oczyszczenie instalacji.

Poniżej wnętrze absorbera oraz dysze zraszające przed i po sezonowym czyszczeniu.

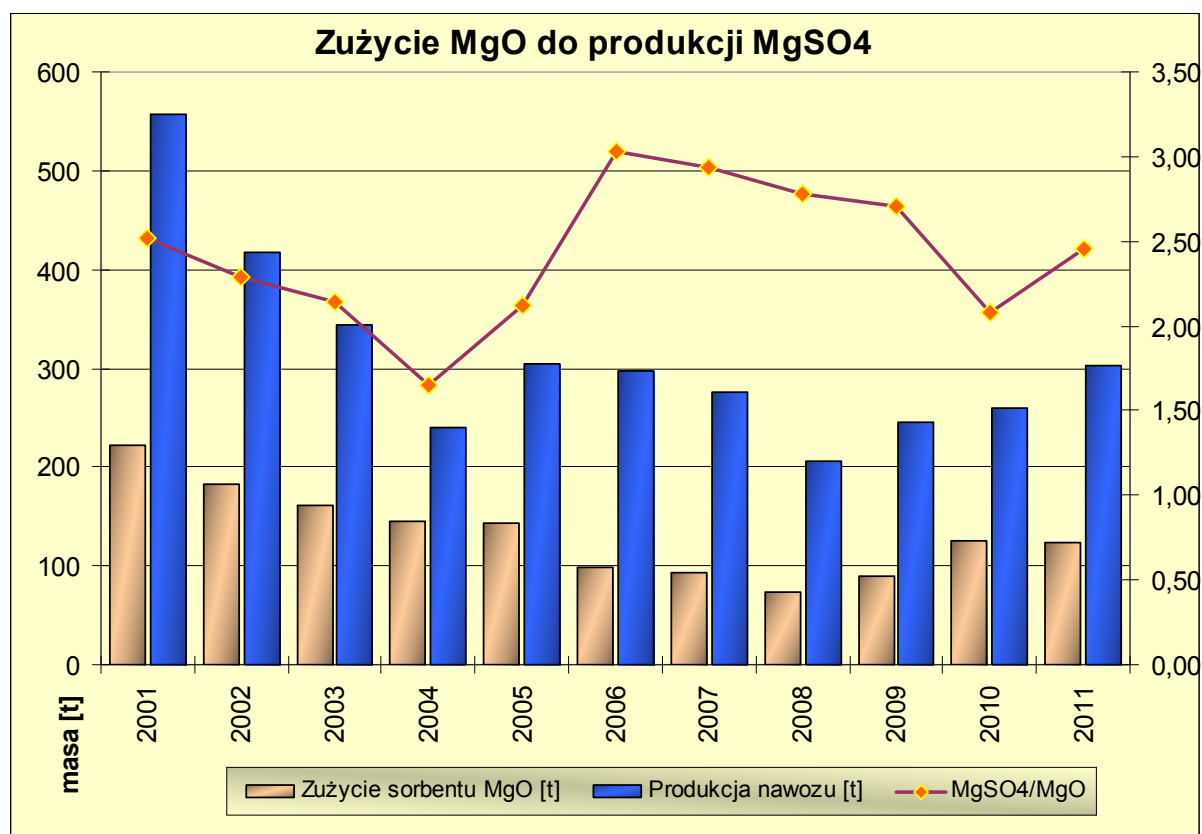


Pomimo trudności eksploatacyjnych dyspozycyjność instalacji jest wysoka i utrzymuje się zwykle na poziomie powyżej 94%. Awaryje występują bardzo rzadko, a wyłączenia instalacji wynikają ze względów technologicznych na początku i końcu sezonu grzewczego. Skuteczność oczyszczania spalin również spełnia oczekiwania. Efekty przedstawiono na wykresach.



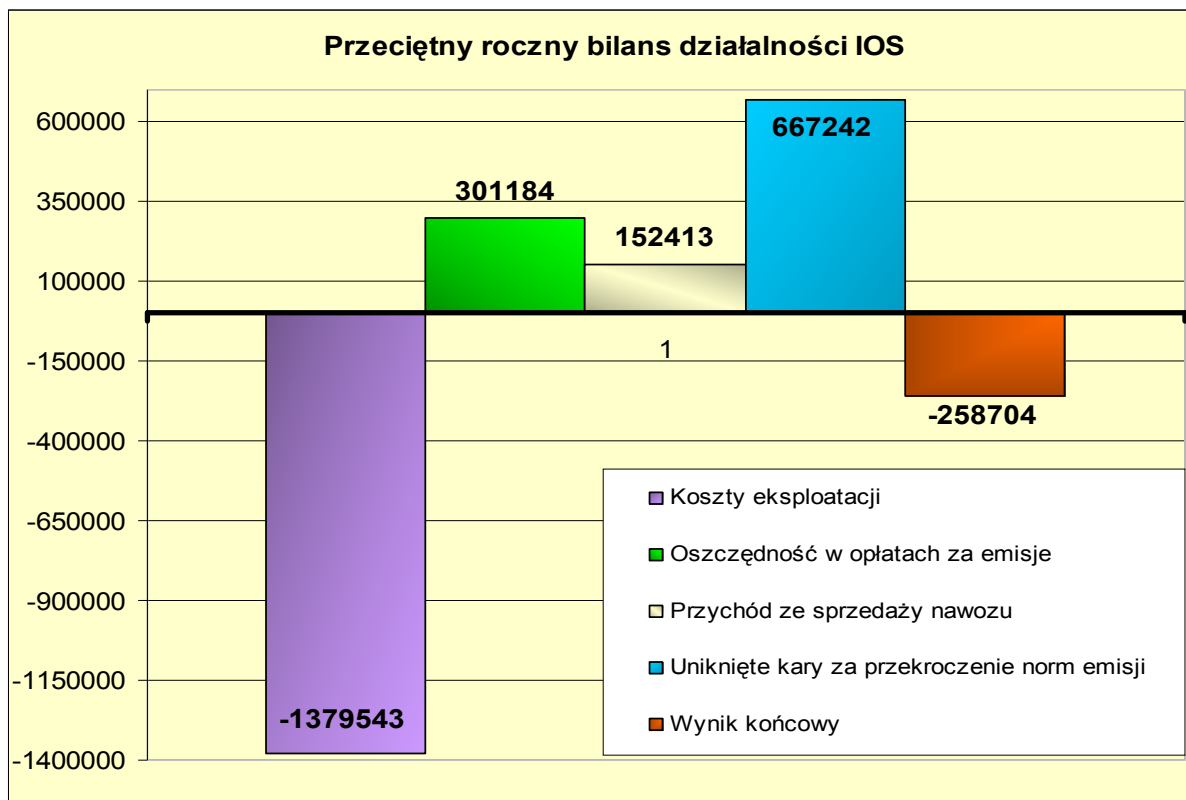


Produktem procesu odsiarczania jest krystaliczny siedmiowodny siarczan magnezu będący nawozem rolniczym. Pomimo, że dla pracy IOS jest to produkt odpadowy jego jakość jako nawozu rolniczego jest na wysokim poziomie czego potwierdzeniem są posiadane certyfikaty oraz pozytywnie przechodzone audyty firm certyfikujących. Produkcja siarczanu magnezu jest na poziomie 200-500 t/rok. Dane dotyczące wielkości produkcji oraz zużycia sorbentu przedstawiono na wykresie:

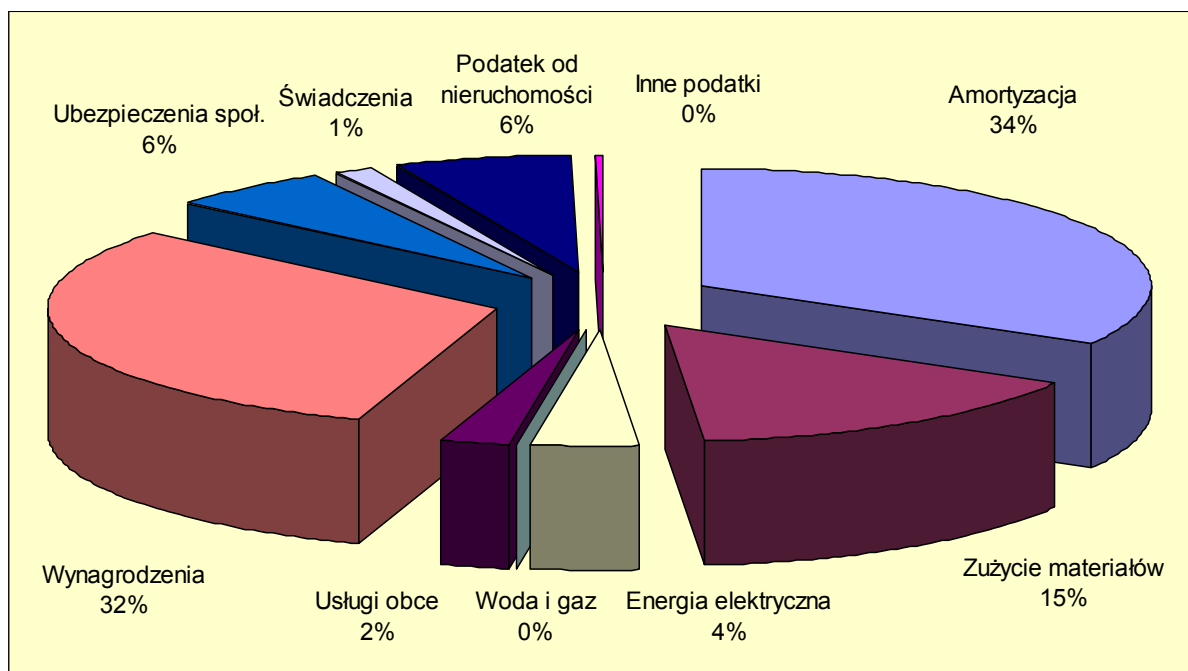


Przychód ze sprzedaży siarczanu magnezu stanowi element zmniejszający koszty eksploatacji instalacji. W okresie ostatnich 10 lat koszty te kształtowały się na poziomie 1,1 – 1,8 mln zł/rok. Poniżej przedstawiono przeciętny roczny bilans kosztów pracy instalacji z uwzględnieniem

oszczędności w opłatach za emisję oraz potencjalnie unikniętych kar z tytułu przekroczenia dopuszczalnych norm emisji.



Ujemny wynik nie jest tutaj zaskoczeniem, gdyż instalacje związane z ochroną środowiska są zwykle kosztowne, a efekty finansowe nie są w tym przypadku decydujące. Jednocześnie przy przeciętnej produkcji ciepła w Ciepłowni wynoszącej 1150 TJ, eksploatacja IOS zwiększa jednostkowy koszt wytworzenia ciepła jedynie o ok. 0,22 zł/GJ co jest kwotą niewielką w odniesieniu do efektów środowiskowych.



Struktura kosztów IOS

Podsumowanie i wnioski

Niespełna 15 lat eksploatacji Instalacji Odsiarczania Spalin w MPEC sp. z o.o. wykazało skuteczność metody oraz poprawność zastosowanych rozwiązań technicznych. Jednocześnie lata doświadczeń pozwoliły na udoskonalenie pierwotnie zaprojektowanych elementów instalacji i dopracowanie szczegółów technologii. Należy stwierdzić, że instalacja wymaga znacznej wiedzy praktycznej do prowadzenia prawidłowej i bezawaryjnej eksploatacji. Dla pracowników MPEC Białystok uruchomienie IOS w roku 1998 było szczególnym wyzwaniem gdyż wymagało znacznego wysiłku w celu uzupełnienia i przyswojenia nowej wiedzy niezbędnej do prowadzenia procesów chemicznych. Pomimo często zmieniających się przepisów w zakresie ochrony środowiska, okresowo umożliwiającymi eksploatację źródeł ciepła takich jak Ciepłownia „Zachód” bez IOS zachowano ciągłość pracy instalacji.

Ochrona środowiska jest bardzo istotnym elementem eksploatacji instalacji energetycznego spalania paliw, do których zalicza się Ciepłownia „Zachód”. Położenie Ciepłowni w rejonie „zielonych płuc Polski” zobowiązuje szczególnie. Pomimo, że spalanie węgla kamiennego z zasady nie jest ekologiczne, to jednak przy zachowaniu odpowiednich reżimów technologicznych, utrzymaniu wysokiego poziomu efektywności oraz wykonaniu skutecznych instalacji oczyszczania spalin można znacząco ograniczyć ujemne oddziaływanie tego procesu na środowisko.