dr inż. Jerzy Mazurek
„Energopomiar" Sp. z o.o.

Poprawa efektywności energetycznej systemów mokrego oczyszczania gazów

Improving the energy efficiency of wet gas cleaning systems

Artykuł prezentuje możliwości poprawy efektywności energetycznej systemów mokrego oczyszczania gazów, koncentrując się na zasadniczym komponencie absorbera i jego układów zraszania. Na podstawie modelu absorpcji i wytypowanych czynników mających wpływ na zużycie energii elektrycznej przez pompy cyrkulacyjne zaprezentowany został przykład optymalizacji oparty na analizie limitów emisyjnych wobec rezerw wypracowywanych przez system. Proponowana optymalizacja zużycia energii elektrycznej, bazująca na systemie analitycznym uwzględniającym model absorbcji oraz bieżącej analizie uzyskiwanych średnich emisji, może być wdrożona w szczególności wobec obserwowanego aktualnie charakteru pracy obiektów energetycznych, gdzie przeważa praca z niskim obciążeniem i poniżej projektowych założeń wydajnościowych. Optymalizacja taka nie wymaga poniesienia istotnych nakładów inwestycyjnych.

Słowa kluczowe: absorber natryskowy, dwutlenek siarki, absorpcja, efektywność energetyczna, system analiz inżynierskich, odsiarczanie spalin

The article presents possibilities of improving the energy efficiency of wet gas cleaning systems, focusing on the main component of the absorber and its spray systems. Based on the absorption model and the selected factors affecting electricity consumption by circulation pumps, an example of optimization derived from the analysis of emission limits compared to reserves provided by the system is discussed. The proposed optimization of electricity consumption using both the analytical system which takes into account the absorption model and the current analysis of measured average emission can be implemented in particular due to presently observed characteristics of operation of power units, where low load operation below the designed performance assumptions prevails. The optimization of this kind does not require any essential investment expenditure.

Keywords: spray absorber, sulphur dioxide, absorption, energy efficiency, engineering analysis system, flue gas desulphurization

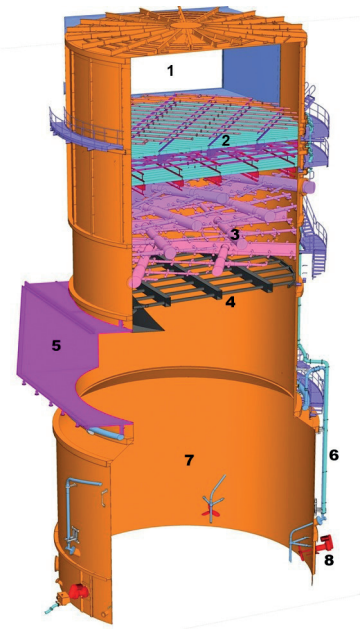
Wstęp

Większość dużych jednostek produkcji energii opartych na spalaniu paliw stałych lub ciekłych jest wyposażona w instalacje mokrego oczyszczania spalin (IMOS), których kluczową funkcją jest usuwanie z gazów dwutlenku siarki. Sposób działania polegający na przemywaniu gazów cieczą zawierającą czynnik alkaiczny powoduje, że w procesie wiązane są także inne składniki kwaśne obecne w gazie, takie jak trójtlenek siarki, chlorowodór i fluorowodór. Proces intensywnego przemywania gazu cieczą powoduje także zwilżanie i absorpcję z niego pyłu.

Zasadniczym elementem IMOS jest absorber, zwykle wykonany jako otwarta wieża o przekroju kołowym z zabudowanymi poziomami zraszania. Ponadto absorber jest zwykle zintegrowany ze zbiornikiem cieczy zraszającej. W typowym absorberze gaz przepływa z dołu w górę i jest w przeciwprądzie przemywany cieczą absorpcyjną, której krople pod wpływem siły grawitacji spadają w dół do zbiornika. W zbiorniku ciecz jest mieszana oraz napowietrzana. Napowietrzanie ma na celu utlenienie powstałych produktów reakcji, zwykle siarczynów, w celu uzyskania stabilnego produktu końcowego. Najczęściej do wiązania składników kwaśnych są stosowane jony wapnia lub sodu. Przekrój typowego absorbera instalacji mokrego odsiarczania spalin przedstawia rysunek 1.

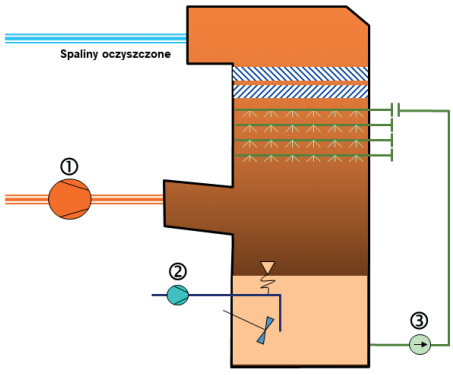
Zasadniczymi konsumentami energii elektrycznej absorbera mokrego oczyszczania spalin są: pompy cyrkulacyjne zasilające poszczególne poziomy zraszania, wentylator przetłaczający gaz oraz dmuchawy powietrza utleniającego (rys. 2). Odbiorniki te w skali całej instalacji mogą odpowiadać za prawie 90% zużycia energii elektrycznej.

W większości dużych instalacji wymienione agregaty są wyposażone w silniki średniego napięcia zasilane bezpośrednio. W niektórych przypadkach do sterowania wydajnością wentylatora stosuje się przemiennik częstotliwości. Tylko w niektórych lokalizacjach do sterowania wydajnością wybranych pomp cyrkulacyjnych (np. najwyższej z zabudowanych) wykorzystuje się falownik, który pozwala dopasowywać płynnie wydajność do bieżącego obciążenia, korzystając z faktu, że dysze rozpylające zachowują funkcjonalność w zakresie ciśnień od 0,5 do 0,9 bara. To rozwiązanie cechuje wysoki koszt inwestycyjny i nie analizowano go dla istniejących obiektów.



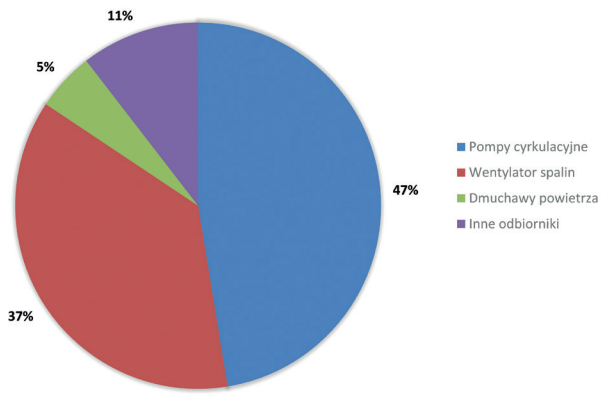
Legenda:
① Wylot gazu, czasami pionowo w górę
② Odkraplacze, zwykle 2 lub 3 stopnie
③ Poziomy zraszania, zwykle od 3 do 5
④ Opcjonalnie: półka sitowa lub barbotażowa
⑤ Wlot gazu
⑥ Rurociągi powietrza natleniającego
⑦ Zbiornik absorbera
⑧ Mieszadła

Rys. 1. Przekrój przykładowego absorbera instalacji mokrego odsiarczania spalin (źródło: opracowanie własne)



Główne odbiorniki elektryczne związane z absorberem:

① Wentylator spalin, zwykle jeden
② Dmuchawy powietrza natleniającego, zwykle dwa w celu zapewnienia redundancji
③ Pompy cyrkulacyjne, zwykle od 3 do 5, włączane odpowiednio do warunków obciążenia



Rys. 2. Główne odbiorniki elektryczne związane z absorberem mokrego oczyszczania spalin i przykładowa struktura zużycia energii elektrycznej instalacji mokrego odsiarczania spalin (źródło: opracowanie własne)

Czynniki wpływające na skuteczność usuwania składników kwaśnych z gazu

W ramach własnej pracy doktorskiej wyprowadzono równania opisujące skuteczność usuwania SO_2 w absorberze natryskowym typu wieża zraszająca. Jedno z wyprowadzonych równań ma postać:

$$\eta_{SO2} = 1 - e^{-0{,}049856 \times \frac{A \times w_{sp}^{n_w} \times (L/G)^{1+n_{L/G}} \times pH^{n_{pH}} \times C_{wlot,SO2}^{n_{SO2}} \times T_{sp} \times H_{abs}}{(1-u_{V,H2O}) \times d_s \times \left(1{,}74 \times \sqrt{\frac{9{,}81 \times (\rho_{zaw} - \rho_{sp}) \times d_s}{\rho_{sp}}} - w_{sp}\right)}}$$

Równanie 1. Równanie opisujące skuteczność usuwania SO_2 w absorberze (źródło: [1])

Tabela 1

Zmienne i stałe występujące w równaniu opisującym skuteczność usuwania SO_2 w absorberze

Oznaczenie	Opis	Jednostka	Klasyfikator
w_{sp}	prędkości fazy gazowej w strefie absorpcji	m/s	A
L/G	stosunek całkowitego strumienia objętości cieczy zraszającej do strumienia objętości gazu	dm^3/m^3	C
pH	wartość pH roztworu	[-]	B
$C_{wlot,\ SO2}$	stężenie wlotowe SO_2	$mg/m_{s,n}^3$	A
T_{sp}	temperatura gazu w warunkach rzeczywistych	K	A
$u_{V,H2O}$	udział objętościowy pary wodnej w gazie	m_n^3/m_n^3	A
d_s	średnica Sautera zbioru kropli rozpylonej cieczy absorpcyjnej	m	A
ρ_{zaw}	gęstość zawiesiny absorpcyjnej	kg/m^3	B
ρ_{sp}	gęstość fazy gazowej w warunkach rzeczywistych	kg/m^3	A
H_{abs}	wysokość strefy absorpcji	m	C
A	stała	[-]	D
n_w	wykładnik potęgowy związany z w_{sp}	[-]	D
$1+n_{L/G}$	wykładnik potęgowy związany z L/G	[-]	D
n_{pH}	wykładnik potęgowy związany z pH	[-]	D

(źródło: [1])

Zmienne i stałe występujące w równaniu, wynikające z obliczeń przemian fizycznych lub będące cechami aparatu, zestawiono w tabeli 1.

W tabeli 1 każdej ze zmiennych przypisano jeden z klasyfikatorów określających stopień jej wykorzystania do optymalizacji energetycznej:

A – czynniki zależne od procesu, bieżącego obciążenia instalacji lub cech konstrukcyjnych instalacji;
B – czynniki zależne od operatora, ale wolnozmienne lub ustalone optymalnie ze względu na uwarunkowania procesu, np. parametry jakościowe produktu;
C – czynniki, na które operator ma wpływ, możliwe do wykorzystania w procesie optymalizacji energetycznej;
D – stałe wyznaczone w oparciu o analizę danych empirycznych.

Z zestawienia wynika, że operator ma efektywny wpływ na włączanie/wyłączanie poziomów zraszania, co zmienia czynniki: L/G i H_{abs}. Należy zwrócić uwagę na to, że parametr L/G ma wpływ na stratę ciśnienia i w konsekwencji na zużycie energii elektrycznej nie tylko przez pompy cyrkulacyjne, ale także przez wentylator gazu.

Dopasowanie pracy absorbera do zmienności obciążenia

Zwykle do zasilania poziomów zraszania stosuje się pompy wirowe o stałej wydajności. W rezultacie włączanie lub wyłączanie poziomu zraszania powoduje skokową zmianę stężenia wylotowego SO_2, następuje bowiem skokowa zmiana L/G, np. przy czterech poziomach zraszania przy włączeniu/wyłączeniu jednej z pomp L/G zmieni się o +/-25%.

Tabela 2

Limity emisji SO_2 ze spalania węgli kamiennych i brunatnych wynikające z konkluzji BAT

Całkowita nominalna moc cieplna dostarczona w paliwie obiektu energetycznego spalania, MW	Graniczne emisje SO_2 (mg $SO_2/m^3_{n,s,r}$) – pomiar ciągły [b]			
	średnia roczna		średnia dobowa	
	obiekt nowy	obiekt istniejący [1]	obiekt nowy	obiekt istniejący [2]
< 100	150÷200	150÷360	170÷220	170÷400
100÷300	80÷150	95÷200	135÷200	135÷220 [3]
⩾ 300 PC [a]	10÷75	10÷130 [4]	25÷110	25÷165 [5]
⩾ 300 FBC [6), a]	20÷75	20÷180	25÷110	25÷220

Wyjaśnienia:

1) Ten wymóg nie obowiązuje dla instalacji pracujących < 1500 h/rok.

2) Poziomy są wskaźnikowe dla instalacji pracujących < 500 h/rok.

3) Dla instalacji uruchomionych do 7.01.2014 r. górna granica zakresu wynosi 250 $mg/m^3_{n,s,r}$.

4) Dolna granica zakresu może być osiągnięta dla instalacji wykorzystujących niskozasiarczony węgiel w kombinacji z systemem mokrego odsiarczania spalin.

5) Dla instalacji istniejących uruchomionych do 7.01.2014 r. i pracujących < 1500 h/r górna granica zakresu wynosi 220 $mg/ m^3_{n,s,r}$, natomiast dla instalacji uruchomionych po 7.01.2014 r., wynosi 205 $mg/ m^3_{n,s,r}$.

6) Dla kotłów z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym dolna granica zakresu może być osiągnięta przy zastosowaniu wysokosprawnej instalacji mokrego odsiarczania spalin. Górna granica zakresu może być osiągnięta przy wtrysku sorbentu w obszar złoża.

a) W uzasadnionych technicznie i ekonomicznie przypadkach dla instalacji o mocy powyżej 300 MW dla węgla brunatnego z miejscowych źródeł, górna wartość zakresu średniej rocznej może być podniesiona do $0{,}01xC_{SO2}$, ale max 200 $mg/m^3_{n,s,r}$ dla nowych obiektów i do $0{,}03xC_{SO2}$, ale max 320 $mg/ m^3_{n,s,r}$ dla istniejących obiektów (gdzie C_{SO2} na wlocie do systemu odsiarczania, wyznaczona jako średnia roczna).

b) W przypadku instalacji o nominalnej mocy cieplnej < 100 MW pracujących < 1500 h/r monitoring może być zredukowany do 1 pomiaru na 6 miesięcy.

(źródło: [2])

Efekt jest ponadto zależny od decyzji, którą pompę włączamy lub wyłączamy, ponieważ najwyższy skok skuteczności uzyskujemy przy najwyższych poziomach zraszania – mamy największą wartość H_{abs}.

W celu zapewnienia zgodności z przepisami ochrony środowiska zwykła praktyka obsługowa polega na włączaniu lub wyłączaniu wybranych przez operatora poziomów zraszania, tak aby utrzymywać ciągłą nadwyżkę nad wypełnieniem limitów emisyjnych z dużym marginesem bezpieczeństwa. Praktyka utrzymywania dużego marginesu bezpieczeństwa wynika także z mitygacji ryzyka sytuacji nieprzewidzianych, jak chociażby awaria/niedyspozycyjność jednej z pomp. Możliwość prostych decyzji komplikuje fakt występowania różnych limitów emisyjnych w zależności od poddawanego rozliczeniu okresu: doba, miesiąc czy rok.

W tabeli 2 zestawiono limity emisji SO_2 ze spalania węgli kamiennych i brunatnych wynikające z konkluzji BAT. Jak widać mogą występować różne wartości w zależności od cech obiektu i od decyzji organu udzielającego pozwolenia zintegrowanego. Wartości te są różne w zależności od analizowanego okresu rozliczeniowego: rok czy też doba. Dopuszczone są chwilowe przekroczenia, jak również wyłączenia z rozliczeń określonego wolumenu godzin. Uwarunkowania te powodują, że bez wsparcia informatycznego nie można wyobrazić sobie prowadzenia procesu optymalizacji zużycia energii elektrycznej wykorzystującego w pełni dostępny potencjał.

Skokowy charakter zmian skuteczności działania absorbera jako potencjał optymalizacji

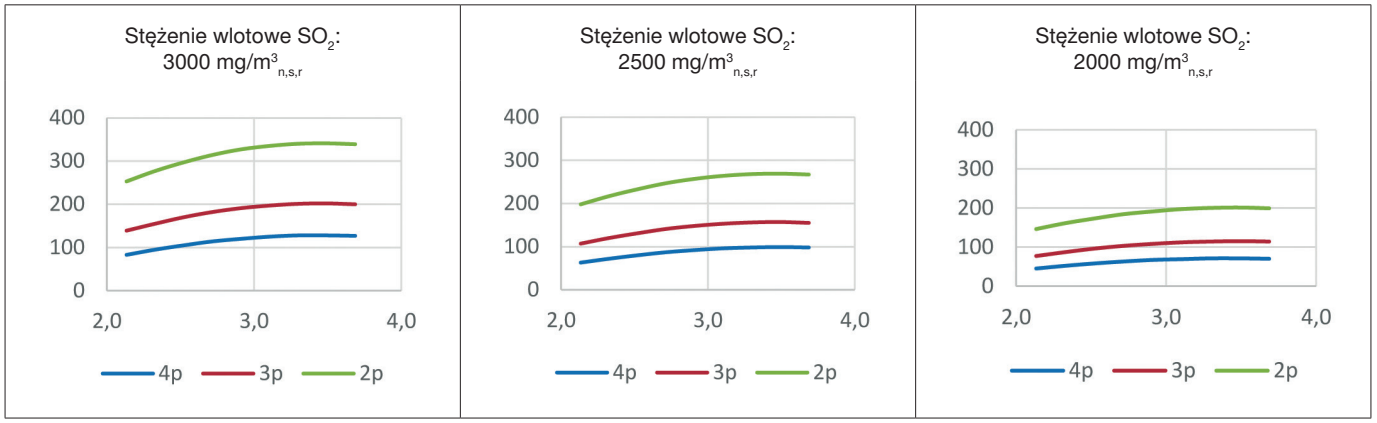
Włączenie lub wyłączenie poziomu zraszania powoduje skokowy wzrost intensywności zraszania, dlatego bez systemowego wsparcia analitycznego skuteczna optymalizacja zużycia energii elektrycznej jest praktycznie niemożliwa. Jednocześnie wszystkie zabudowane w energetyce węglowej instalacje mają potencjał optymalizacyjny w zakresie efektywności energetycznej, ponieważ:

- zostały zaprojektowane lub zmodernizowane w celu osiągania limitu średniorocznego przy pełnym obciążeniu,
- aktualne warunki pracy obiektów są bliższe stanom minimum technicznego niż stanom wydajności maksymalnej projektowej,
- spadek zużycia paliwa spowodował, że łatwiej jest zgromadzić i wykorzystywać w pracy paliwa o lepszych parametrach jakościowych: niższym zasiarczeniu przy wyższej wartości opałowej,
- rośnie udział paliw pomocniczych (np. oleje),
- czasami stosuje się dodatki w postaci biomasy, które istotnie wpływają na obniżenie stężenia wlotowego SO_2.

W celu oszacowania potencjału optymalizacji energetycznej wykonano symulacje dla przykładowego absorbera o następujących cechach:

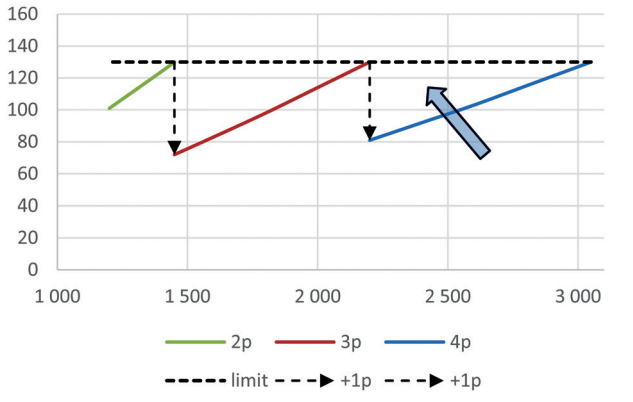
- absorber o średnicy strefy absorpcji 13,5 m, wyposażony w cztery poziomy zraszania, każdy zasilany pompą o wydajności 7400 m^3/h, przetłaczającą zawiesinę o gęstości 1085 kg/m^3 i o pH 5,5,
- absorber wyposażony w półkę otworową wyrównującą przepływ gazu zabudowaną w przestrzeni poniżej poziomów zraszania, nad króćcem wlotowym gazu.

Porównanie uzyskiwanych stężeń wylotowych SO_2 dla pracy czterech, trzech i dwóch poziomów zraszania wizualizuje rysunek 3. Prosta analiza wskazuje, że np. uzyskiwanie charakterystycznego dobowego limitu emisyjnego wynoszącego 200 $mg/m^3_{n,s,r}$ dla stężenia wlotowego SO_2 3000 $mg/m^3_{n,s,r}$ wymaga pracy trzech lub czterech poziomów zraszania, a dla stężenia wlotowego 2000 $mg/m^3_{n,s,r}$ może wystarczyć praca dwóch poziomów zraszania.



Rys. 3. Porównanie stężeń wylotowych SO_2 [mg/m$^3_{n,s,r}$] w funkcji prędkości spalin w absorberze w przeliczeniu na pusty przekrój [m/s] dla trzech stężeń wlotowych SO_2 przy pracy czterech, trzech i dwóch poziomów zraszania dla przykładowego absorbera (źródło: opracowanie własne)

Ponieważ włączanie kolejnej pompy cyrkulacyjnej powoduje skokowy wzrost skuteczności usuwania zanieczyszczeń, utrzymywanie limitu emisyjnego zawsze prowadzi do budowania nadwyżek po uśrednieniu osiąganej emisji w okresie rozliczeniowym, co przedstawiono na rysunku 4.

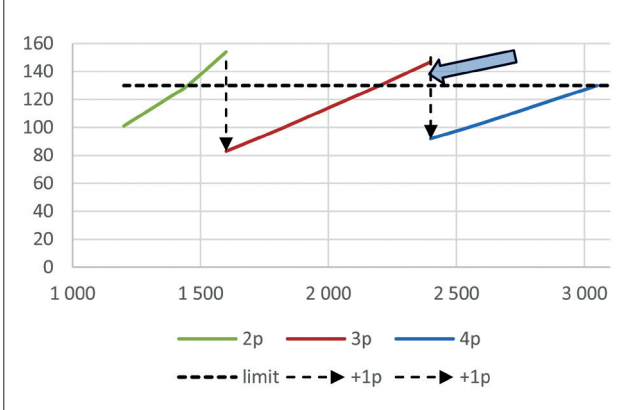


Obszar poniżej linii limitu emisyjnego o kształcie trójkąta ograniczony liniami:
1) limitu emisyjnego,
2) osiąganego stężenia przy pracy danej konfiguracji pomp,
3) granicą włączania kolejnej pompy w celu dochowania limitu emisyjnego,
definiuje nadwyżkę wypracowaną przez system. Nadwyżka ta może zostać wykorzystana w celu poprawy efektywności energetycznej.
W analizowanym przypadku średnia wyniosłaby 110 mg/m$^3_{n,s,r}$ przy założeniu równomiernego rozłożenia zdarzeń w czasie.

Rys. 4. Stężenie wylotowe SO_2 mg/m$^3_{n,s,r}$ w funkcji stężenia wlotowego SO_2 mg/m$^3_{n,s,r}$ dla maksymalnego strumienia spalin (w_{sp}= 3,7 m/s) z założeniem utrzymania limitu emisyjnego <130 mg/m$^3_{n,s,r}$ – praca dwóch, trzech lub czterech poziomów zraszania (źródło: opracowanie własne)

Rzeczywista analiza musi uwzględniać zmienność i długość poszczególnych warunków pracy w czasie. Dla analizowanego absorbera pompy cyrkulacyjne wykazują pobór mocy na wale od 545 do 674 kW, co oznacza, że godzinne wyłączenie jednej z pomp daje oszczędności przeciętnie rzędu 600 kWh, nie uwzględniając spadku poboru mocy na wentylatorze.

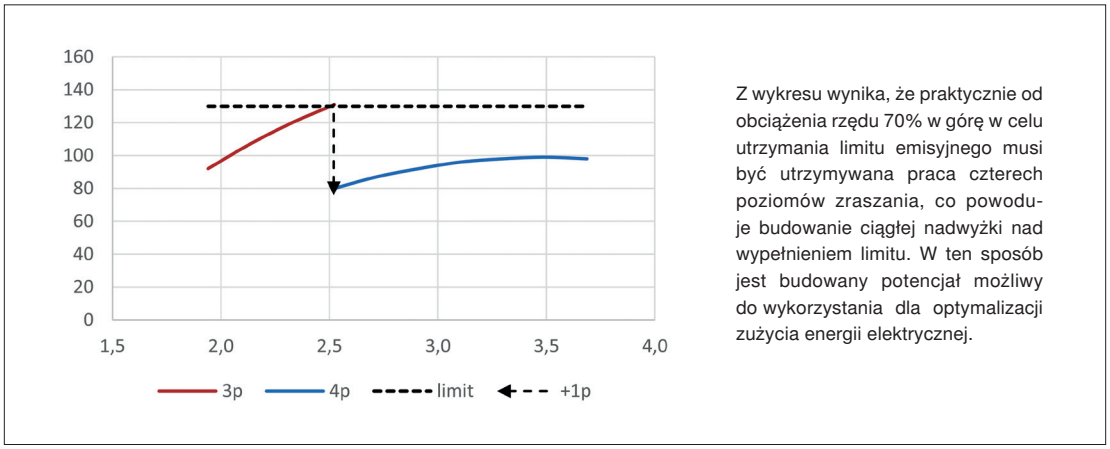
Jeśli wypracujemy w czasie „t" nadwyżkę dotyczącą wypełnienia limitu emisyjnego jak w analizowanym przykładzie wynoszącą 130 – 110 = 20 mg/m$^3_{n,s,r}$, to upraszczając w czasie „t" możemy poprowadzić proces uzyskując stężenie 130 + 20 = 150 mg/m$^3_{n,s,r}$ bez naruszenia uzyskiwanej średniej.



Obszar o kształcie trójkąta powyżej linii limitu emisyjnego ograniczony liniami:
1) osiąganego stężenia przy pracy danej konfiguracji pomp,
2) granicą włączania kolejnej pompy,
3) limitu emisyjnego,
definiuje minimalny potencjał oszczędności energii elektrycznej związanej z pracą pomp cyrkulacyjnych.
Włączenie/wyłączenie jednej pompy (+1p) odpowiada skokowi poboru mocy o ok. 600 kW.

Rys. 5. Stężenie wylotowe SO_2 mg/m$^3_{n,s,r}$ w funkcji stężenia wlotowego SO_2 mg/m$^3_{n,s,r}$ dla maksymalnego strumienia spalin (wsp = 3,7 m/s) z założeniem utrzymania granicznego stężenia <150 mg/m$^3_{n,s,r}$ – praca dwóch, trzech lub czterech poziomów zraszania (źródło: opracowanie własne)

Przedstawiony opis dotyczy nadwyżek opartych na obniżonym stężeniu wlotowym SO_2 w porównaniu z warunkami projektowymi. Podobne zjawisko dotyczy także sytuacji budowania nadwyżek opartych na obniżonym strumieniu objętości gazu. Przyjęto, że analizowany absorber został zaprojektowany na prędkość gazu przy maksymalnym obciążeniu wynoszącą 3,7 m/s.



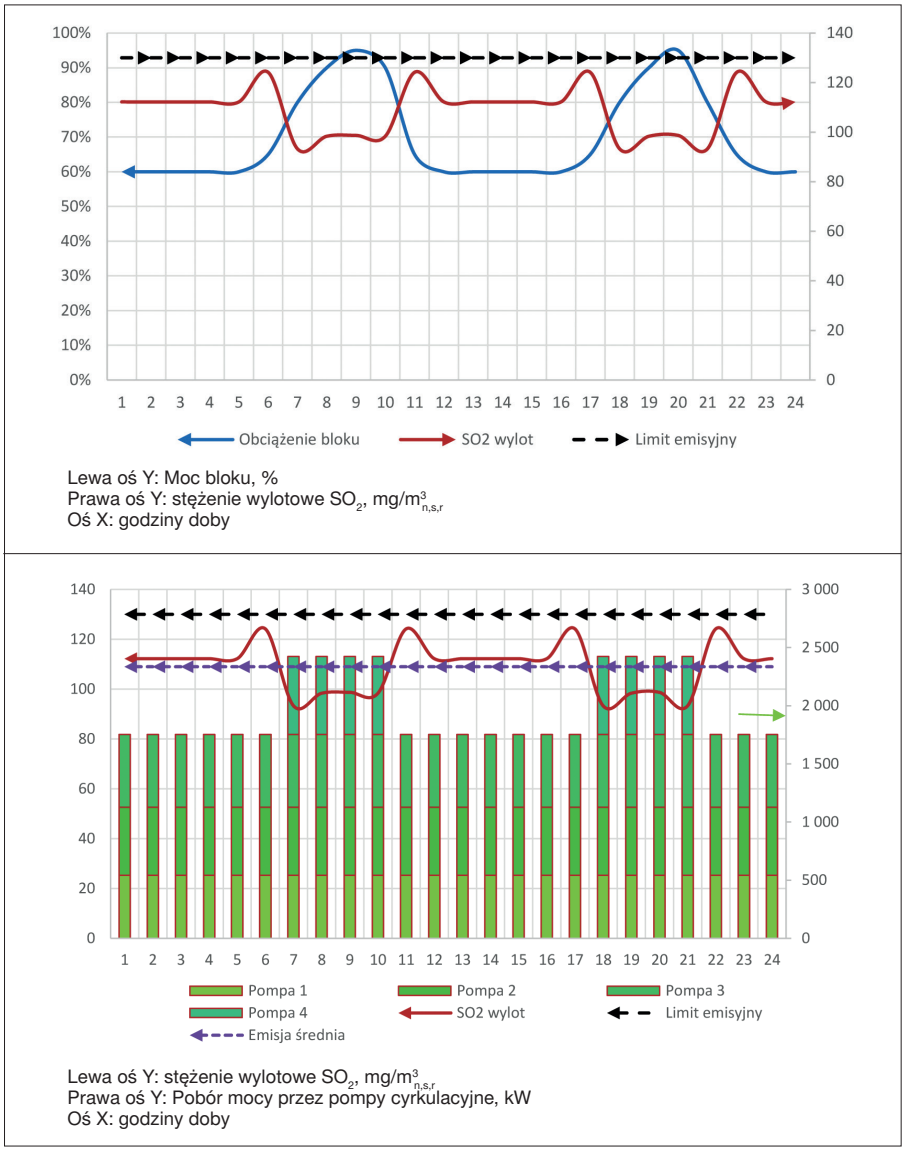
Rys. 6. Stężenie wylotowe SO_2 mg/m$^3_{n,s,r}$ w funkcji prędkości gazu w strefie absorpcji [m/s] dla stężenia wlotowego SO_2 = 2500 mg/m$^3_{n,s,r}$ z założeniem utrzymania limitu emisyjnego <130 mg/m$^3_{n,s,r}$ – praca trzech lub czterech poziomów zraszania (źródło: opracowanie własne)

Rysunek 6 wizualizuje sposób prowadzenia pracy przy zmiennym strumieniu spalin. Widać, że potencjał nadwyżki utrzymywanej dla założenia utrzymania limitu emisyjnego jest tu większy niż przy zmienności stężenia wlotowego SO_2.

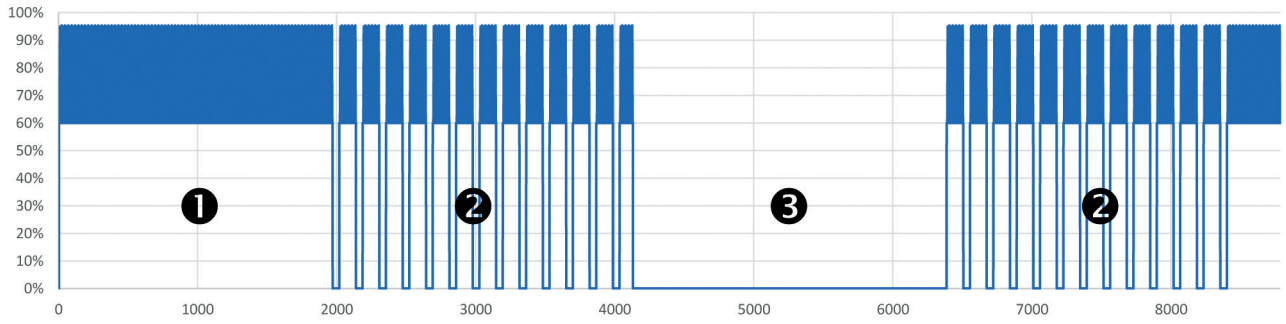
W rzeczywistości mamy proces o co najmniej dwóch istotnych zmiennych: $C_{wlot,SO2}$ oraz w_{sp}, który dodatkowo musi być analizowany w czasie, ponieważ nadzorujemy średnie dobowe i średnie roczne stężeń SO_2 emitowanych do środowiska. Z przedstawionej analizy wynika, że większy wpływ ma zmiana strumienia spalin (w_{sp}), a ta jest praktycznie wprost powiązana z mocą bloku. Dobowe cykle zmiany obciążenia bloku z powtarzającymi się dwoma okresami szczytowej produkcji – szczytem rannym i szczytem wieczornym – wymuszają w czasie podjazdu mocy włączanie kolejnych pomp cyrkulacyjnych.

Rysunek 7 wizualizuje taką sytuację dla przykładowego absorbera przy stężeniu wlotowym SO_2 2500 mg/m$^3_{n,s,r}$: w okresie szczytu i maksymalnej mocy pracują cztery pompy cyrkulacyjne, a poza nim trzy pompy. Limit emisyjny wynoszący 130 mg/m$^3_{n,s,r}$ jest zachowany z nadwyżką i jest gromadzony potencjał pozwalający poprawić efektywność energetyczną – okresy pracy kompletu pomp cyrkulacyjnych mogą zostać skrócone.

W rocznym charakterze pracy bloku można w uproszczeniu wyodrębnić trzy fazy, które obrazuje rysunek 8 i które trzeba uwzględnić w analityce.



Rys. 7. Dobowa praca absorbera przy założeniu spełnienia limitu emisji SO_2 130 mg/m$^3_{n,s,r}$; w okresie podjazdu z mocą pracują cztery pompy, a poza tym okresem trzy pompy cyrkulacyjne, co przekłada się na łączne zapotrzebowanie mocy przez pompy odpowiednio 2420 i 1750 kW (źródło: opracowanie własne)



1. Okres pracy z dominującym obciążeniem minimalnym i zwykle dwoma okresami podjazdów obciążenia zwykle w czasie szczytu zapotrzebowania porannego i wieczornego, zwykle okres zimowy.
2. Okres pracy z dominującym obciążeniem minimalnym, zwykle dwoma okresami podjazdów mocy w czasie szczytu zapotrzebowania porannego i wieczornego oraz odstawieniami sobotnio-niedzielnymi, zwykle okresy przejściowe wiosenny i jesienny.
3. Okres wyłączenia z eksploatacji i postoju bloku, zwykle okres letni.

Rys. 8. Roczny, uproszczony profil pracy bloku: obciążenie bloku w funkcji godzin pracy w roku (źródło: opracowanie własne)

Możliwości optymalizacji zużycia energii elektrycznej

Istnieje możliwość zbudowania algorytmu podpowiadającego obsłudze warunki optymalnej pracy pomp cyrkulacyjnych z punktu widzenia efektywności energetycznej na podstawie zaimplementowanego w systemie informatycznym modelu pracy absorbera i dostępu do:

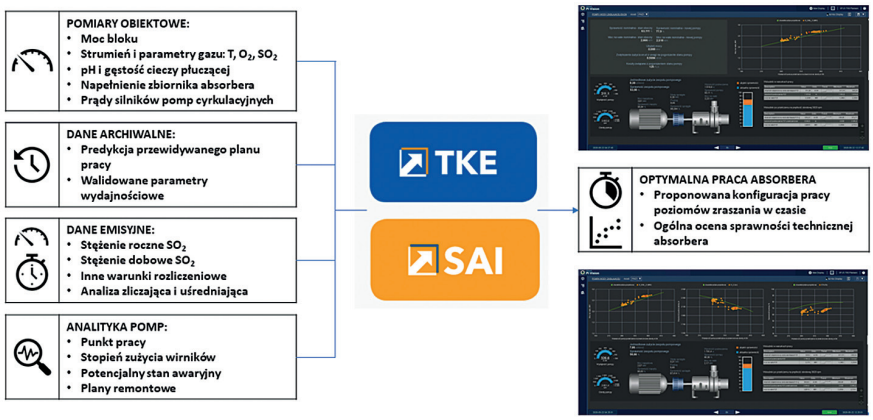
a) bieżących mierzonych parametrów procesu:
   - strumień i parametry spalin,
   - stężenie wlotowe SO_2,
   - pH cieczy przemywającej gaz,
   - gęstość cieczy przemywającej gaz,
   - napełnienie zbiornika cieczy przemywającej,
   - status pracy poszczególnych pomp cyrkulacyjnych,

oraz

b) parametrów emisyjnych zliczanych narastająco i uśrednianych:
   - stężenie dobowe SO_2,
   - stężenie roczne SO_2.

Koncepcję modułu obliczeniowego do aplikacji w systemie TKE® (Techniczna Kontrola Eksploatacji) lub SAI® (System Analiz Inżynierskich) przedstawia rysunek 9. Moduł może uwzględniać analizę danych archiwalnych i predykcję warunków pracy na niej opartą.

Przykładową maskę systemu SAI® dla pompy wody zasilającej zaprezentowano na rysunku 10.



Rys. 9. Koncepcja modułu doradczego związanego z optymalizacją pracy absorbera (źródło: opracowanie własne)

Rys. 10. Przykładowa maska systemu SAI® – pompy wody zasilającej (źródło: „Energopomiar" Sp. z o.o.)

Przy przyjęciu pracy instalacji 3500 godzin na rok i założeniu, że około ¼ czasu pracy może zostać zoptymalizowana, zsumowana oszczędność w zużyciu energii elektrycznej wyniesie nie mniej niż:

$$3500 \times 0{,}25 \times 600 = 525\,000 \text{ kWh},$$

co przy przyjęciu ceny 400 PLN/MWh (TGeBase 20.05.2025) przekłada się na roczną równowartość rzędu 210 000 PLN.

Warianty konstrukcji absorberów i działania komplementarne

Opisana możliwość optymalizacji dotyczy wszystkich występujących konstrukcji absorberów poza sytuacjami, w których istnieje możliwość płynnej regulacji wydajności poziomów zraszania.

W absorberach wyposażonych w półkę sitową lub barbotażową zmniejsza się efekt poprawy skuteczności usuwania zanieczyszczeń wraz ze wzrostem H_{abs}. Do modelowania skuteczności pracy absorbera przedstawionej na wykresach przyjęto stałą wartość H_{abs} niezależnie od tego czy pracują dwa, trzy, czy też cztery poziomy zraszania. Należy tutaj zwrócić uwagę, że definicja H_{abs} zależy od konkretnego przyjętego modelu absorbcji i może różnić się w zależności od zastosowanego równania na skuteczność usuwania SO_2.

Osobnym, nieomawianym w ramach tego artykułu sposobem na ograniczenie zużycia energii elektrycznej na potrzeby cyrkulacji cieczy absorpcyjnej jest zastosowanie dodatków w formie kwasów organicznych. Odpowiednio dobrana dawka kwasu może być substytutem jednego poziomu zraszania absorbera.

Nadzór nad wydajnością pomp cyrkulacyjnych

Warunkiem poprawnej pracy absorbera jest utrzymywanie parametrów projektowych pomp cyrkulacyjnych w zakresie wydajności i ciśnienia z ogólnym założeniem, że powinny się one mieścić w zakresie +/–5% wartości projektowej.

Ze względu na charakterystykę przetłaczanego medium wirniki pomp cyrkulacyjnych podlegają zużyciu i powinny być regularnie wymieniane.

Problemem jest diagnostyka stanu technicznego, ponieważ systemy cyrkulacyjne nie są opomiarowane w zakresie wydajności i analiza stanu technicznego bazuje na dostępnych danych, takich jak:

- pomiar prądu pobieranego przez silnik,
- pomiary ciśnienia na ssaniu i tłoczeniu, które w wielu lokalizacjach są pomiarami lokalnymi,
- napełnienie absorbera, ponieważ pompy pracują z napływem,
- parametry przetłaczanego medium, w szczególności pomiar gęstości,
- charakterystyka dysz rozpylających.

Na ich podstawie dokonuje się wyznaczenia punktu pracy i jego odniesienia do charakterystyki urządzenia. Istnieje możliwość zastosowania autorskiej metody Energopomiaru opartej na wyznaczaniu wydajności na podstawie fluktuacji ciśnień podczas uruchamiania pompy. Proponowane rozwiązania nie wymagają zabudowy bezpośredniego opomiarowania w zakresie wydajności pompy.

W określonym zakresie systemy TKE® i SAI® mogą prowadzić diagnostykę pomp cyrkulacyjnych.

Rys. 11. Zrzut ekranu systemu SAI® przedstawiający przykładową diagnostykę pomp (przykład pomp wody zasilającej) (źródło: „Energopomiar" Sp. z o.o.)

Przykładowy zrzut ekranu z systemu SAI® przedstawiono na rysunku 11.

Moduł diagnostyki pomp w systemach TKE® i SAI® wspomaga monitorowanie stanu technicznego i efektywności energetycznej pomp na podstawie danych eksploatacyjnych. Umożliwia m.in. porównanie aktualnych parametrów pracy z danymi referencyjnymi, określenie ubytku sprawności oraz wyznaczenie punktu pracy na charakterystyce urządzenia. Dodatkowo pozwala oszacować potencjalne oszczędności energii związane z remontem lub wymianą pompy. Rozwiązanie to wspiera podejmowanie decyzji eksploatacyjnych na podstawie obiektywnych wskaźników technicznych i energetycznych.

Wsparcie optymalizacji i diagnostyki absorbera polega na wskazaniu lub eliminacji jednego z kluczowych czynników wpływających na pogorszenie pracy absorbera, jakim jest poprawna praca pompy cyrkulacyjnej. Istotne jest także to, że utrzymanie sprawności układów cyrkulacyjnych pozwala przeciwdziałać zjawiskom zarastania na peryferyjnych, najdalszych układach dyszowych i pod nimi.

Podsumowanie

Ze względu na aktualne uwarunkowania pracy instalacji mokrego odsiarczania spalin istnieje potencjał poprawy efektywności energetycznej węzła absorbera oparty na optymalizacji czasów pracy pomp cyrkulacyjnych. Włączenie lub wyłączenie poziomu zraszania powoduje skokowy wzrost intensywności zraszania i skokową zmianę osiąganych skuteczności usuwania zanieczyszczeń. Istnieje możliwość wdrożenia analityki doradczej wykorzystującej algorytm modelujący absorber oraz zliczane w czasie dane o uśrednionych emisjach w celu optymalizacji zużycia energii elektrycznej przez pompy cyrkulacyjne. Wielkość oszczędności związanych z poborem mocy może być oszacowana wyłącznie poprzez indywidualną analizę danego obiektu: cech technicznych zastosowanego absorbera i jego pomp cyrkulacyjnych oraz planowanych warunków i profilu pracy.

PIŚMIENNICTWO

[1] Mazurek J., Praca doktorska „Opracowanie modelu obliczeniowego pionowego absorbera natryskowego do odsiarczania spalin kotłowych", Politechnika Wrocławska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Zakład Naukowo-Dydaktyczny Ochrony Atmosfery, 2017.

[2] Decyzja Wykonawcza Komisji (UE) 2021/2326 z dnia 30 listopada 2021 r. ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w odniesieniu do dużych obiektów energetycznego spalania zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE, Dz. U. UE L469/1.