



Redukcja strat energii w układach pomocniczych bloków węglowych: poprawa efektywności energetycznej systemów mokrego oczyszczania gazów



Mariola Kobylańska-Pawlisz

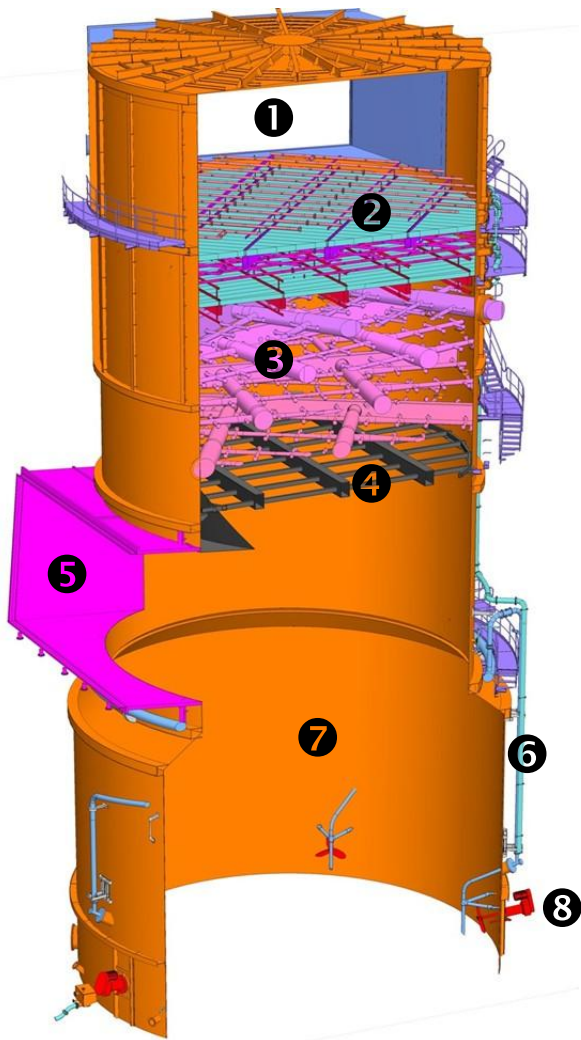
Dr inż. Jerzy Mazurek

„Energopomiar” Sp. z o.o.

Sepetna, 9 września 2025 r.

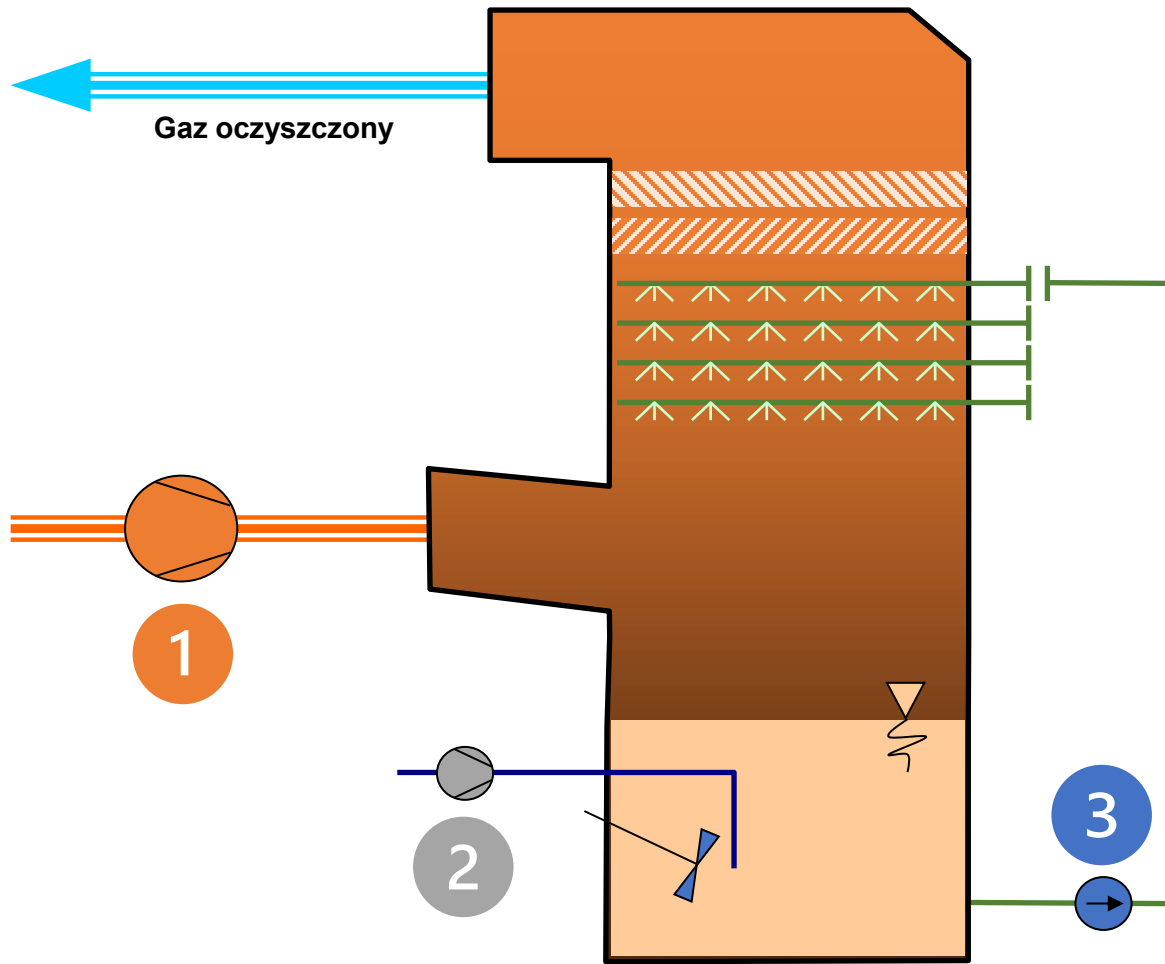
LP.	ZAGADNIENIE	SLAJDY
1.	Typowa konstrukcja absorbera instalacji mokrego odsiarczania spalin	3
2.	Główne odbiorniki elektryczne związane z absorberem mokrego oczyszczania spalin	4
3.	Główne parametry związane ze skutecznością usuwania SO ₂ w absorberze mokrego oczyszczania spalin	5
4.	Limity emisji SO ₂ ze spalania węgla kamiennych i brunatnych wynikające z konkluzji BAT	6
5.	Uwarunkowania związane z rosnącym potencjałem optymalizacji efektywności energetycznej instalacji mokrego odsiarczania	7
6.	Parametry przykładowego absorbera przyjętego do analiz	8
7.	Porównanie stężeń wylotowych SO ₂ w funkcji prędkości spalin w absorberze przy pracy 4, 3 i 2 poziomów zraszania – przykład	9
8.	Nadwyżki wypracowywane przez system związane z pracą 4, 3 i 2 poziomów zraszania dla różnych stężeń SO ₂ – przykład	10
9.	Nadwyżki wypracowywane przez system związane z pracą 4, 3 i 2 poziomów zraszania dla różnych strumieni gazu – przykład	11
10.	Dobowa praca absorbera przy założeniu wypełnienia limitu emisji SO ₂ 130 mg/m ³ _{n,s,r} – przykład	12
11.	Możliwości optymalizacji zużycia energii elektrycznej	13
12.	Koncepcja modułu doradczego związanego z optymalizacją pracy absorbera	14
13.	Podsumowanie	15

Typowa konstrukcja absorbera instalacji mokrego odsiarczania spalin



- 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 utleniającego.
- 7 Zbiornik absorbera.
- 8 Mieszadła.

Główne odbiorniki elektryczne związane z absorberem mokrego oczyszczania spalin

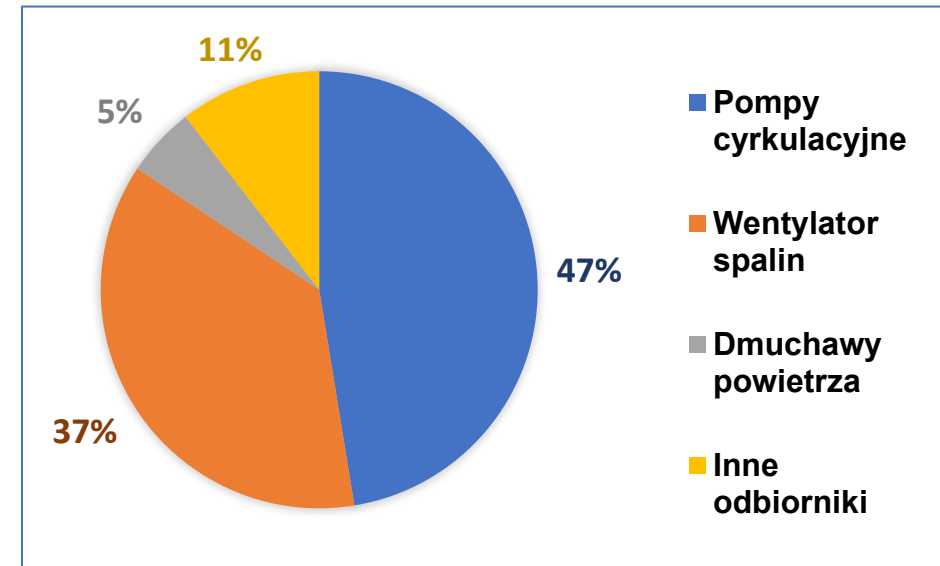


Zasadniczymi konsumentami energii elektrycznej absorbera mokrego oczyszczania spalin są:

- ① wentylator przetłaczający gaz,
- ② dmuchawy powietrza utleniającego,
- ③ pompy cyrkulacyjne zasilające poszczególne poziomy zraszania.

Ww. odbiorniki w skali całej instalacji mogą odpowiadać za prawie 90% całkowitego zużycia energii elektrycznej.

Przykładowa struktura zużycia energii elektrycznej instalacji mokrego odsiarczania spalin:



Główne parametry związane ze skutecznością usuwania SO₂ w absorberze mokrego oczyszczania spalin



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, SO_2}	stężenie wlotowe SO ₂	mg/m _{s,n} ³	A
T_{sp}	temperatura gazu	K	A
u_{V,H_2O}	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	kg/m ³	A
H_{abs}	wysokość strefy absorpcji	m	C

Klasyfikator:

- A: parametr zależny od procesu, bieżącego obciążenia instalacji lub cech konstrukcyjnych (przekroju poprzecznego) absorbera,
- B: parametr zależny od operatora, ale wolnozmienny lub ustalony optymalnie ze względu na uwarunkowania procesu np. parametry jakościowe produktu,
- C: parametr na który operator ma wpływ, możliwy do wykorzystania w procesie optymalizacji energetycznej,**

Limity emisji SO₂ ze spalania węgla kamiennych i brunatnych wynikające z konkluzji BAT



Całkowita nominalna moc cieplna dostarczona w paliwie obiektu energetycznego spalania (MW _t)	Graniczne emisje SO ₂ (mg SO ₂ /m _{n,s,r} ³) – pomiar ciągły ^{b)}			
	Średnia roczna		Średnia dobową	
	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_{n,s,r}³.
- 4) Dolna granica zakresu może być osiągnięta dla instalacji wykorzystujących nisko zasiarczony 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_{n,s,r}³, natomiast dla instalacji uruchomionych po 7.01.2014 r., wynosi 205 mg/ m_{n,s,r}³.
- 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_{n,s,r}³ dla nowych obiektów i do 0,03xC_{SO₂}, ale max 320 mg/ m_{n,s,r}³ 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_t pracujących < 1500 h/r monitoring może być zredukowany do 1 pomiaru na 6 miesięcy.

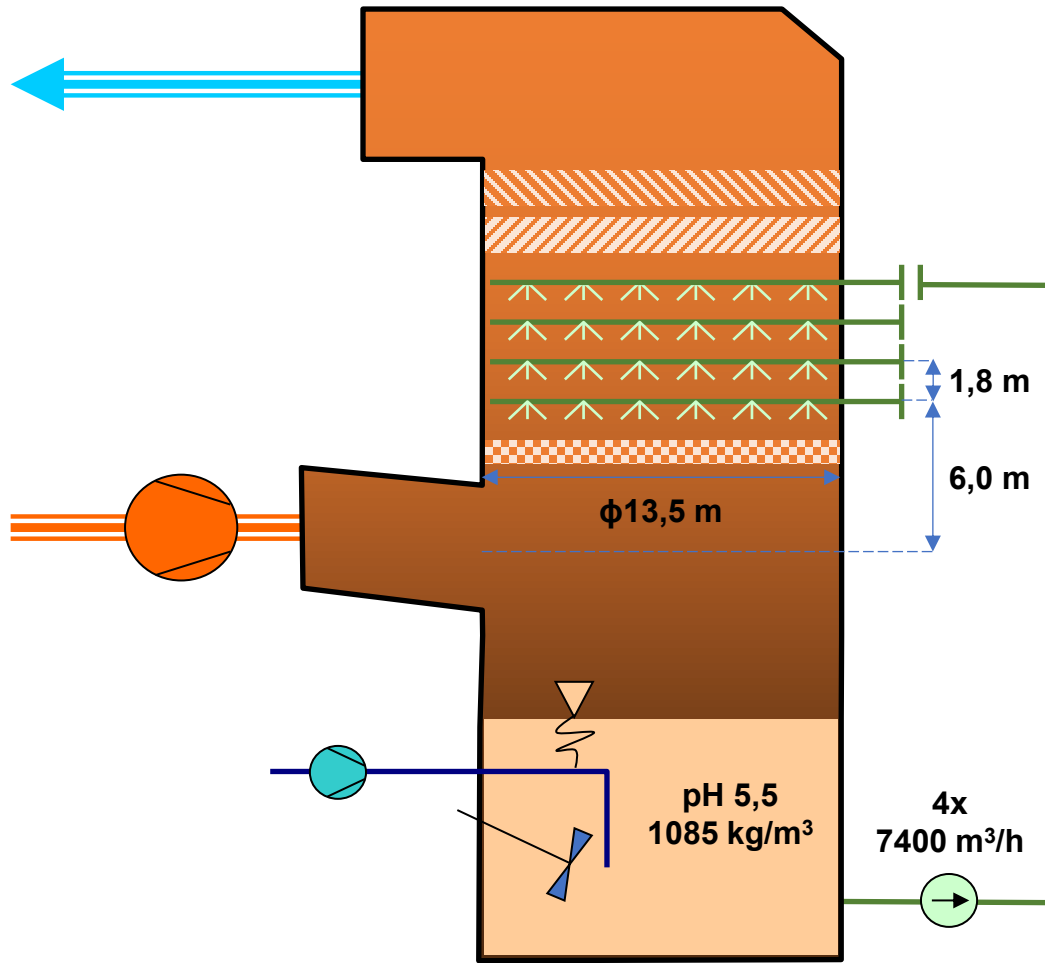
Uwarunkowania związane z rosnącym potencjałem optymalizacji efektywności energetycznej instalacji mokrego odsiarczania



Aktualnie wszystkie zabudowane w energetyce węglowej instalacje mokrego odsiarczania spalin mają potencjał optymalizacyjny w zakresie efektywności energetycznej, ponieważ:

1. zostały zaprojektowane lub zmodernizowane dla osiągnięcia limitu średniorocznego przy pełnym obciążeniu,
2. aktualne warunki pracy obiektów są bliższe stanom minimum technicznego niż stanom wydajności maksymalnej projektowej,
3. spadek zużycia paliwa spowodował, że łatwiej jest zgromadzić i wykorzystywać w pracy paliwa o lepszych parametrach jakościowych: niższym zasiarczeniu przy wyższej wartości opałowej,
4. rośnie udział paliw pomocniczych takich jak np. oleje,
5. stosuje się dodatki w postaci biomasy, które istotnie wpływają na obniżenie stężenia wlotowego SO₂.

Parametry przykładowego absorbera przyjętego do prezentowanych analiz

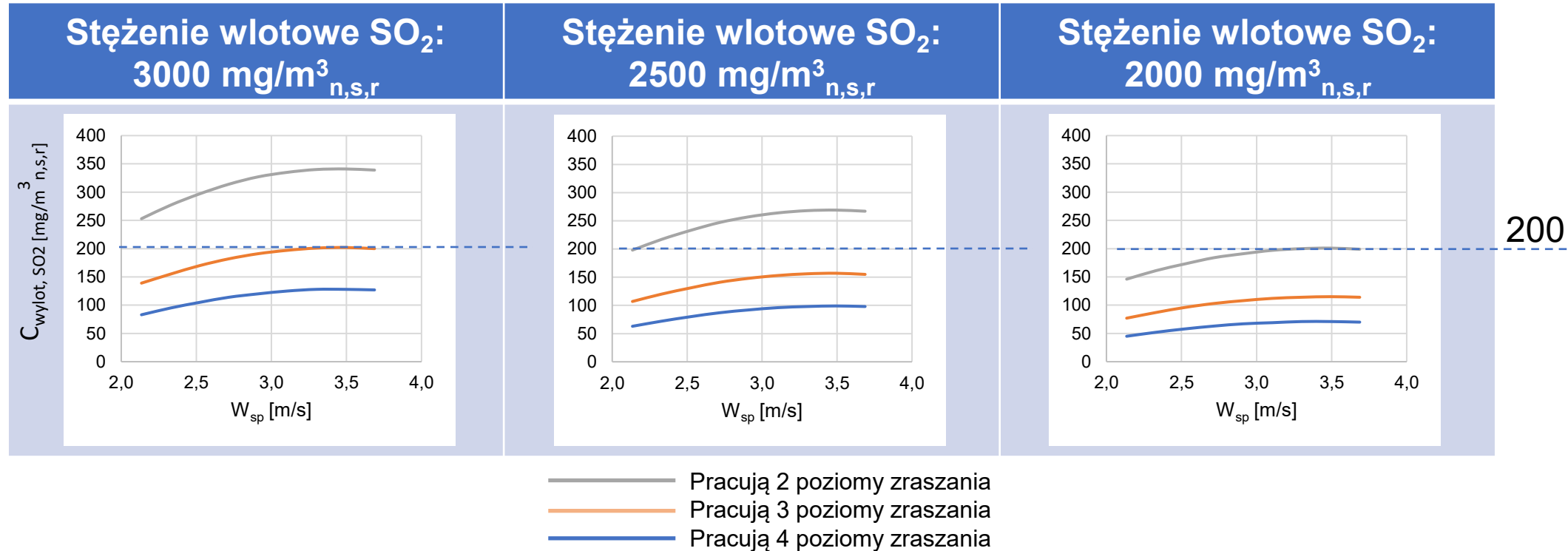


Do wykonania przykładowych analiz przyjęto absorber o cechach jn.

Parametr	Jedn.	Wartość
Średnicy strefy absorpcji	m	13,5
Liczba poziomów zraszania	szt.	4
Wydajność pomp cyrkulacyjnych	m ³ /h	7400
Półka sitowa	-	otworowa
Gęstość zawiesiny	kg/m ³	1085
pH zawiesiny	-	5,5

pracujący na węglu kamiennym ($T_{sp}=49^{\circ}\text{C}$; $u_{V,H_2O}=0,12$),
z typowymi dyszami o $d_s=1,9\div 2,2$ mm przy 0,7 barG.

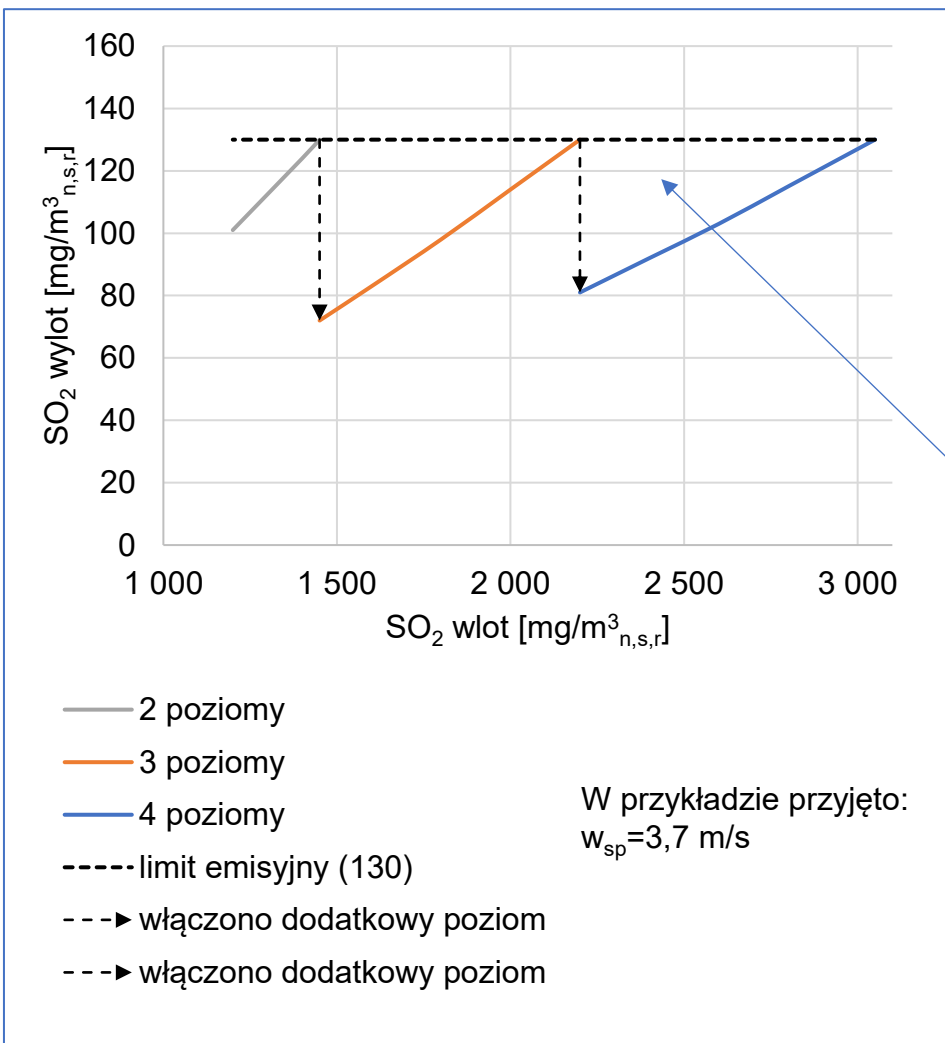
Porównanie stężeń wylotowych SO₂ w funkcji prędkości spalin w absorberze przy pracy 4, 3 i 2 poziomów zraszania – przykład



Analiza wskazuje, że uzyskanie charakterystycznego dobowego limitu emisyjnego 200 mg/m³_{n,s,r}

- dla stężenia wlotowego SO₂ 3000 mg/m³_{n,s,r} wymaga pracy 3 lub 4 poziomów zraszania,
- dla stężenia wlotowego 2000 mg/m³_{n,s,r} wymaga pracy tylko 2 poziomów zraszania.

Nadwyżki wypracowywane przez system związane z pracą 4, 3 i 2 poziomów zraszania dla różnych stężeń SO_2 – przykład



Obszar poniżej linii limitu emisyjnego o kształcie trójkąta ograniczony liniami:

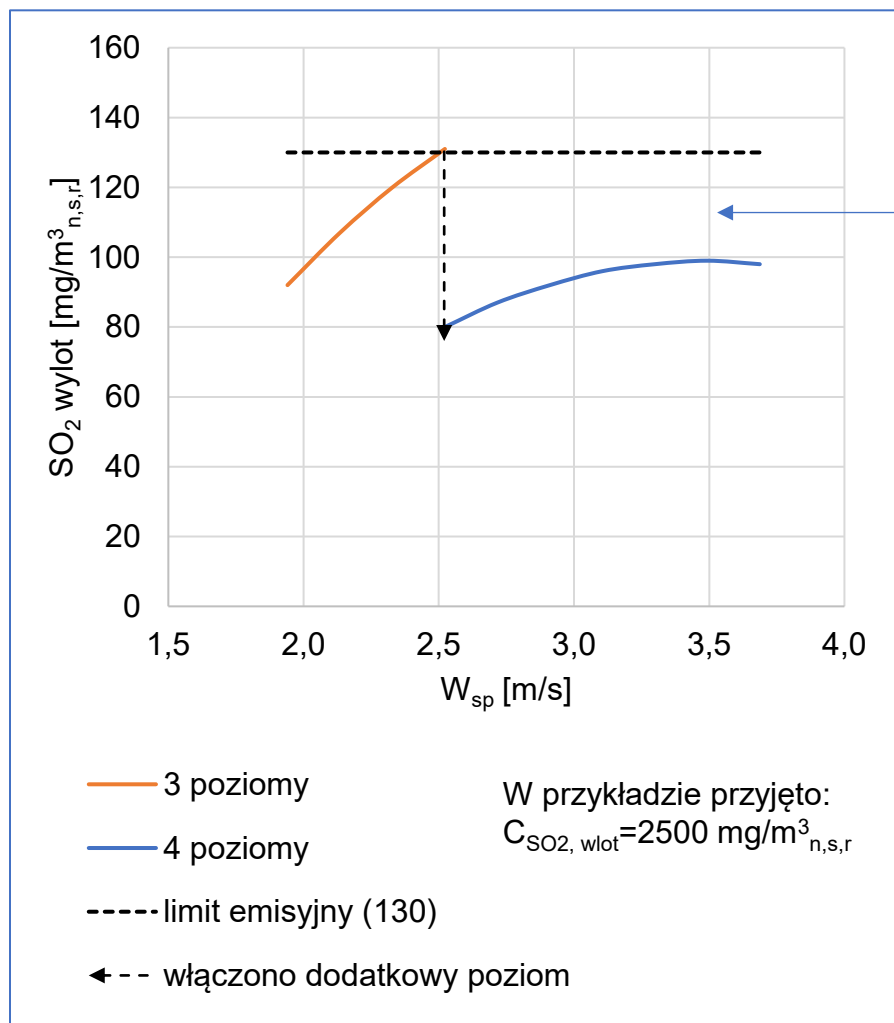
- 1) limitu emisyjnego,
- 2) osiąganego stężenia przy pracy danej konfiguracji pomp,
- 3) granicą włączania kolejnej pompy w celu dochowania limitu emisyjnego

definiuje nadwyżkę wypracowaną przez system.

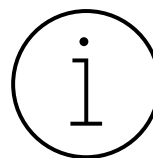
Nadwyżka ta może zostać wykorzystana w celu poprawy efektywności energetycznej.

W analizowanym przykładzie średnia wyniosłaby 110 [mg/m³_{n,s,r}] przy założeniu równomiernego rozłożenia zdarzeń w czasie.

Nadwyżki wypracowywane przez system związane z pracą 4, 3 i 2 poziomów zraszania dla różnych strumieni gazu – przykład



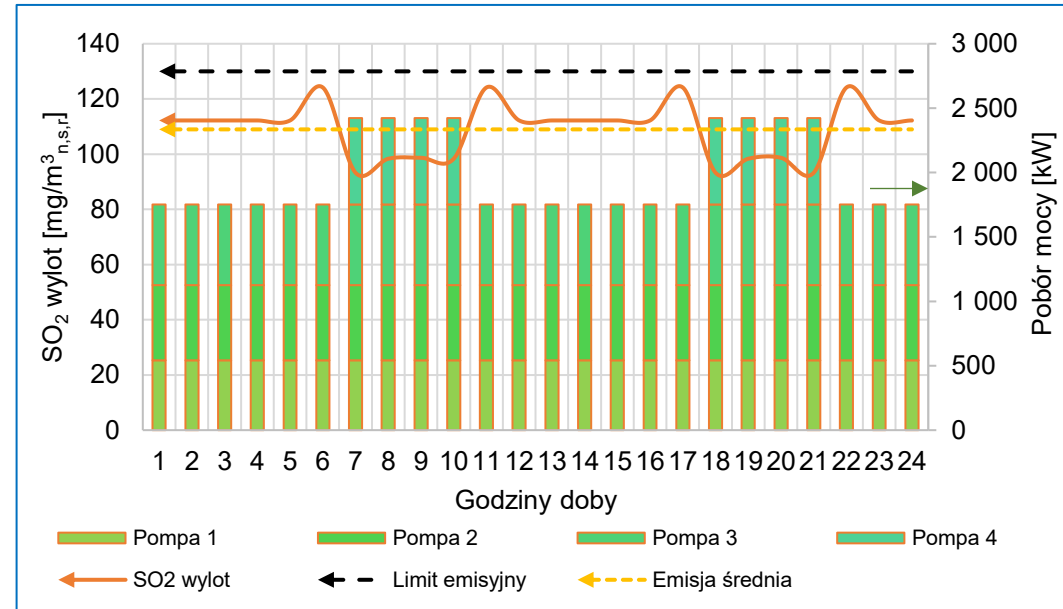
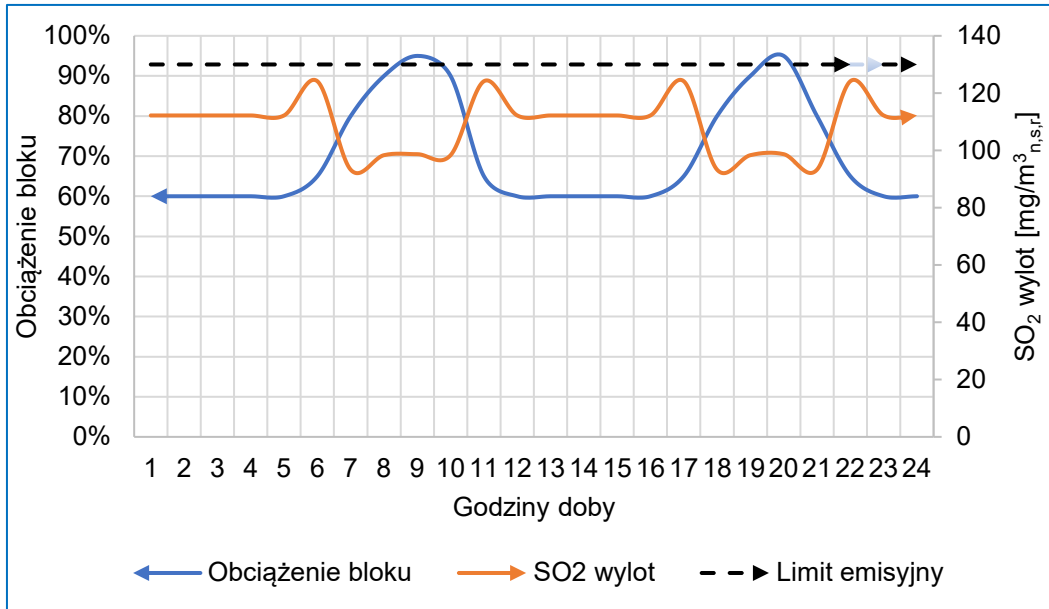
Z wykresu wynika, że praktycznie od obciążenia rzędu 70% w górę w celu utrzymania limitu emisyjnego musi być utrzymywana praca 4 poziomów zraszania co powoduje budowanie ciągłej nadwyżki nad wypełnieniem limitu emisyjnego. W ten sposób jest budowany potencjał możliwy do wykorzystania dla optymalizacji zużycia energii elektrycznej.



W rzeczywistości mamy proces o co najmniej dwóch istotnych zmiennych: $C_{\text{wlot,SO}_2}$ oraz W_{sp} , który dodatkowo musi być analizowany w czasie ponieważ nadzorujemy średnie dobowe i średnie roczne stężenia SO₂ 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.

Dobowa praca absorbera przy założeniu wypełnienia limitu emisji SO_2 $130 \text{ mg/m}^3_{\text{n,s,r}}$ - przykład



Dobowa praca absorbera przy założeniu wypełnienia limitu emisji SO_2 $130 \text{ mg/m}^3_{\text{n,s,r}}$

W okresie podjazdu z mocą pracują 4 pompy, a poza tym okresem 3 pompy cyrkulacyjne, co dla przykładowego absorbera przekłada się na łączne zapotrzebowanie mocy przez pompy odpowiednio 2420 i 1750 kW.

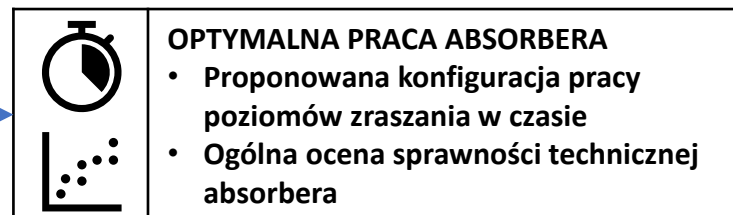
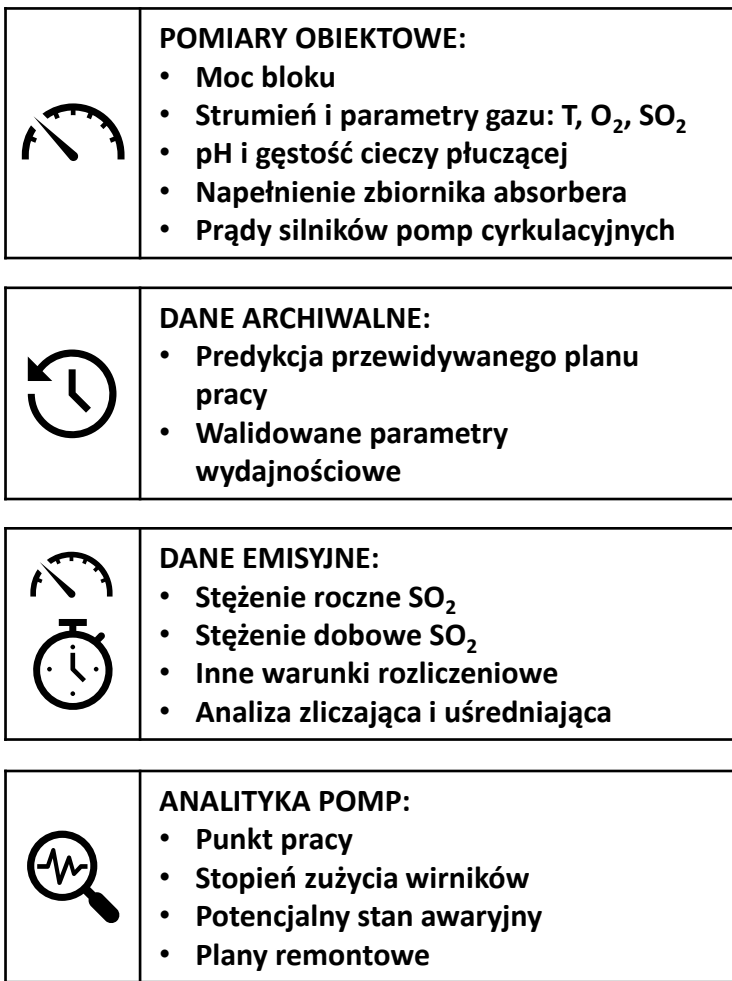
W oparciu o zaimplementowany w systemie informatycznym model pracy absorbera oraz:

- a) **dostęp do 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,
- b) **parametrów emisyjnych zliczanych narastająco i uśrednianych:**
 - stężenie dobowe SO_2 ,
 - stężenie roczne SO_2

istnieje możliwość zbudowania **algorytmu podpowiadającego obsłudze warunki optymalnej pracy pomp cyrkulacyjnych z punktu widzenia efektywności energetycznej**.

Moduł może uwzględniać analizę danych archiwalnych i predykcję warunków pracy.

Koncepcja modułu doradczego związanego z optymalizacją pracy absorbera



- › Ze względu na aktualne uwarunkowania pracy instalacji mokrego odsiarczania spalin istnieje potencjał poprawy efektywności energetycznej węzła absorbera w oparciu o **optymalizację czasów pracy pomp cyrkulacyjnych**.
- › Włączenie lub wyłączenie poziomu zraszania powoduje skokowy wzrost intensywności zraszania i skokową zmianę osiąganych skuteczności usuwania zanieczyszczeń.
- › Istnieje możliwość wdrożenia **analitiky 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.



LAT
75



wiedza i doświadczenie

„Energopomiar” Sp. z o.o.

Dr inż. Jerzy Mazurek



tel. 32 237 64 60



tel. 602 760 006



jmazurek@energopomiar.com.pl



44-121 Gliwice, ul. Józefa Sowińskiego 3



<https://energopomiar.com/>

