



**INSTYTUT CHEMICZNEJ
PRZERÓBKİ WĘGLA**



**Doświadczenia praktyczne z rocznej eksploatacji
instalacji pilotowej absorpcyjnego usuwania CO₂ ze
spalin kotłowych**

„Ochrona Środowiska w Energetyce” 17-18 luty 2014
Adam Tatarczuk - ICHPW

Informacje o projekcie

Nazwa zadania

Modelowanie, badania laboratoryjne oraz technologiczne wychwyty CO₂ w skali pilotowej

Główny cel zadania

Opracowanie i sprawdzenie w skali pilotowej procesu wychwyty CO₂ ze spalin - jeden z trzech głównych celów całego Projektu Strategicznego.

Termin realizacji

5.05.2010 – 30.04.2015 (60 miesięcy)

Realizatorzy zadania

Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla,
TAURON Polska Energia S. A.,
TAURON Wytwarzanie S. A.

Zlecniodawca

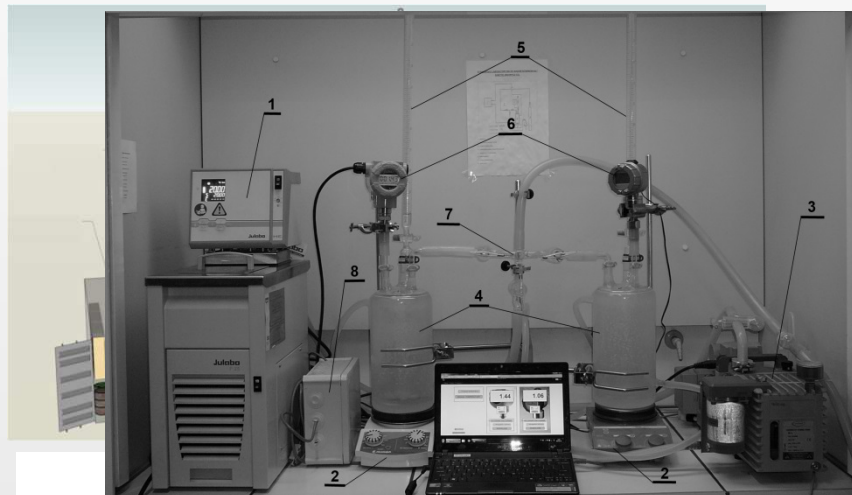
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Harmonogram realizacji

Pkt.	Zakres	2010		2011				2012				2013				2014			
		III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
V.2.3a	Opracowanie założeń procesowych Instalacji Pilotowej																		
V.2.3b	Projekt bazowy instalacji																		
V.2.3b	Projekt wykonawczy instalacji																		
V.2.3c	Wykonanie instalacji																		
V.2.4a	Podłączenie, rozruch instalacji i badania na Elektrowni Łaziska																		
V.2.4b	Podłączenie, badania technologiczne na Elektrowni Jaworzno																		

Schemat powiększania skali instalacji absorpcji aminowej

Instalacja do wyznaczania kinetyk i równowag absorpcji CO₂ w mieszaninach amin



Instalacja pilotowa do usuwania CO₂ ze spalin – 200 m³/h

Stanowisko laboratoryjne do usuwania CO₂ – 5 m³/h



Stanowisko usuwania CO₂ metodą absorpcji aminowej – 100 m³/h (ICHPW Zabrze)





Przewiezenie Instalacji Pilotowej do Elektrowni Łaziska – 26.03.2013



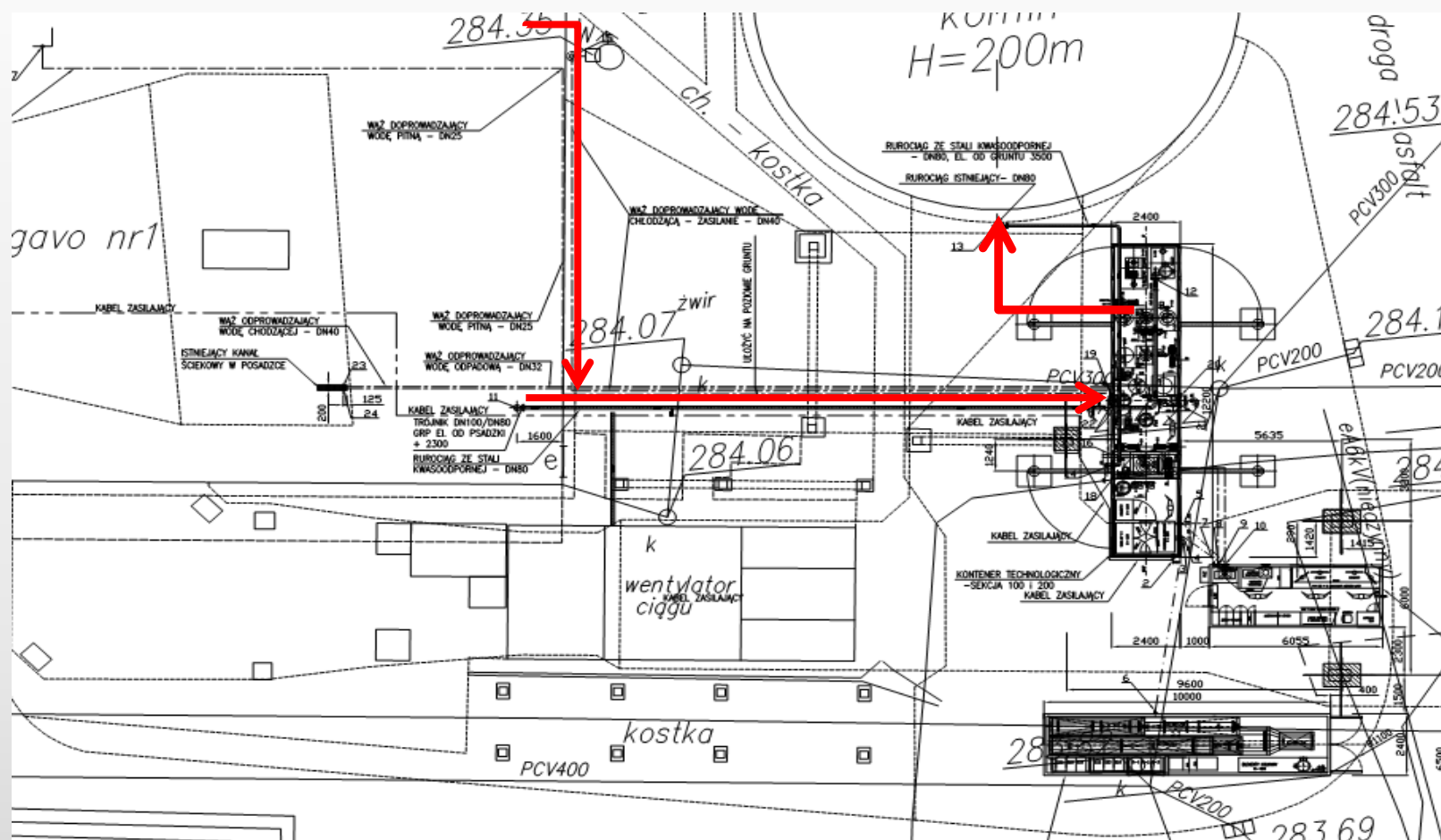
Rozładunek i montaż Instalacji Pilotowej w Elektrowni Łaziska – 27.03÷25.04.2013



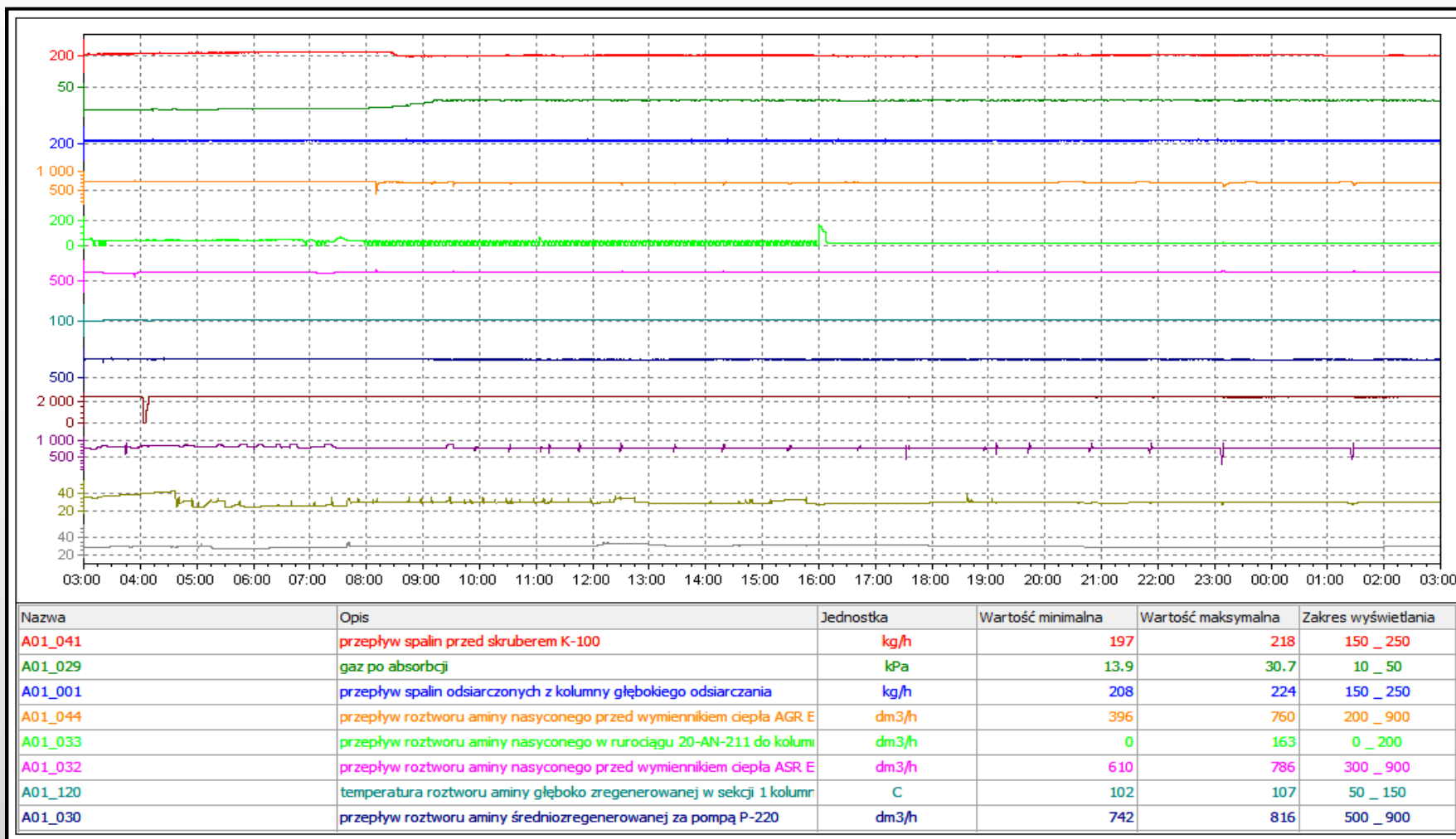
Rozładunek i montaż Instalacji Pilotowej w Elektrowni Łaziska – 27.03÷25.04.2013



Plan lokalizacji Instalacji Pilotowej – El. Łaziska



Ruch Testowy Instalacji Pilotowej w Elektrowni Łaziska



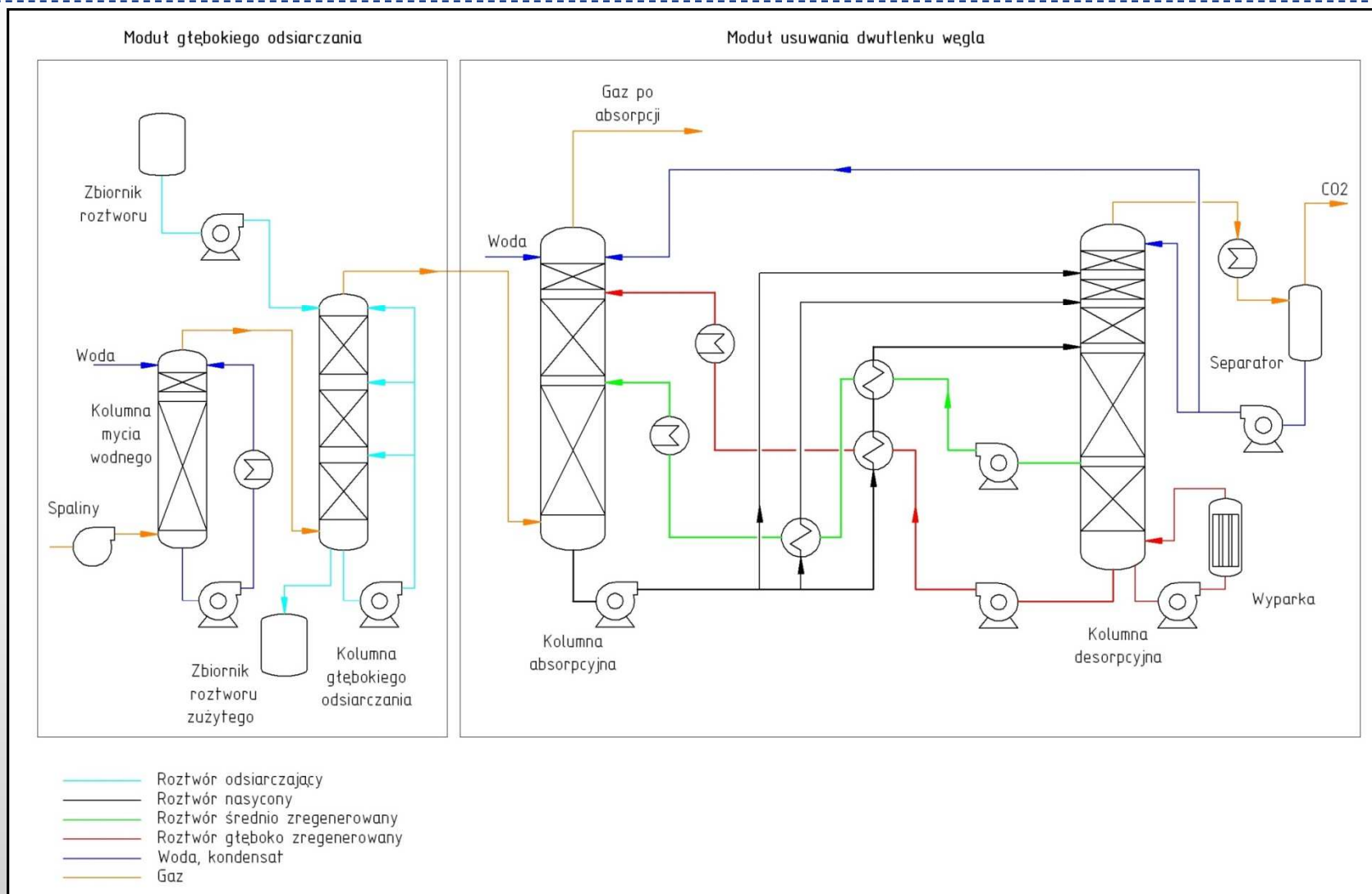
Rysunek 2: Trendy podstawowych parametrów procesowych zarejestrowanych podczas ruchu testowego

Rozruch Instalacji Pilotowej w Elektrowni Łaziska – 26.04.2013

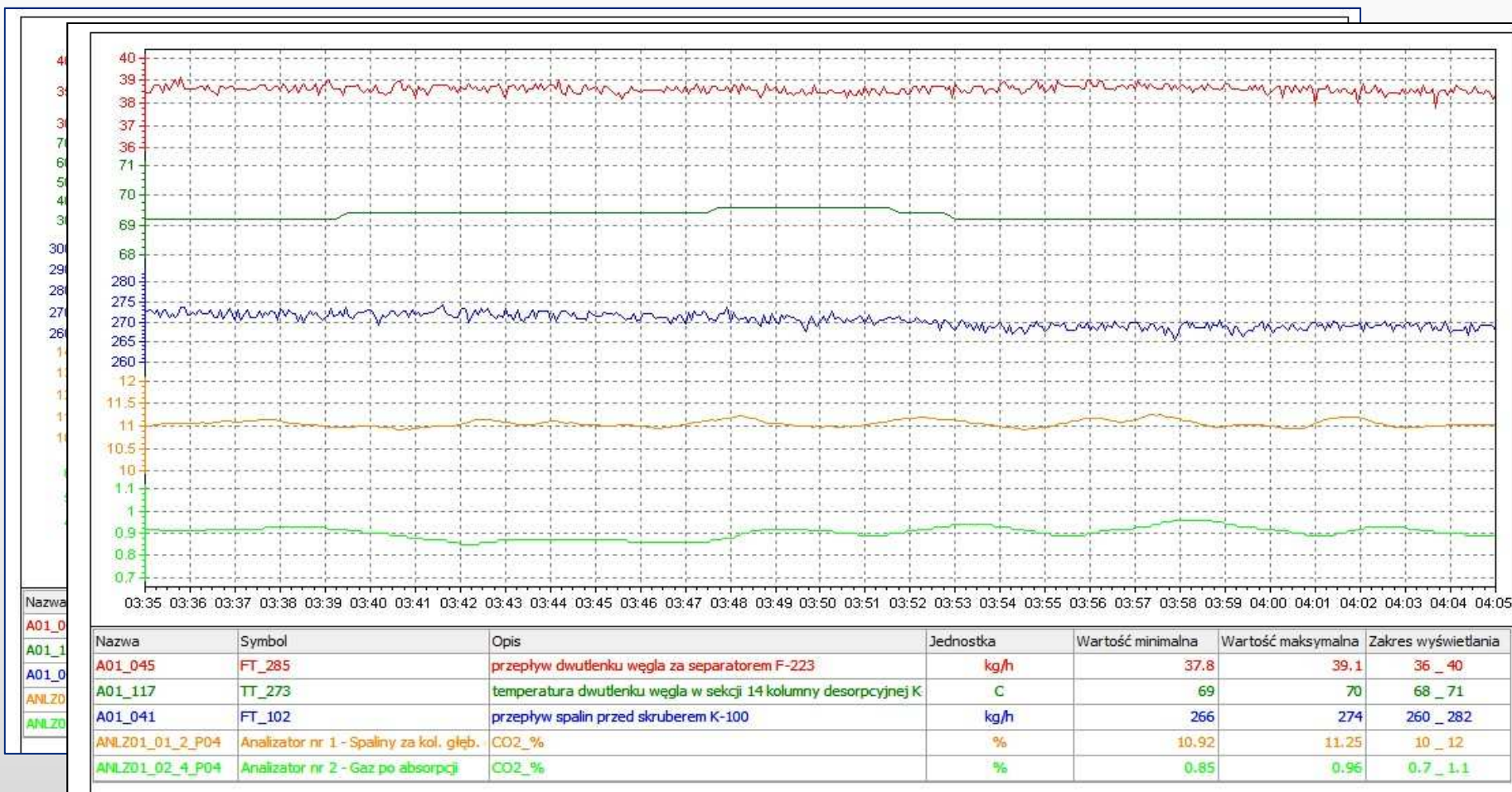
Średnica kolumn: 300 mm
Wysokość kolumn: 15,0 m
Liczba aparatów: 40
Pomiary: 180 punktów
Przepływ roztworu: do 1600 dm³/h
Przepływ gazu: do 200 m³_n/h
Badany gaz: Spaliny z bloku
węglowego



Schemat procesu usuwania CO₂ ze spalin – Instalacja Pilotowa

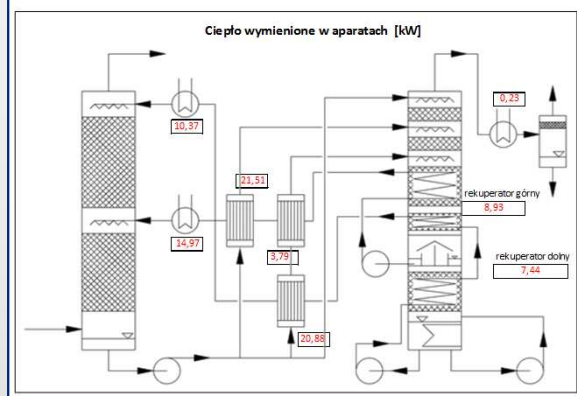
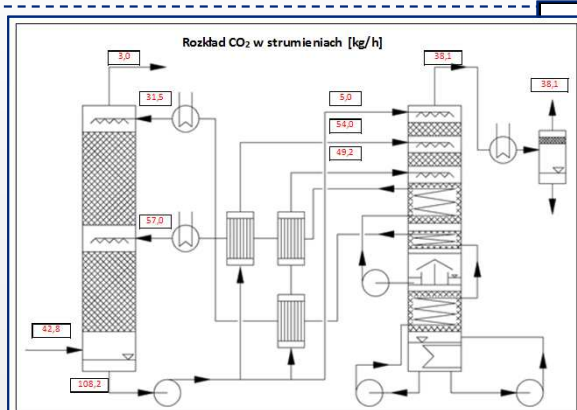


Badania technologiczne w Elektrowni Łaziska



Rysunek 4: Etap stabilizacji podstawowych parametrów procesowych

Opracowanie wyników testów – arkusz obliczeniowy



STRUMIEŃ SPALIN DOPROWADZANYCH DO K-100 (p.b. 100)										
WYLOT										
Gaz suchy					Gaz mokry					
Skład obj.	Strumień obj.	Skład masowy	Strumień masowy	Strumień molowy	Skład obj.	Strumień obj.	Skład masowy	Strumień mas.	Strumień molowy	
%obj.	m ³ _n /h	%wag.	kg/h	kmol/h	%obj.	m ³ _n /h	%wag.	kg/h	kmol/h	
O ₂	11,04	21,4	16,16	42,0	0,953	10,16	21,3	15,33	42,0	0,953
N ₂	80,52	156,3	74,87	194,6	6,946	74,86	156,6	71,73	194,6	6,946
Ar	8,44	16,4	8,97	23,3	0,728	7,77	16,3	8,50	23,3	0,728
O					7,20	15,1	4,44	12,1	0,670	
Suma	194,1	100,00	259,9	8,626	100,00	209,2	100,00	271,9	9,296	

STRUMIEŃ SPALIN DOPROWADZANYCH DO K-201 (p.b. 201)										
WYLOT										
Gaz suchy					Gaz mokry					
Skład obj.	Strumień obj.	Skład masowy	Strumień masowy	Strumień molowy	Skład obj.	Strumień obj.	Skład masowy	Strumień masowy	Strumień molowy	
%obj.	m ³ _n /h	%wag.	kg/h	kmol/h	%obj.	m ³ _n /h	%wag.	kg/h	kmol/h	
CO ₂	11,04	22,3	16,16	42,0	0,971	10,53	22,0	15,74	42,8	0,971
N ₂	80,52	162,9	74,87	194,6	7,077	77,08	161,3	72,89	198,3	7,077
Ar	8,44	17,1	8,97	23,3	0,742	8,05	16,8	8,73	23,7	0,742
O					4,35	9,1	2,65	7,2	0,399	
Suma	202,3	100,00	259,9	8,626	100,00	209,2	100,00	272,0	9,189	

STRUMIEŃ SPALIN OCZYSZCZONYCH Z K-201 (p.b. 202)										
WYLOT										
Gaz suchy					Gaz mokry					
Skład obj.	Strumień obj.	Skład masowy	Strumień masowy	Strumień molowy	Skład obj.	Strumień obj.	Skład masowy	Strumień masowy	Strumień molowy	
%obj.	m ³ _n /h	%wag.	kg/h	kmol/h	%obj.	m ³ _n /h	%wag.	kg/h	kmol/h	
CO ₂	0,93	1,5	1,43	3,0	0,069	0,86	1,5	1,37	3,0	0,069
N ₂	89,61	148,6	87,96	187,1	6,680	83,79	148,7	84,23	187,1	6,680
O ₂	9,46	15,7	10,61	22,6	0,705	8,80	15,6	10,16	22,6	0,705
H ₂ O					6,56	11,6	4,24	9,4	0,523	
Suma	100,00	165,8	100,00	212,7	100,00	177,4	100,00	222,2	7,977	

STRUMIEŃ USUNIĘTEGO CO ₂										
WYLOT										
Gaz suchy					Gaz mokry					
Skład obj.	Strumień obj.	Skład masowy	Strumień masowy	Strumień molowy	Skład obj.	Strumień obj.	Skład masowy	Strumień masowy	Strumień molowy	
%obj.	m ³ _n /h	%wag.	kg/h	kmol/h	%obj.	m ³ _n /h	%wag.	kg/h	kmol/h	
CO ₂	100,00	20,1	100,00	39,8	0,902					
Suma	100,00	20,1	100,00	39,8	0,902					
Suma całość		185,9		252,5	8,356					
Różnica bilans. całkowita				4,65	%					
Różnica bilansowa N ₂			11,1 kg/h	5,62	%			11,1 kg/h	5,62	%
Różnica bilansowa O ₂			1,2 kg/h	4,94	%			1,2 kg/h	4,94	%
Sprawność usuwania CO ₂	92,9	%						Zużycie energii na desorpcję	4,08	MJ/kg CO ₂

Opis wybranych testów badawczych

W czasie pracy na Instalacji Pilotowej od 06.2013 r. do 11.2013 r. przeprowadzono 10 kampanii badawczych, w których wykonano ponad **100 testów**. W czasie jednej kampanii dokonywano **średnio 15 testów**.

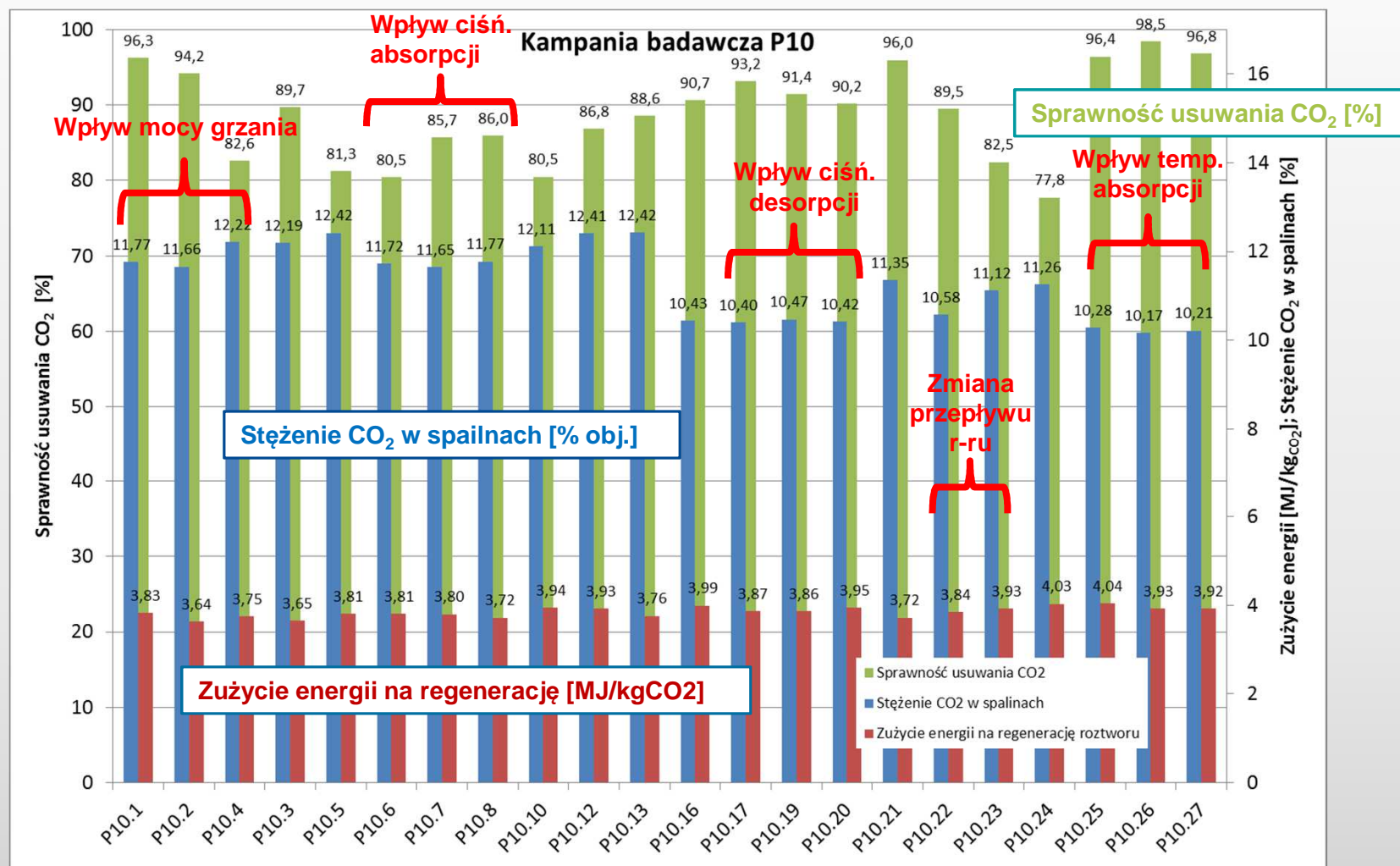
Niektóre ze zmienianych parametrów podczas prowadzenia badań:

- Moc grzałki elektrycznej wyparki regeneratora.
- Skład spalin wlotowych
- Ciśnienia absorpcji.
- Ciśnienie desorpcji.
- Temperatura absorpcji.
- Strumień roztworu wpływającego do kolumny absorpcyjnej i desorpcyjnej.
- Strumień spalin kierowany do instalacji.
- Konfiguracje technologiczne strumieni roztworu absorpcyjnego.

Jako kryterium wyboru przedstawionych wyników zastosowano wartości sprawności usuwania CO₂ oraz zużycia energii na regeneracji roztworu, które powinny być zbliżone do oczekiwanych (sprawność min. **85 %**, energia regeneracji

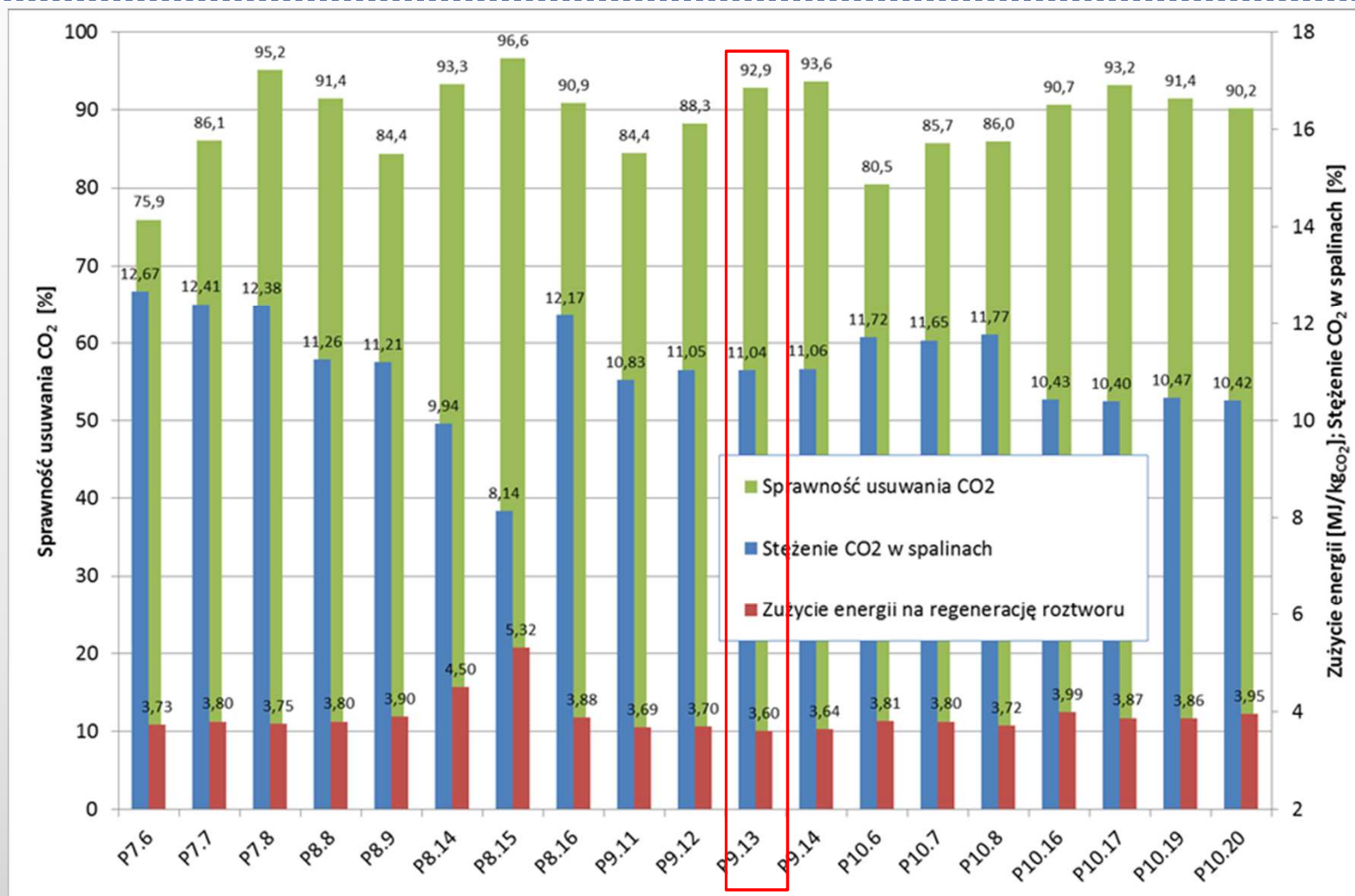
roztworu $< 4 \text{ MJ/kg}_{\text{CO}_2}$, czystość wychwyconego CO₂ $> 95\%$).

Opracowanie wyników testów – kampania nr 10



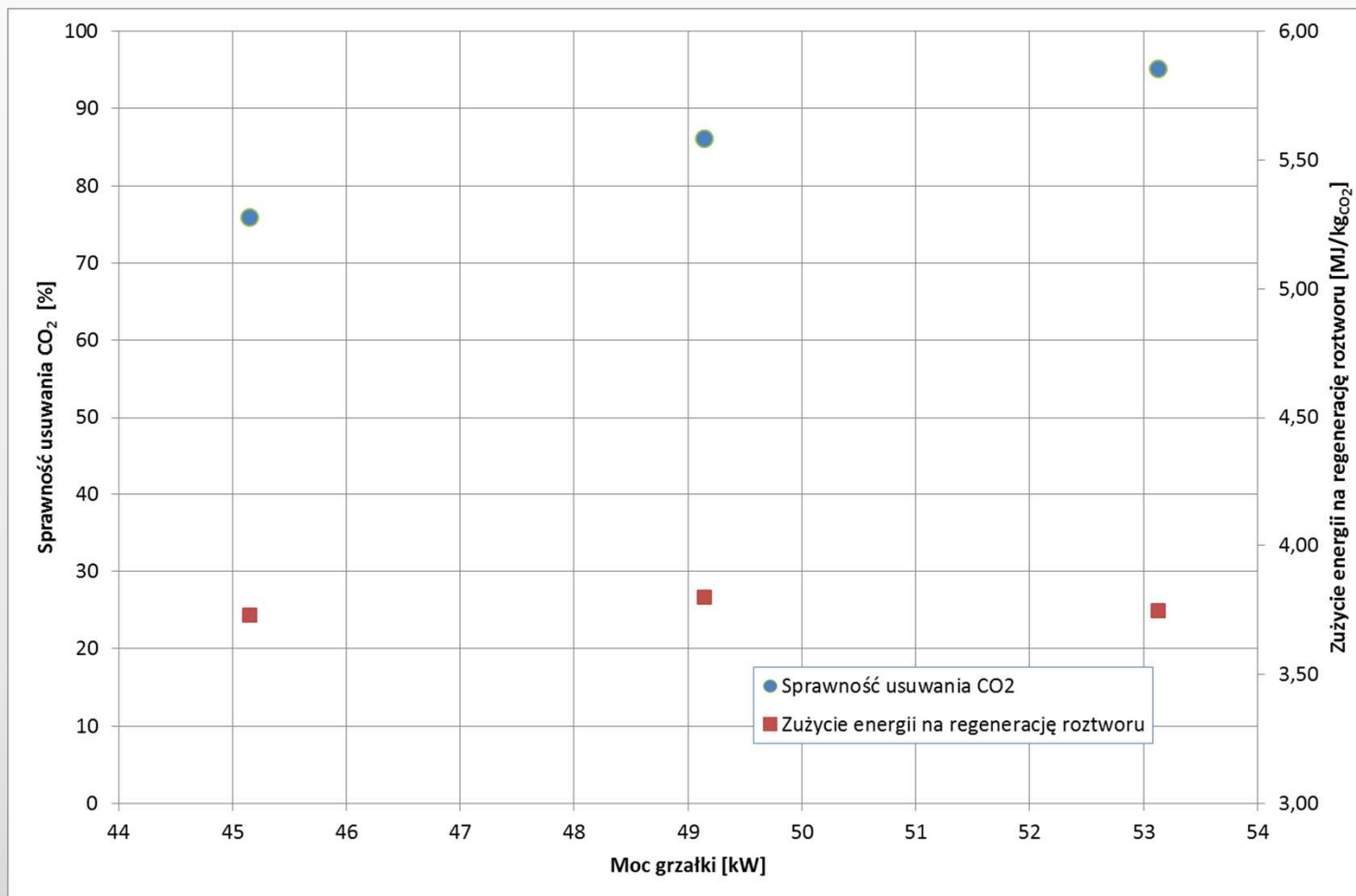
Rysunek 5: Przykład kampanii badawczej

Opracowanie wyników testów – przegląd ogólny



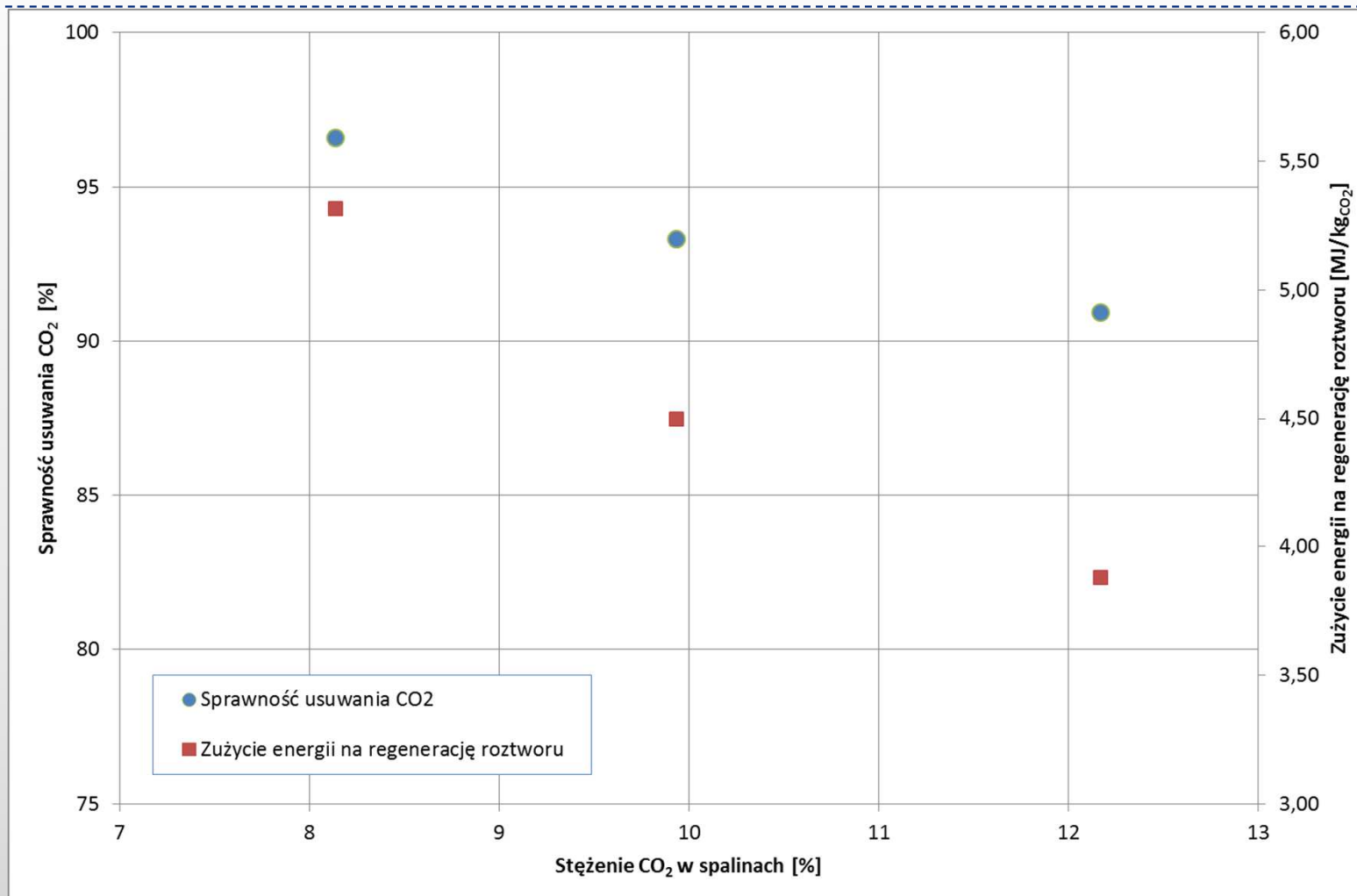
Rysunek 6: Przegląd ogólny najważniejszych testów

Opracowanie wyników testów – wpływ mocy grzania



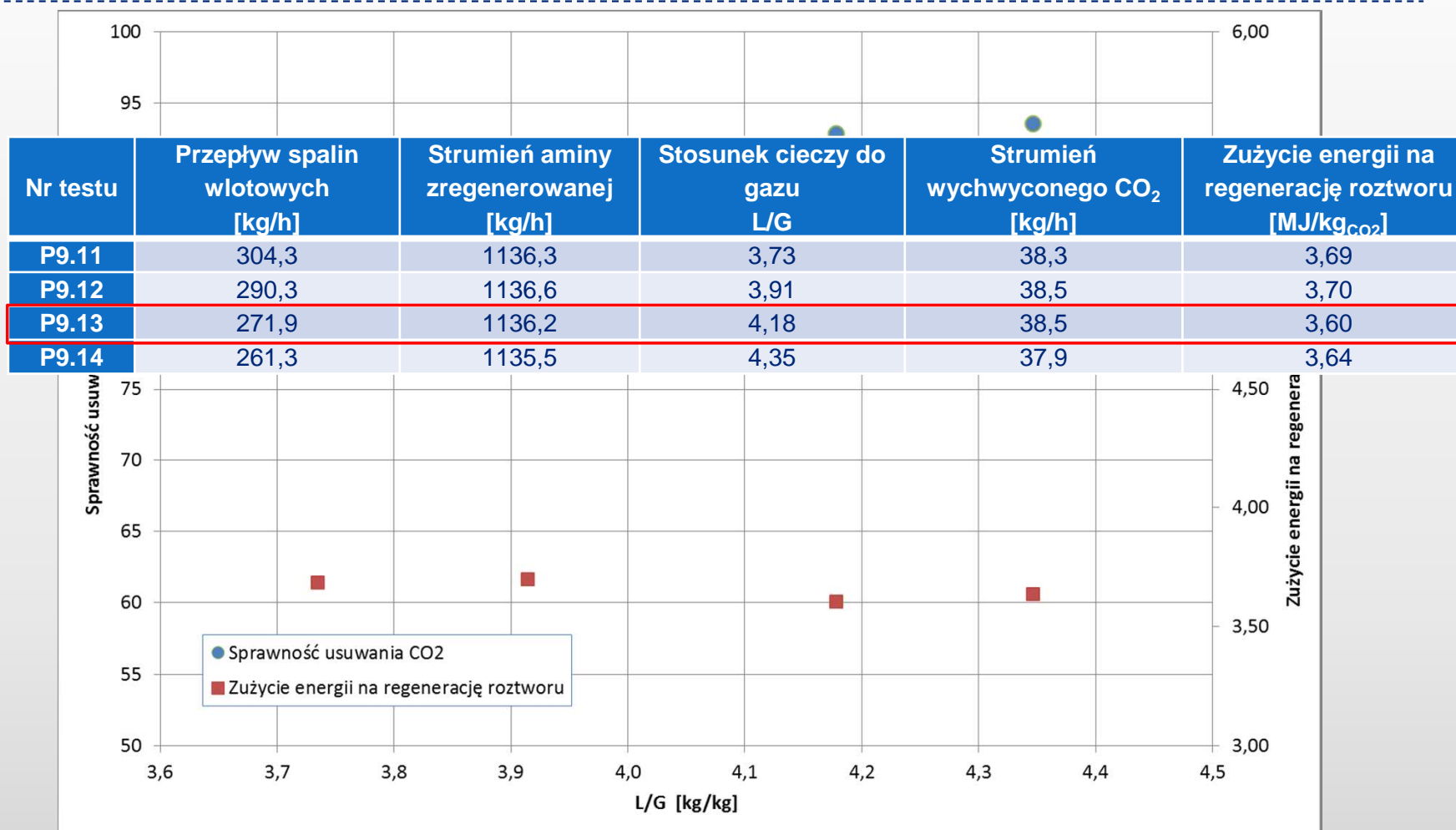
Rysunek 7: Zależność sprawności usuwania CO₂ i zużycia energii na regenerację roztworu od mocy grzałki regeneratora dla testów P7.6 – P7.8.

Opracowanie wyników testów – zmiana składu spalin wlotowych



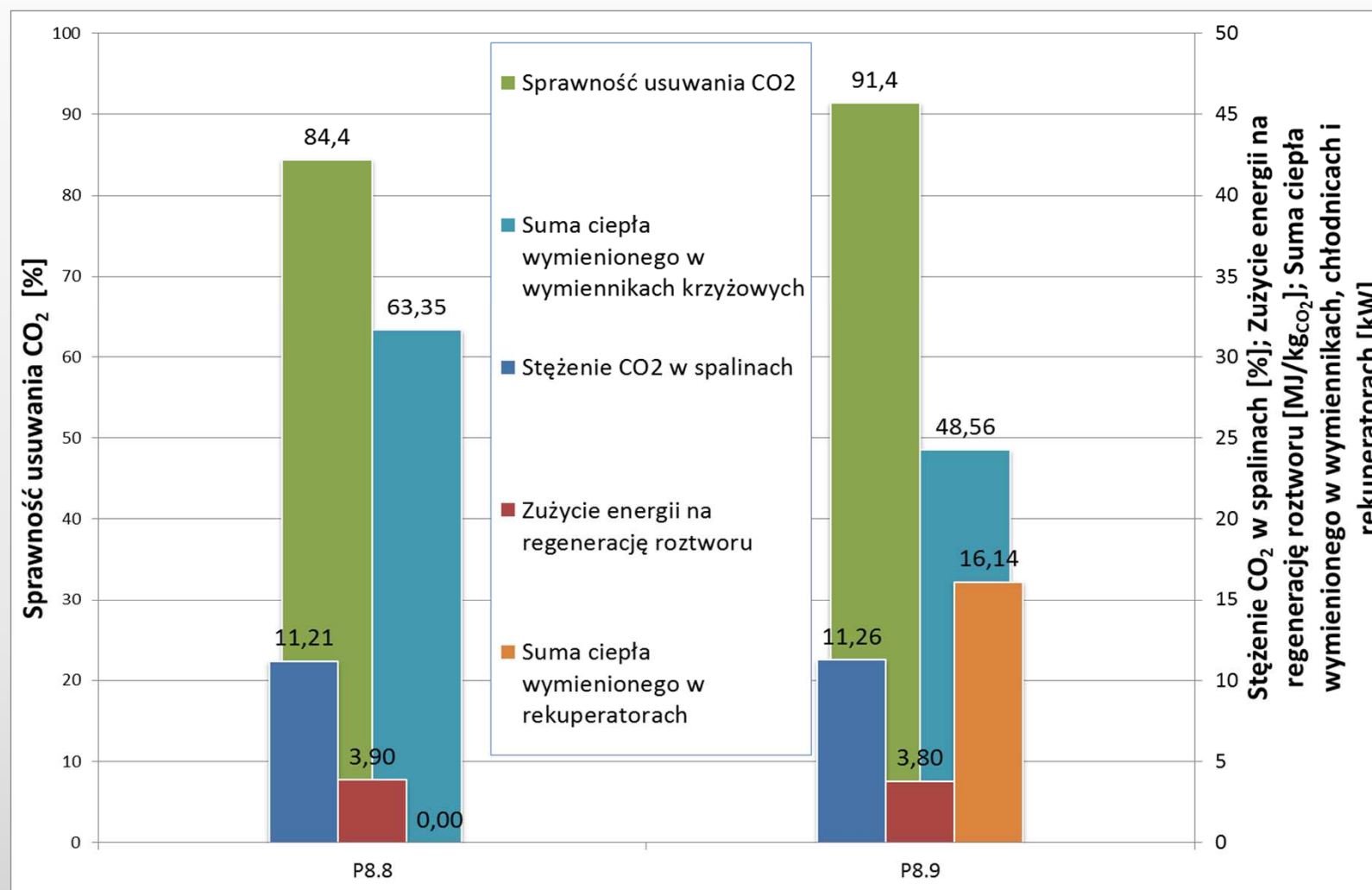
Rysunek 8: Zależność sprawności usuwania CO₂ i zużycia energii na regenerację roztworu od stężenia CO₂ w spalinach dla testów P8.14 – P8.16.

Opracowanie wyników testów – zmiana strumienia wlotowego spalin do instalacji



Rysunek 9: Zależność sprawności usuwania CO₂ i zużycia energii na regenerację roztworu od współczynnika L/G dla testów P9.11 – P9.14

Opracowanie wyników testów – rekuperacja ciepła regeneratora

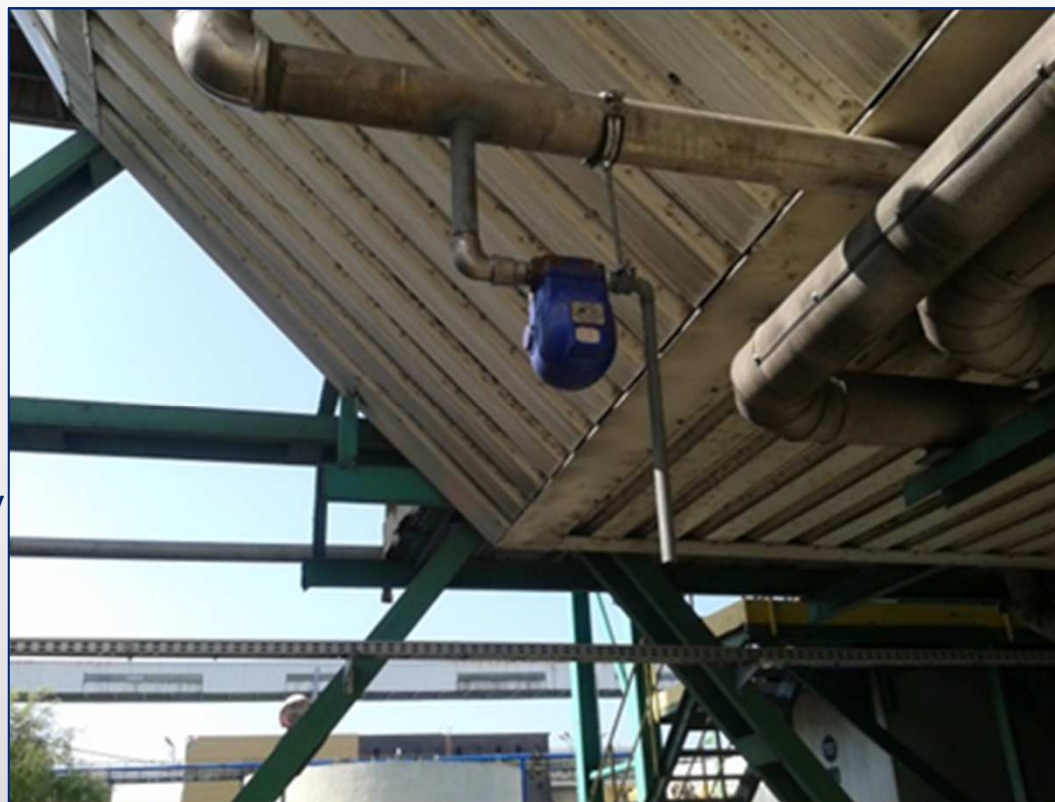


Rysunek 10: Wpływ rekuperatorów na skuteczność instalacji. Test P8.9 z rekuperatorami, P8.8 bez rekuperatorów.

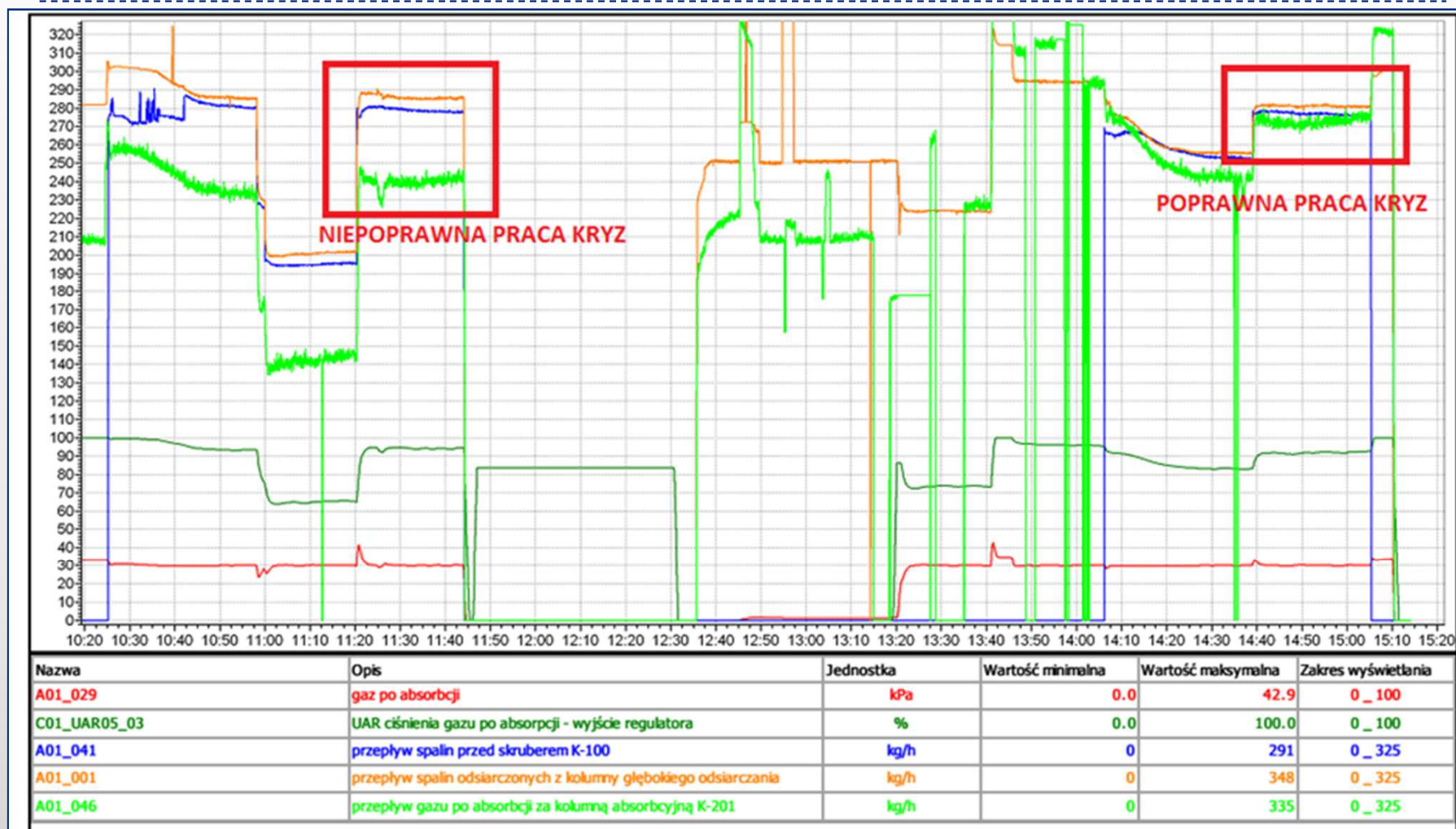
Problemy operacyjne Instalacji Pilotowej – odwodnienie rurociągu spalin

Przyczyny zastosowania odwadniacza rurociągu spalin na El. Łaziska:

- Temperatura spalin ok. 80 °C
- Nieizolowany rurociąg o długości ok. 32 mb
- Brak możliwości innej zabudowy rurociągu spalin (pobór spalin położony niżej od IP – nisko położony kanał spalin elektrowni)

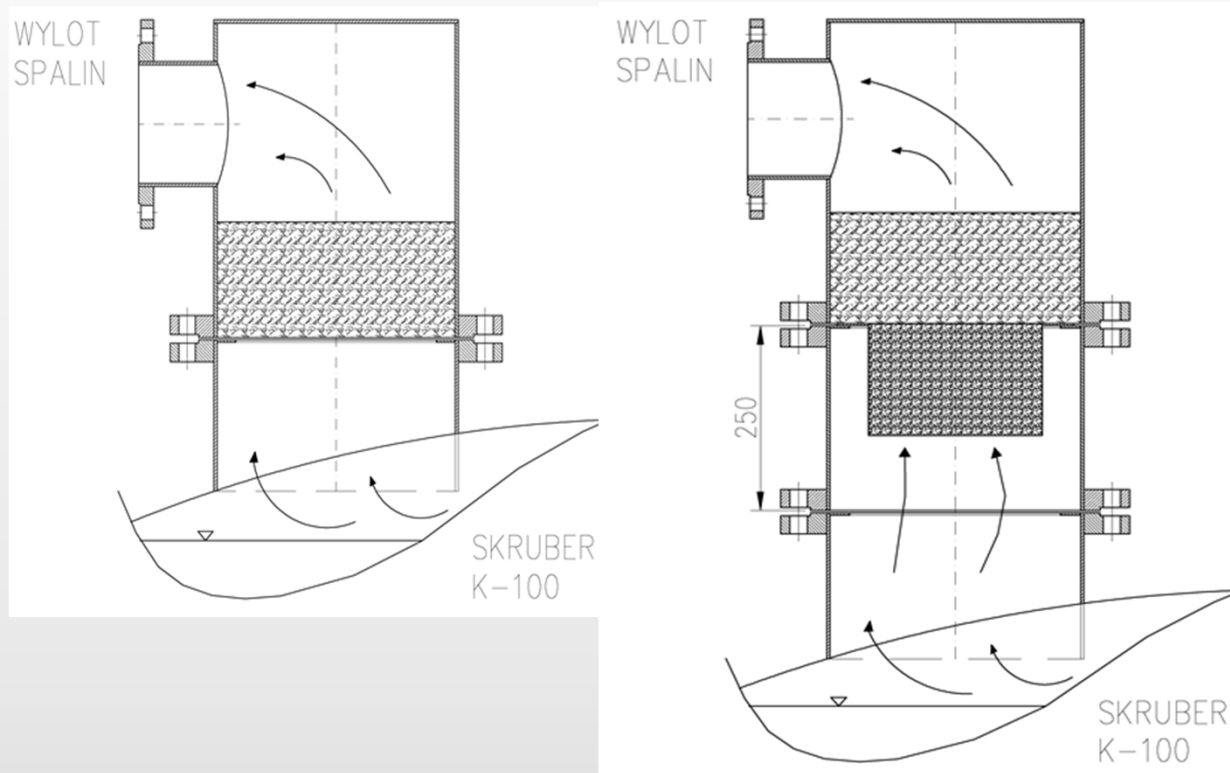


Problemy operacyjne Instalacji Pilotowej – kryzy pomiarowe



Rysunek 11: Parametry pomiarowe kryz dla przepływu spalin FI_102, FT_138, FT_286

Problemy operacyjne Instalacji Pilotowej – skruber Venturiego



Rysunek 12: Schemat części odemglającej wraz z separatorem kropel w skruberze K-100; (rysunek lewy – skruber ze standardowym demisterem; rysunek prawy – skruber z dodatkowym demisterem)



Problemy operacyjne Instalacji Pilotowej – dmuchawa spalin



Rysunek 13: Wirniki stopnia sprężania dmuchawy przed zamontowaniem na obiekcie



Rysunek 14: Wirniki stopnia sprężania dmuchawy po kilkudziesięciu godzinach pracy

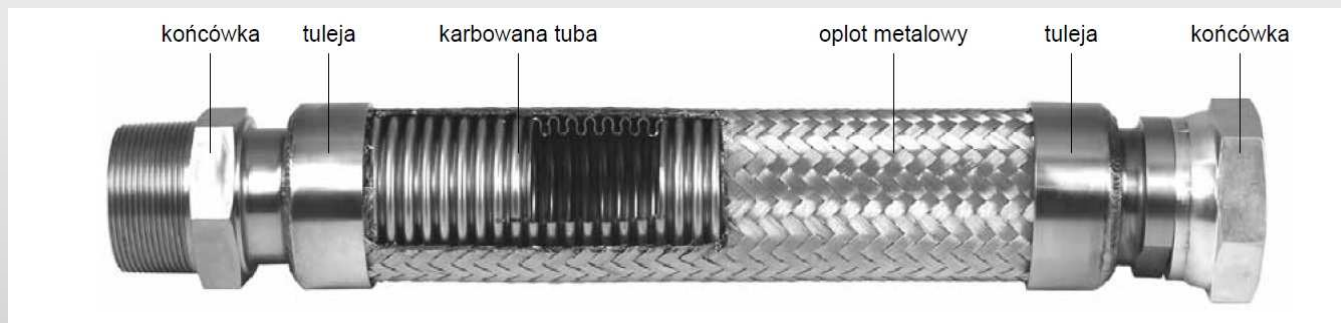


Rysunek 15: Wirniki stopnia sprężania dmuchawy po remoncie

Problemy operacyjne Instalacji Pilotowej – kompensacja rurociągów sorbentu

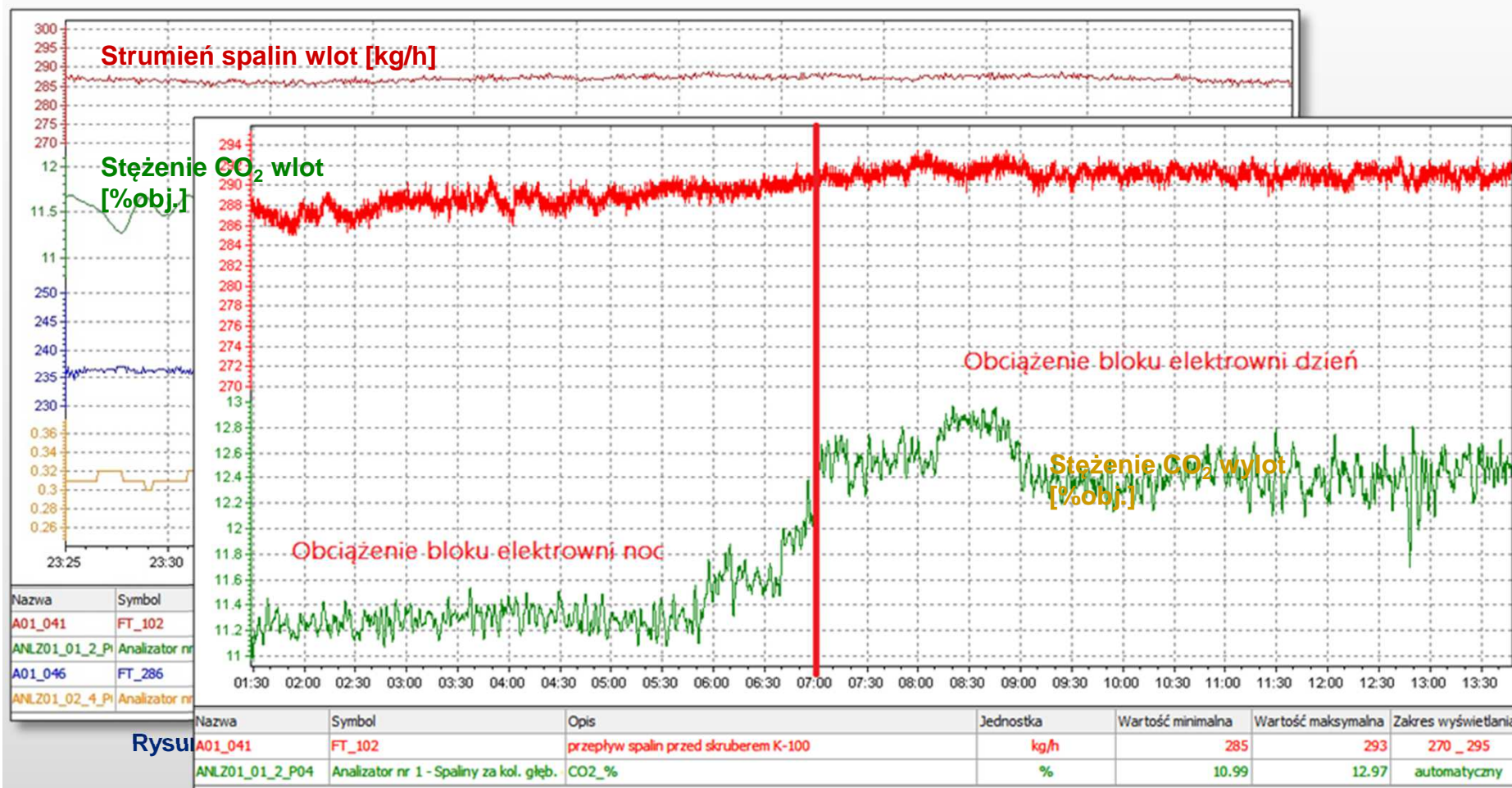


Rysunek 16: Miejsca łączeń rurociągów sorbentu gdzie zauważono wycieki
(rys. lewy – K-201 poziom +7m; rys. prawy – K-215 poziom +3m)



Rysunek 17: Zastosowane złącze kompensacyjne rurociągów roztworu absorpcyjnego

Problemy operacyjne Instalacji Pilotowej – fluktuacje stężenia CO₂ w spalinach



Rysunek 19: Trendy przedstawiające zmienność CO₂ w strumieniu spalin w okresie kilkunastu godzin

Podsumowanie badań w Elektrowni Łaziska

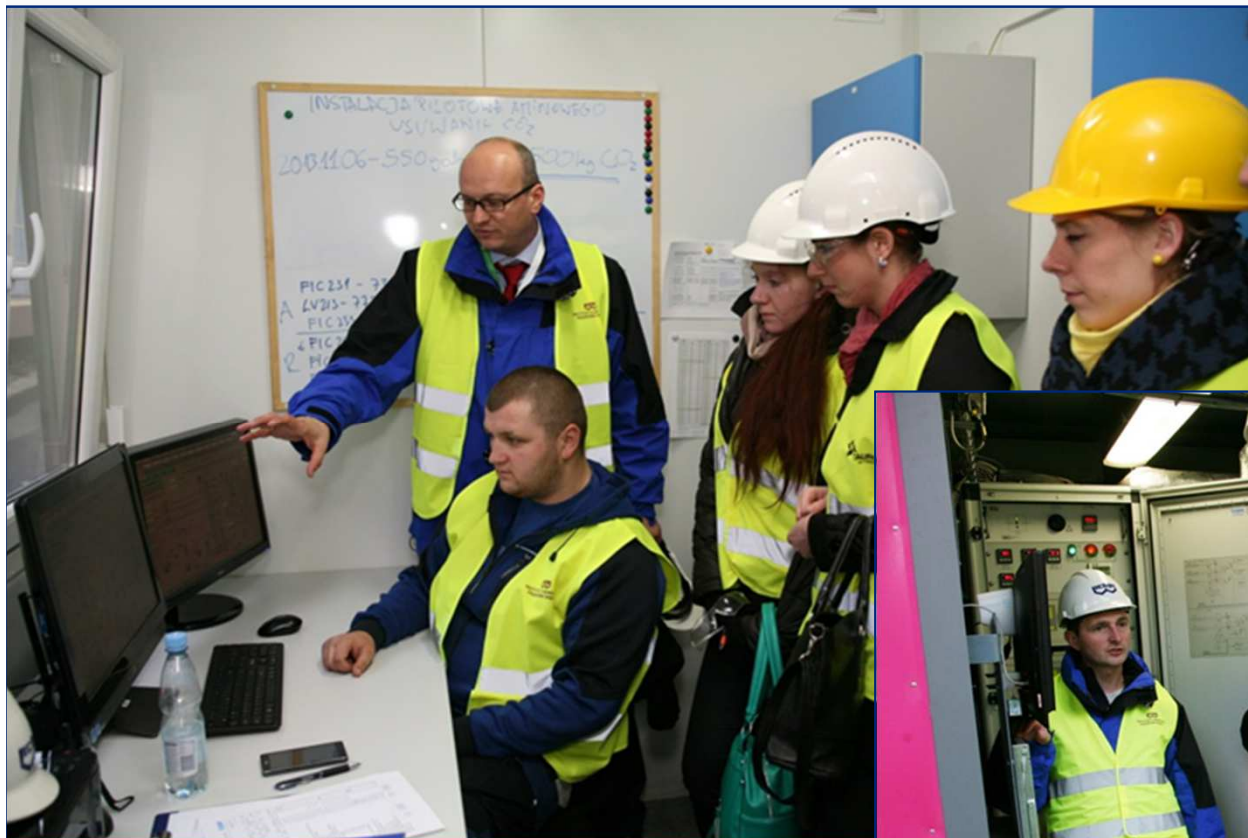
Tabela: Podsumowanie badań Instalacji Pilotowej w El. Łaziska

Parametr	Wartość
Liczba kampanii badawczych	10
Liczba testów	118
Łączny czas kampanii badawczych	550 godz.
Ilość wydzielonego CO ₂	ok. 20 000 kg

Tabela: Orientacyjny czas pracy urządzeń Instalacji Pilotowej w El. Łaziska

Urządzenie	Czas pracy [h]
P104	183.0
P105	265.7
P106	299.7
P107	415.0
P110	60.4
P203	337.2
P204	369.9
P206	4.3
P207	567.7
P218	589.8
P219	567.1
P220	340.6
P224	194.2
P225	23.1
D101	581.3
E221A	547.1
E221B	550.0
E221C	531.3
E221D	525.3
K100	557.5
Strumień wydzielonego CO ₂ [kg]	19589

Konferencja „Technologie CCS dla energetyki”



Podsumowanie

- Dokonano podłączenia Instalacji Pilotowej w elektrowni Łaziska oraz potwierdzono możliwość zastosowania procesu aminowego do usuwania CO₂ ze spalin.
- Dokonano drobnych modyfikacji Instalacji usprawniających proces badawczy.
- Zdobyto doświadczenia ruchowych, pomocne przy projektowaniu instalacji w większej skali.
- Potwierdzono eksperymentalnie skuteczność rekuperatorów w stosunku do klasycznego układu.
- Przeprowadzono testy, w których energia regeneracji r-ru została zmniejszona do poziomu 3,60 MJ/kgCO₂ przy sprawność powyżej 90 % i czystości strumienia wydzielonego CO₂ powyżej 95%.
- Prezentacja działania instalacji podczas wizyty technicznej w trakcie konferencji „Technologie CCS dla Energetyki 2013”.
- Przewiezienie i uruchomienie Instalacji Pilotowej wiązało się z rozgłosem medialnym co przyczyniło się do przybliżenia problematyki CCS w kraju.



Nagrody i wyróżnienia



Zespół badawczy:

- ☐ dr inż. Aleksander Sobolewski
- ☐ dr inż. Krzysztof Dreszer
- ☐ mgr inż. Józef Popowicz
- ☐ dr inż. Lucyna Więclaw Solny
- ☐ mgr inż. Adam Tatarczuk
- ☐ mgr inż. Marcin Stec
- ☐ mgr inż. Tomasz Szczypiński
- ☐ mgr inż. Piotr Kolon
- ☐ mgr inż. Dariusz Śpiewak
- ☐ mgr inż. Tomasz Spietz
- ☐ mgr inż. Aleksander Krótki
- ☐ mgr inż. Andrzej Wilk

Partnerzy przemysłowi:

- ☐ mgr inż. Stanisław Tokarski – TAURON Wytwarzanie SA
- ☐ mgr inż. Sławomir Dziaduła – TAURON Wytwarzanie SA
- ☐ inż. Stanisław Gruszka – TAURON Wytwarzanie SA
- ☐ mgr inż. Jerzy Janikowski – TAURON Polska Energia SA
- ☐ mgr inż. Janusz Zdeb – TAURON Wytwarzanie SA

Kierownik Części Zadania Badawczego:

- ☐ dr hab. inż. Marek Ściążko, prof. nadzw.



Dziękuję za uwagę

E-mail: office@ichpw.zabrze.pl

Internet: www.ichpw.zabrze.pl