

BADANIE ZASTOSOWANIA KATALIZATORA SPALIN
NA STATKU ŚRÓDLĄDOWYM
SUPLEMENT



AUTOR BADANIA

Dr inż. Wojciech Ignalewski

SZCZECIN, 2016

Wstęp

Analizę i badanie wykonano na potrzeby opracowania technik i technologii ograniczenia emisji szkodliwych substancji do atmosfery emitowanych przez statki śródlądowe. Badanie oparto o zastosowanie instalacji katalizacyjnej, która może stanowić jeden z kierunków dostosowania jednostki do norm emisyjnych w alternatywie do modernizacji i wymiany siłowni statku.

Zastosowano katalizator REDUX jako dodatek do paliw węglowodorowych i substancja czynna zmniejszająca napięcie powierzchniowe węgla powodując całkowite dopalania się sadzy i naftalenów. Katalizator nie pogarsza własności fizykochemicznych paliwa, zmniejsza emisję cząstek stałych PM (sadzy), węglowodorów HC oraz tlenku węgla CO. Pod wpływem działania następuje zmiana szybkości reakcji łańcuchowej procesu spalania. Stosowany w silnikach napędzanych olejem napędowym powoduje zmniejszenie zużycia paliwa od 4% do 12% w zależności od punktu pracy silnika. REDUX jest katalizatorem selektywnym o przybliżonym wzorze empirycznym: $C_5H_5FeC_5H_4COC_mH_n$

Badanie zostało poprzedzone wykonaniem prototypowej instalacji dedykowanej dla statku śródlądowego. Jednostką badawczą był pchacz Bizon 0-93 o numerze 08351131 (L=20,89 / B=8,24 / H=4,15).

Wyniki z badania zostały wykonane w oparciu o wymagania norm ISO.



Rys. Instalacja systemu katalizacji przy zbiorniku rozchodowym paliwa

Wprowadzenie ograniczeń zawartości siarki w paliwach stosowanych w żegludze na podstawie Załącznika VI do Międzynarodowej konwencji o zapobieganiu zanieczyszczeniu morza przez statki (MARPOL) jest wyzwaniem dla europejskiego środowiska żeglugowego. W lipcu 2015 r., weszło w życie Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 2015/757 z dnia 29 kwietnia 2015 r. w sprawie monitorowania, raportowania i weryfikacji emisji dwutlenku węgla z transportu morskiego oraz zmiany dyrektywy 2009/16/WE, jako pierwszy akt prawa europejskiego obligujący podmioty branży morskiej do stosowania procedur informacyjnych w zakresie emisji CO₂. Przedmiotowe Rozporządzenie wejdzie w życie w 2017 roku. W związku z powiązaniem transportu morskiego z żeglugą śródlądową ograniczenia emisji bezpośrednio odnoszą się do tego sektora.

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 kwietnia 2014 r. w sprawie szczegółowych wymagań dla silników spalinowych w zakresie ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i cząstek stałych przez te silniki zawiera wytyczne do przeprowadzenia badań zawartości dwutlenku węgla oraz tlenku węgla w spalinach silników jednostek śródlądowych. Wartości graniczne emisji zanieczyszczeń gazowych, podawane dla poszczególnych kategorii w zależności od mocy netto, dla silników jednostek śródlądowych, określone są w etapie IIIA.

Zasady przeprowadzonego badania zostały oparte o procedurę i warunki testu NRSC. Cykl testu składa się z ustalonej sekwencji założonych faz prędkości i obciążenia, które powinny pokryć typowy zakres pracy silnika.

Stosowanie instalacji z katalizatorem REDUX wpływa na ograniczenie emisji substancji do atmosfery, podkreślenia wymaga fakt że poziom ich emisji mieści się w przedziale aktualnych i przyszłych norm, które wejdą w życie od 2017 roku.

Wyniki ogólnodostępnych badań laboratoryjnych wykazały, że REDUX charakteryzuje się następującą specyfiką:

1. Spadek emisji składnika cząstek stałych (PM) sadza w całym zakresie obciążenia silnika w przedziale 53-73%;
2. Spadek emisji nierozpuszczalnej frakcji organicznej (SOF) w przedziale 35-62%;
3. Spadek emisji cząstek stałych (PM = S + SOF) w przedziale 40-62%;
4. Spadek emisji niespalonych węglowodorów w przedziale 19-40%;

5. Spadek emisji tlenku węgla CO przy bardzo niskich obciążeniach o 38% w pozostałych 1-9%;
6. Spadek zużycia paliwa w silniku od 4 do 12 % w zależności od punktu pracy silnika;
7. Spadek emisji CO o 90% przy prędkości obrotowej 1000 obr/min oraz spadek emisji PM o blisko 74%;
8. Spadek emisji węglowodorów HC do 30%.

Ponadto zastosowanie katalizatora REDUX wpływa na:

- Zmniejszenie przedostawania się produktów spalania do układu smarowania,
- Brak osadzania się części niespalonych w postaci nagaru w komorze spalania,
- Zwiększenie ilości energii cieplnej (pracy),
- Usuwanie bakterii naftowych,
- Zmniejszenie emisji cząstek stałych (PM) w spalinach.



Rys. Statek śródlądowy typu Bizon 0-93



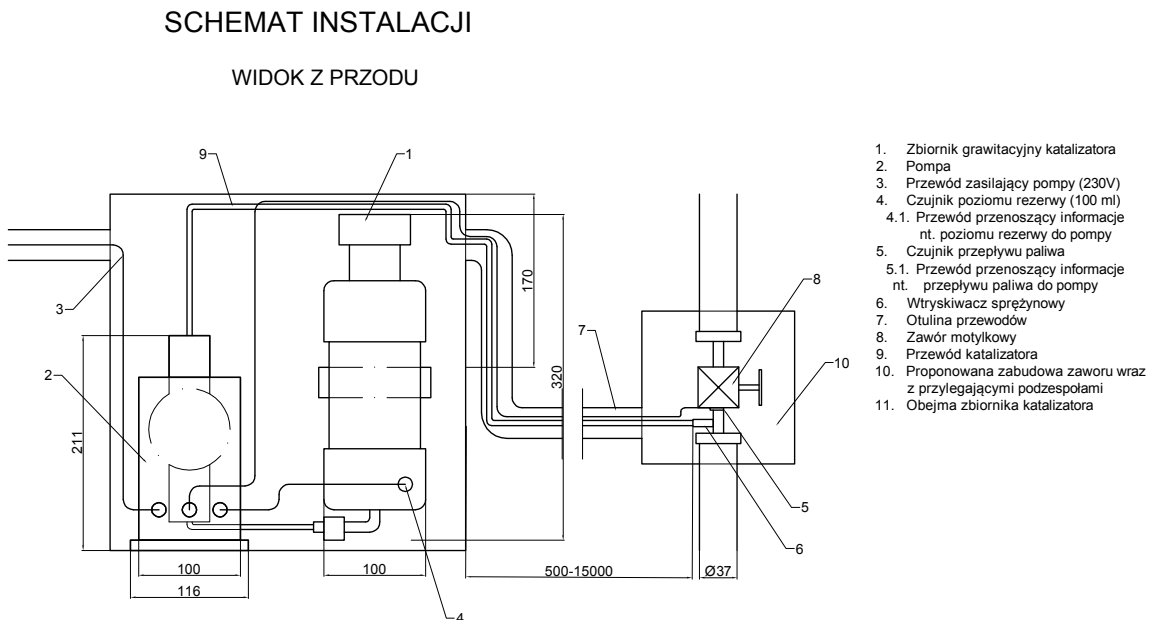
Rys. Elektroniczny system podawania katalizatora do paliwa

**Elementy instalacji na statku śródlądowym BIZON 0-93
dla REDUX katalizator**

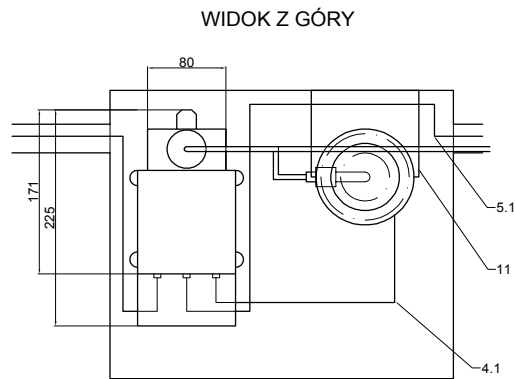
1. Zbiornik grawitacyjny katalizatora
2. Pompa
3. Przewód zasilający pompy (230V)
4. Czujnik poziomu rezerwy (100ml)
 - 4.1. Przewód przenoszący informację nt. poziomu rezerwy do pompy
5. Czujnik przepływu
 - 5.1. Przewód przenoszący informację nt. przepływu paliwa do pompy
6. Wtryskiwacz sprężynowy
7. Otulina przewodów
8. Zawór motylkowy
9. Przewód katalizatora
10. Proponowana zabudowa zaworu wraz z przyległymi podzespołami
11. Obejma zbiornika katalizatora

Schemat przepływu czynnika roboczego

1. Czynniki umieszczony jest z zewnątrz w zbiorniku grawitacyjnym
2. Przepływ czynnika przewodem do pompy
3. Tłoczenie czynnika przez pompę
4. Przepływ czynnika przewodem z pompy do wtryskiwacza
5. Wtrysk czynnika do przewodu paliwowego wtryskiwaczem sprężynowym
6. Przepływ czynnika przewodem paliwowym wraz z paliwem

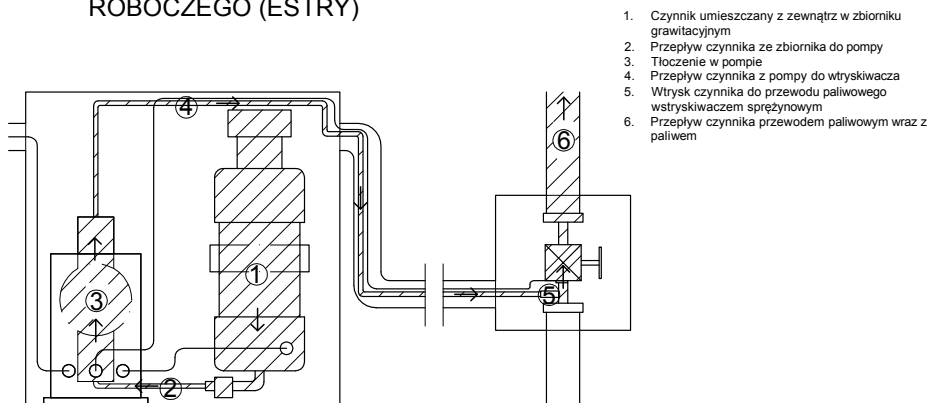


Rys. Schemat instalacji katalizacyjnej



Rys. Schemat instalacji – widok z góry

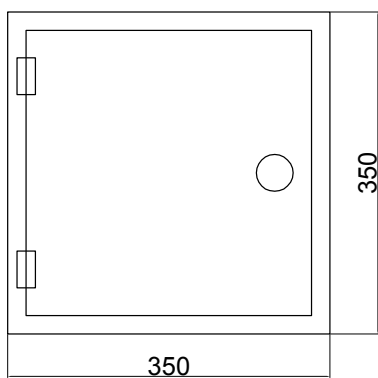
SCHEMAT PRZEPIYU CZYNNIKA
ROBOCZEGO (ESTRY)



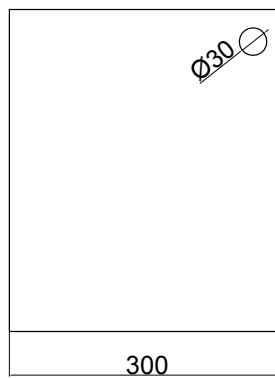
Rys. Schemat przepływu katalizatora REDUX

ZABUDOWA ZEWNĘTRZNA INSTALACJI

WIDOK Z PRZODU



WIDOK Z BOKU



Rys. Zabudowa zewnętrzna instalacji

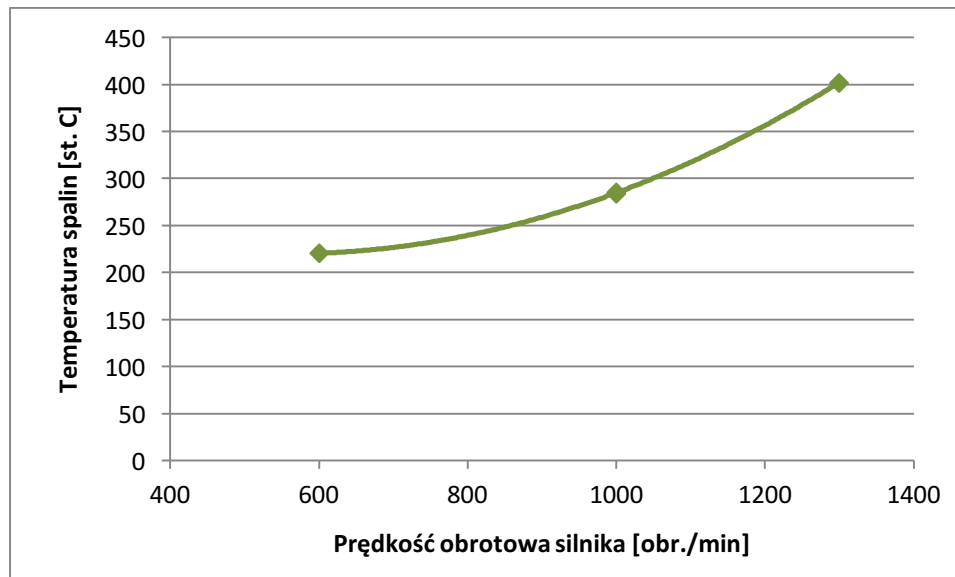
1 Pomiary wykonane bez zastosowania REDUX KATALIZATOR

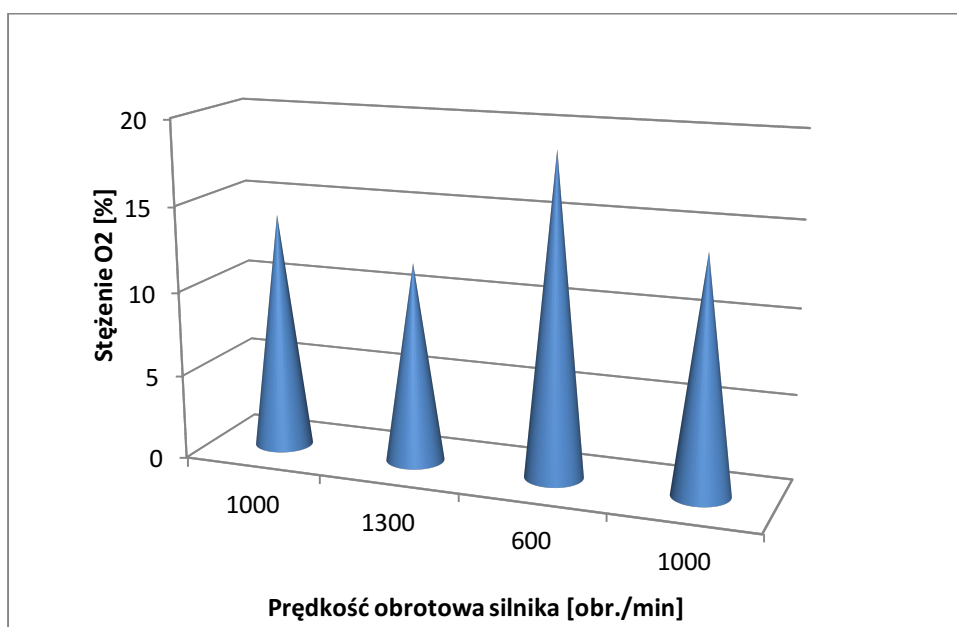
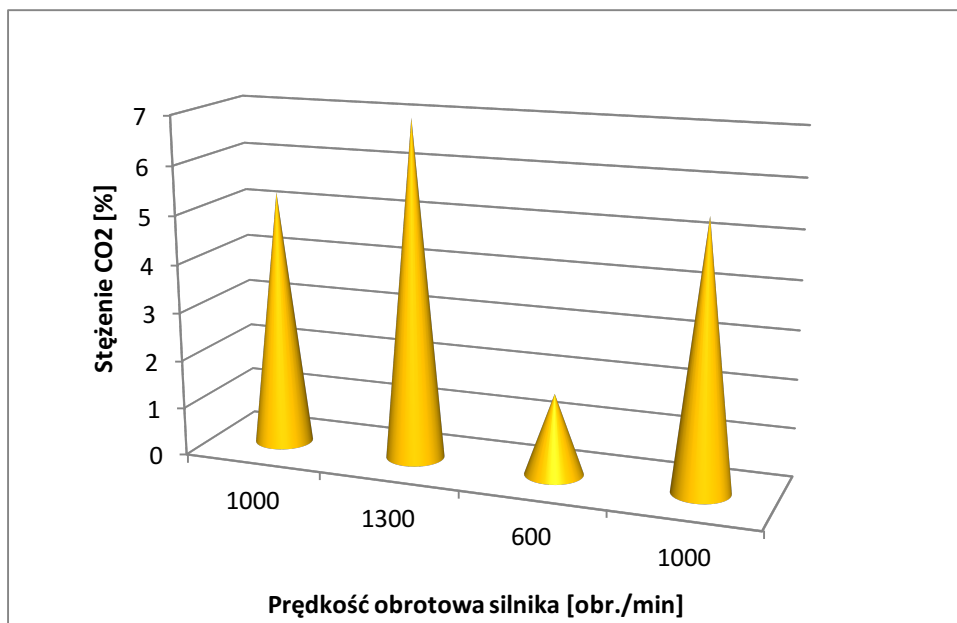
1.1 Cykl pomiarowy I

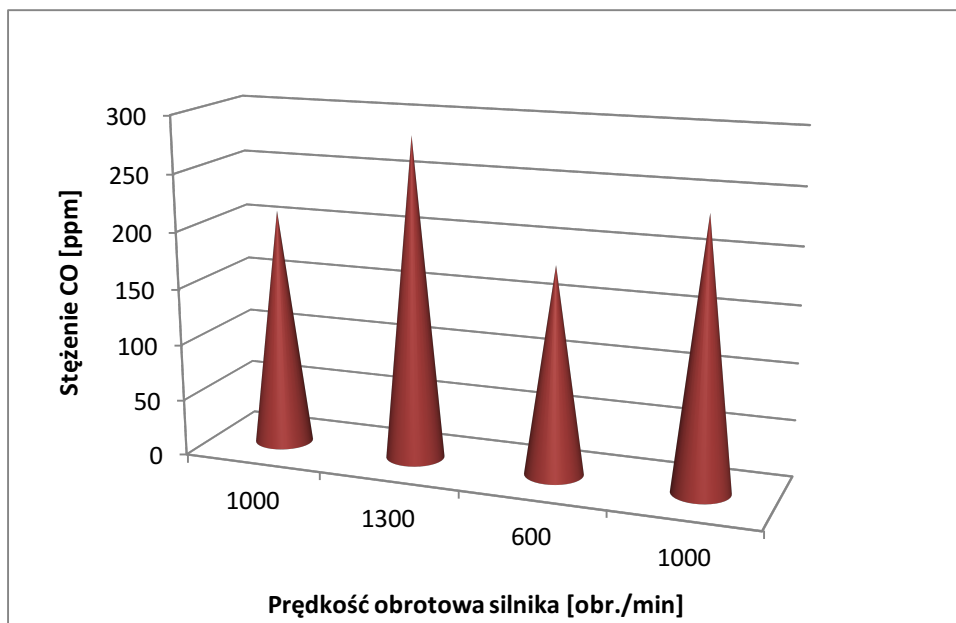
Obciążenie [%]	60		100		0		60	
Stanowisko pomiarowe	SP	SL	SP	SL	SP	SL	SP	SL
Prędkość obrotowa silnika [obr./min]	1000	1000	1300	1250	600	425	1000	1000
Godzina pomiaru	10:29	10:32	10:53	11:07	11:16	11:19	11:28	10:31
Temperatura spalin [°C]	284,0	381,7	401,9	480,4	220,4	308,7	285,5	375,7
CO ₂ [%]	5,3	7,04	6,97	8,93	1,67	1,89	5,45	7,19
O ₂ [%]	14,0	11,7	11,8	9,2	18,8	18,5	13,8	11,5
CO [ppm]	211	358	284	1442	183	180	236	282

SP – stanowisko pomiarowe nr 1, silnik prawy
SL – stanowisko pomiarowe nr 2, silnik lewy

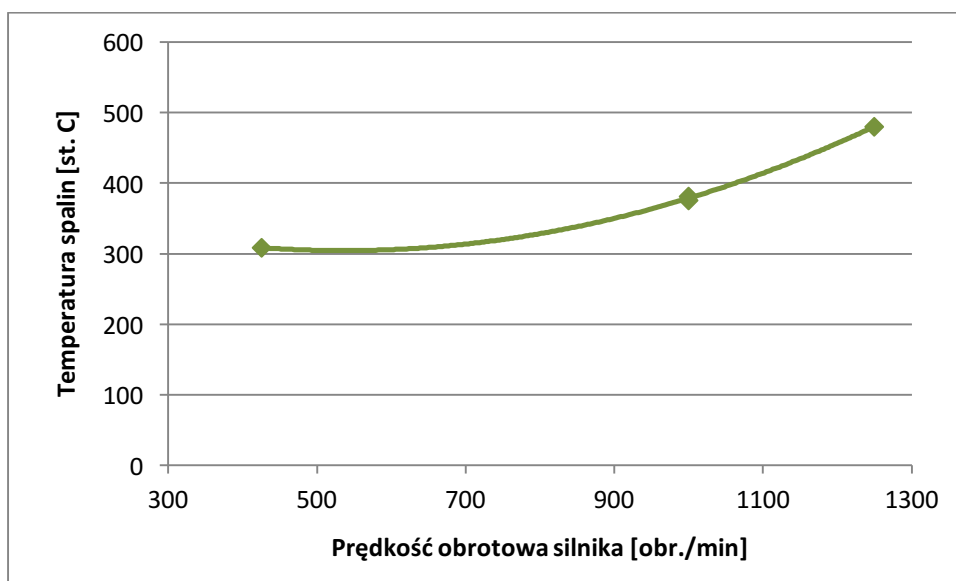
Silnik prawy:

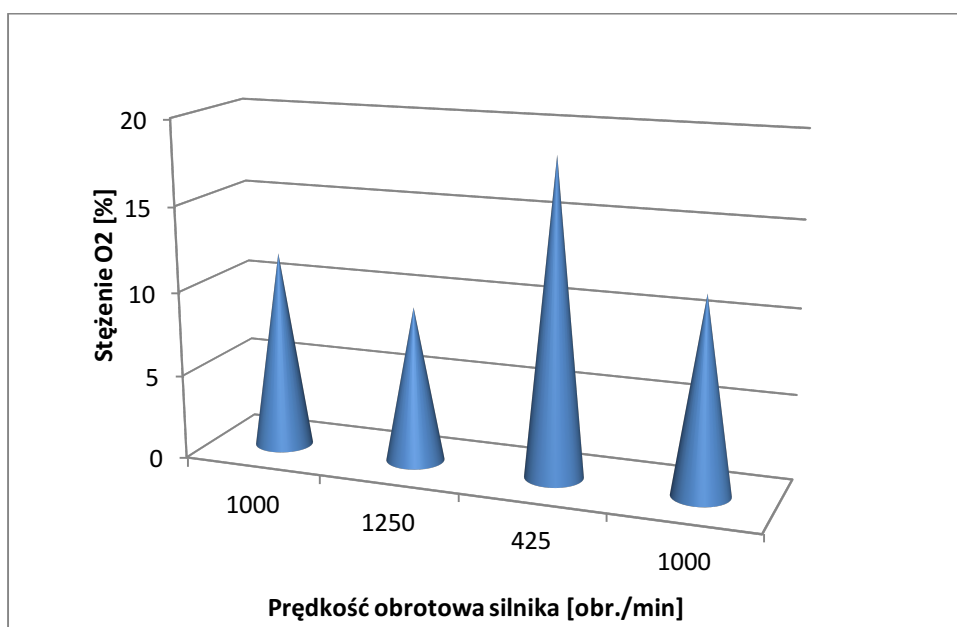
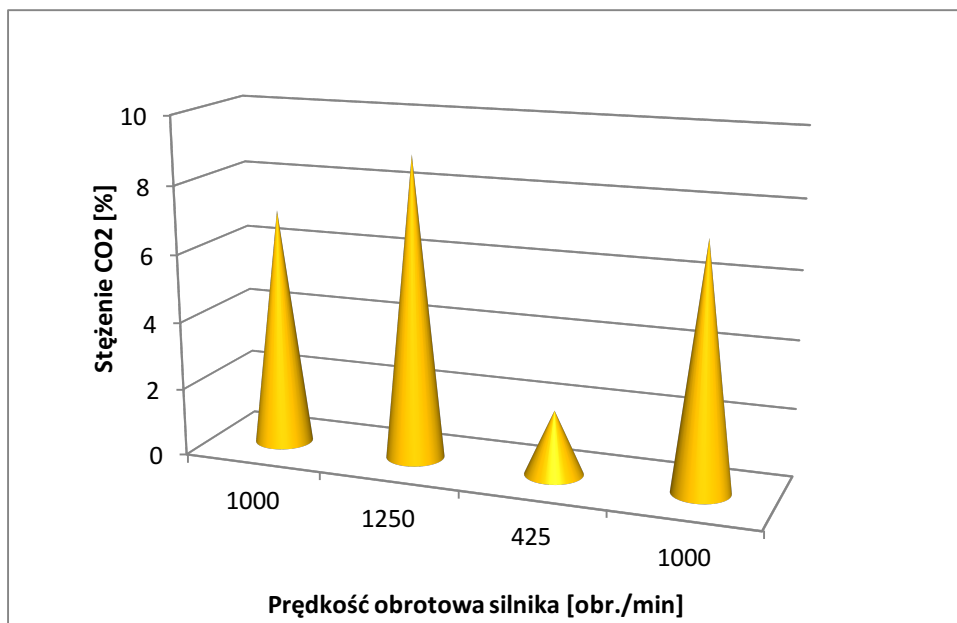


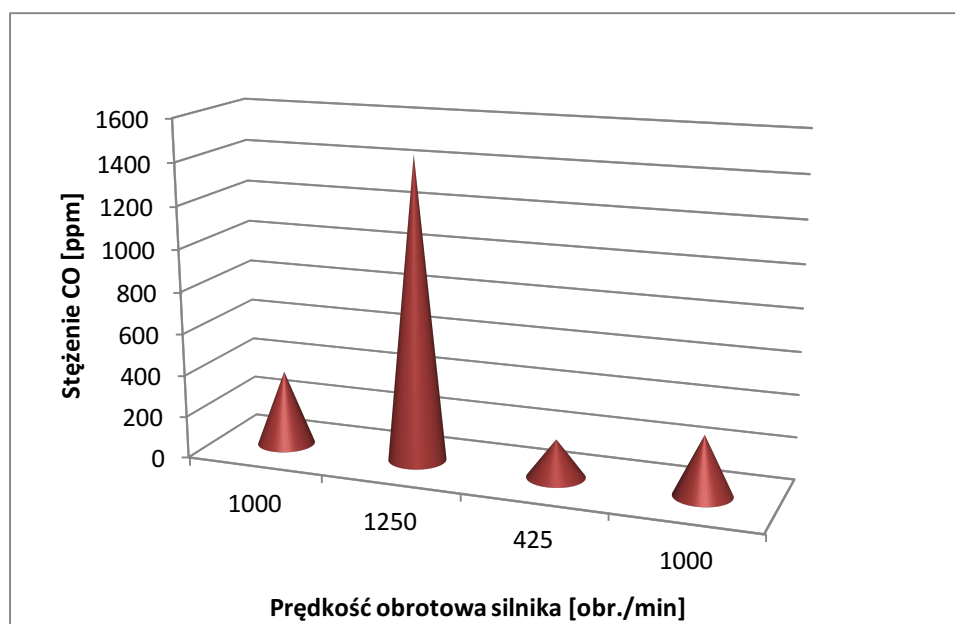




SILNIK LEWY:



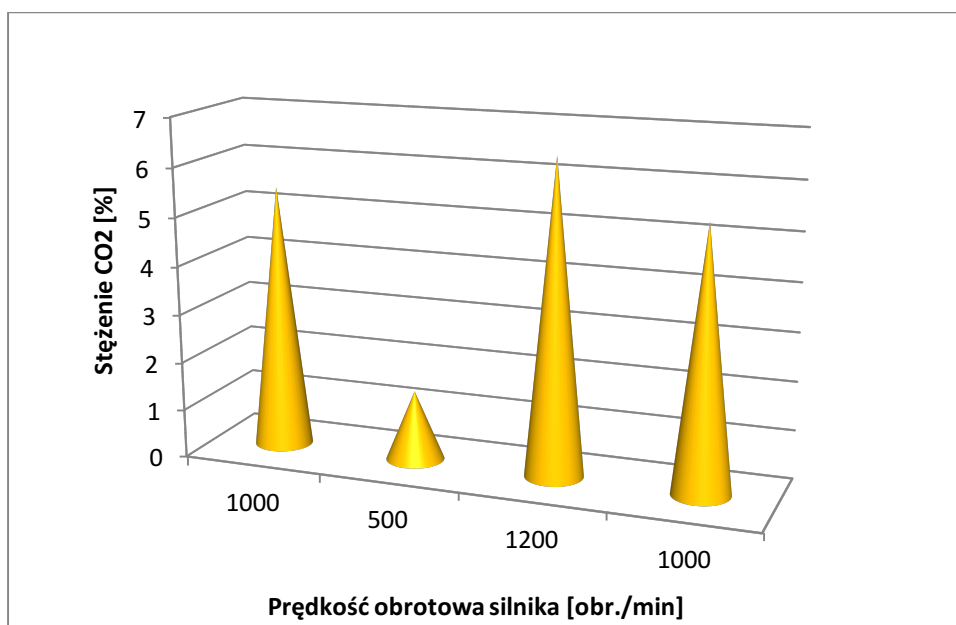
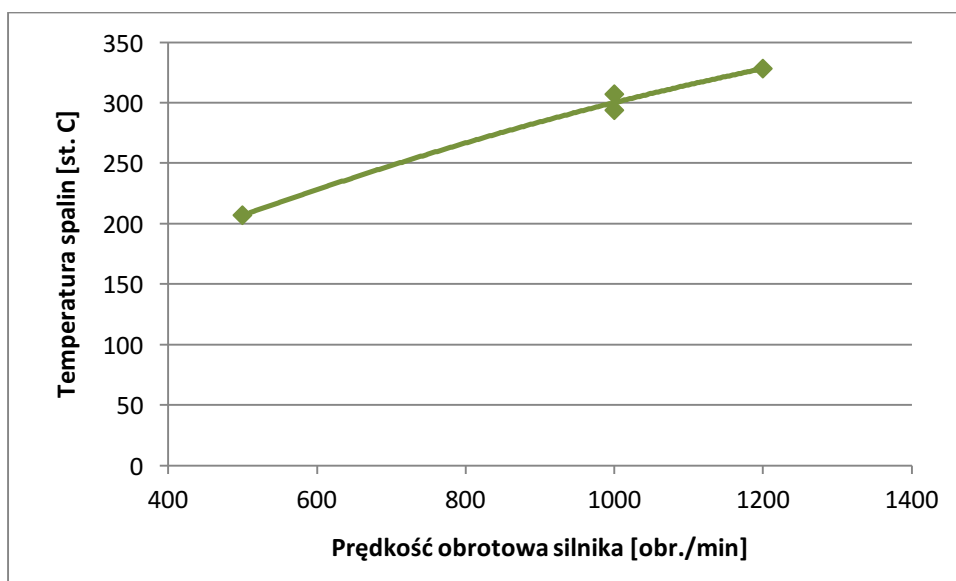


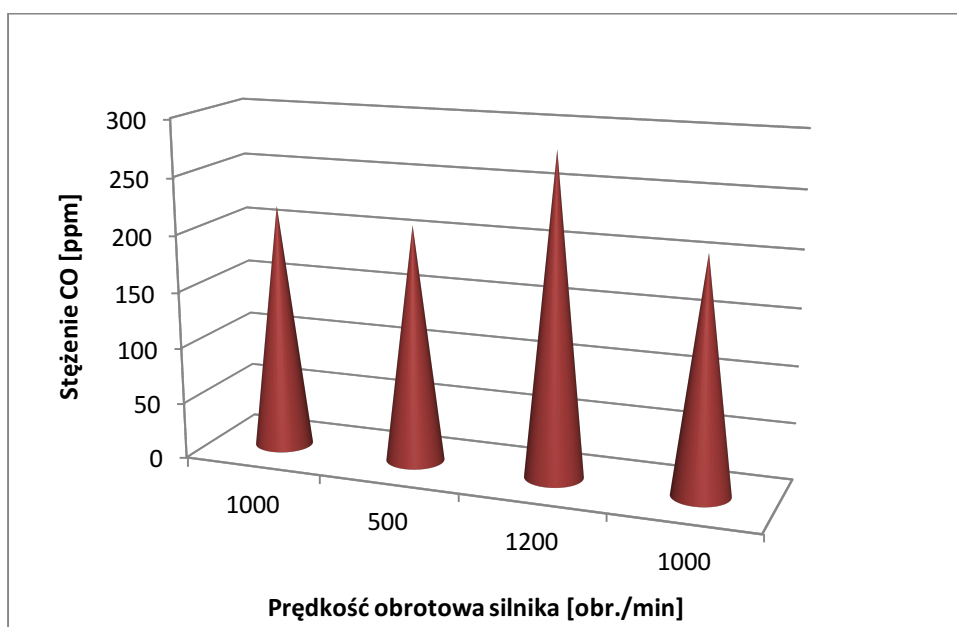
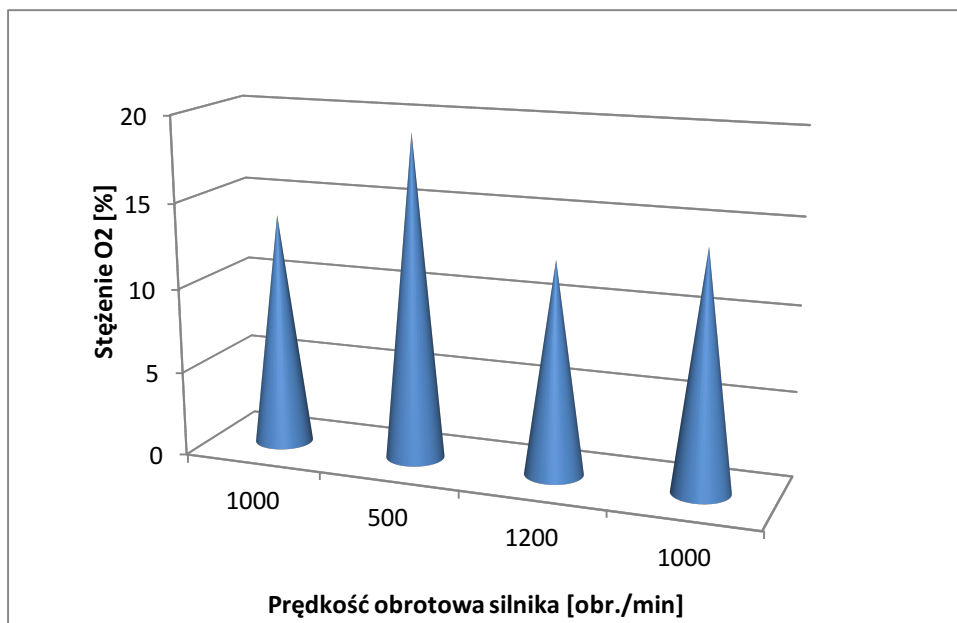


1.2 Cykl pomiarowy II

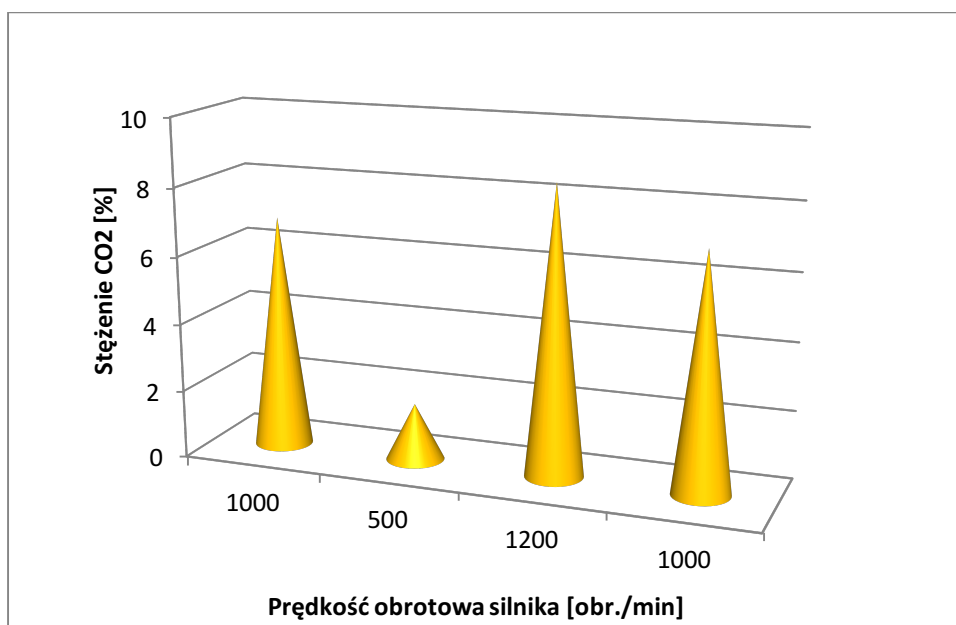
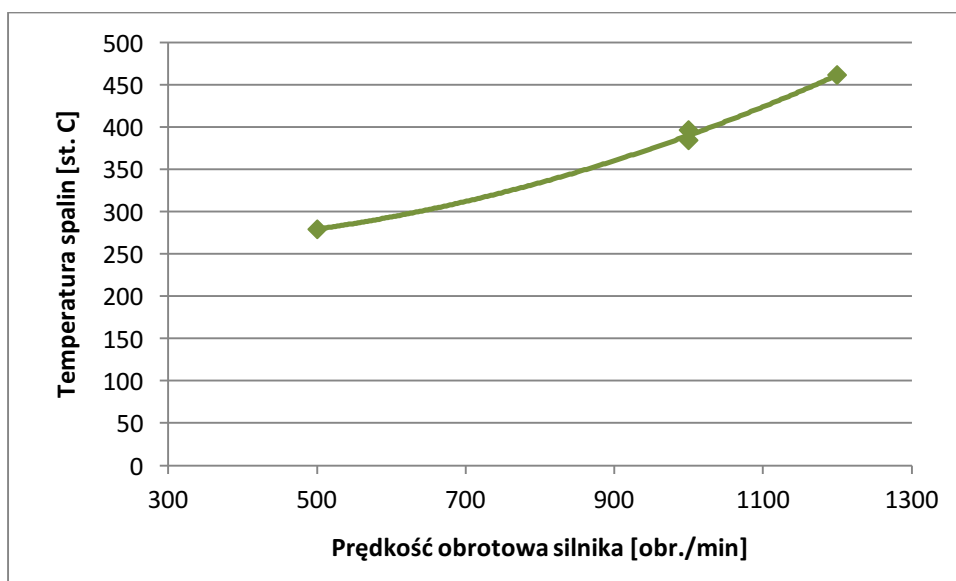
Obciążenie [%]	60		0		90		60	
Stanowisko pomiarowe	SP	SL	SP	SL	SP	SL	SP	SL
Prędkość obrotowa silnika [obr./min]	1000	1000	500	500	1200	1200	1000	1000
Godzina pomiaru	11:56	11:59	12:14	12:17	12:20	12:23	12:26	12:29
Temperatura spalin [°C]	293,4	383,7	206,7	279,1	328,1	461,1	306,7	396
CO ₂ [%]	5,45	6,89	1,44	1,67	6,44	8,48	5,38	6,97
O ₂ [%]	13,8	11,9	19,1	18,8	12,5	9,8	13,9	11,8
CO [ppm]	218	273	210	194	282	1163	206	277
SP – stanowisko pomiarowe nr 1, silnik prawy SL – stanowisko pomiarowe nr 2, silnik lewy								

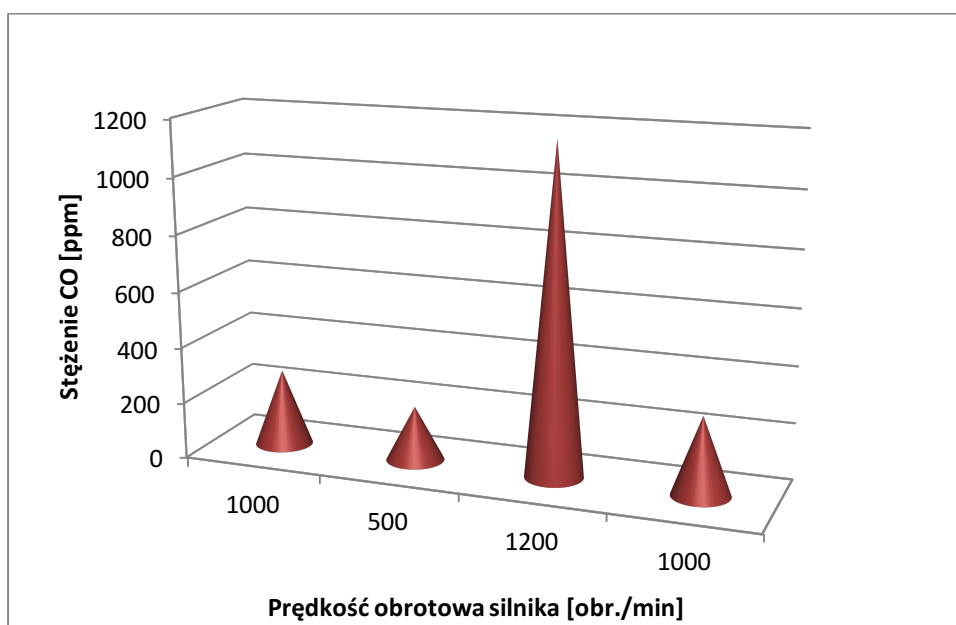
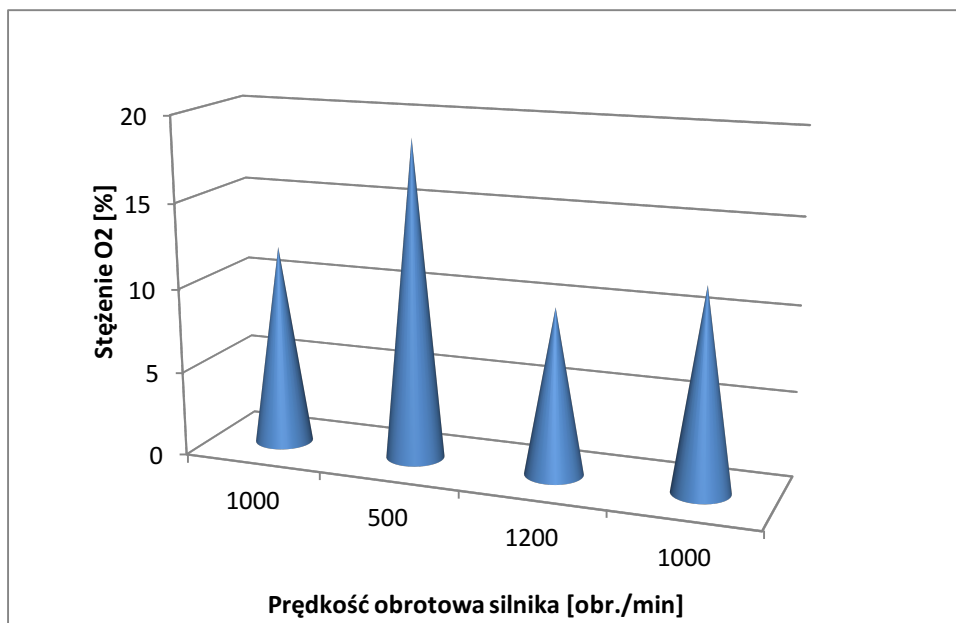
SILNIK PRAWY:





SILNIK LEWY:





PRÓBA POMIARU PO ZASTOSOWANIU REDUX KATALIZATOR

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 kwietnia 2014 r. w sprawie szczegółowych wymagań dla silników spalinowych w zakresie ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i cząstek stałych przez te silniki zawiera wytyczne do przeprowadzenia badań zawartości dwutlenku węgla oraz tlenku węgla w spalinach silników jednostek śródlądowych.

Wartości graniczne emisji zanieczyszczeń gazowych, podawane dla poszczególnych kategorii w zależności od mocy netto, dla silników jednostek śródlądowych, określone są w etapie IIIA.

Zasady przeprowadzonego badania zostały oparte o procedurę i warunki testu NRSC. Cykl takiego testu składa się z ustalonej sekwencji założonych faz prędkości i obciążenia, które powinny pokryć typowy zakres pracy silnika.

Zgodnie z rozporządzeniem badanie powinno składać się z czterech faz, dla obciążenia: 100%, 75%, 50% i 25%. Ze względu na specyfikę warunków badań – nie były to badania laboratoryjne na hamulcu dynamometrycznym ale badanie zostało przeprowadzone w warunkach rzeczywistych, na pracującej jednostce śródlądowej, przyjęto następujące fazy:

1. Faza obciążenia maksymalnego – osiągane i utrzymywane są obroty maksymalne;
2. Faza obciążenia średniego – utrzymywana jest wartość 1000 obr./min;
3. Faza biegu jałowego – nie jest podawane obciążenie, silnik działa na wolnych obrotach.

Numer fazy	Obciążenie	Prędkość obrotowa silnika	Współczynnik wagowy
1	60%	1000	0,15
2	100%	1300	0,15
3	0%	500	0,7

Współczynnik wagowy przyjęto ze względu na czas pracy silnika przy określonym obciążeniu w normalnym trybie eksploatacji.

Określono stężenie badanego składnika spalin dla każdej fazy.

Rozpoczęcie badań nastąpiło po rozgrzaniu silnika do osiągnięcia stabilizacji wszystkich parametrów (temperatury i ciśnienia) przy określonym obciążeniu. Przepływ spalin przez analizator trwał około 3 minut – do całkowitego ustabilizowania się wyników podawanych na wyświetlaczu analizatora.

W dniu 31.03.2016 oraz w dniach 05.04.2016 do 14.04.2016 przeprowadzono pomiary emisji przed i po zastosowaniu środka - Redux katalizator. Przeprowadzone badanie zostało wykonane w oparciu o dopuszczoną metodykę wykonywania pomiarów w niniejszym rozporządzeniu. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 kwietnia 2014r. w sprawie szczegółowych wymagań dla silników spalinowych w zakresie ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i cząstek stałych przez te silniki zawiera wytyczne do przeprowadzenia badań zawartości dwutlenku węgla oraz tlenku węgla w spalinach silników jednostek śródlądowych.

Zasady przeprowadzonego badania zostały oparte o procedurę i warunki testu NRSC. Cykl testu składa się z ustalonej sekwencji założonych faz prędkości i obciążenia, które powinny pokryć typowy zakres pracy silnika. Silniki były zasilane z jednego bunkrowania.

Podstawowe dane układu napędowego jednostki

	Wola 05H6Aa
moc nominalna	$P_B=139$ kW
sprawność przeniesienia napędu	$\eta_{TR}=0,91$
obroty nominalne silnika	$n_s=1500$ min ⁻¹
przełożenie przekładni	$i=4$
pełdnik Ka4-55 w dyszy 19A	
średnica	$D=1,26$ m
współczynnik skoku	$P/D=0,778$
współczynnik ssania	$t=0,2$
współczynnik nadążającego strumienia	$w=0,3$

Napęd statku stanowią dwa sześciocylindrowe silniki główne typu 05H6Aa na licencji Wola Henschel, o mocy nominalnej 190KM przy obrotach nominalnych $n_s=1500$ min. Jednostopniowa przekładnia redukcyjno nawrotna Wola 4R-20 daje przełożenie 4:1.

Zgodnie z rozporządzeniem badanie powinno składać się z czterech faz, dla obciążenia: 100%, 75%, 50% i 25%. Ze względu na specyfikę warunków badań – nie były to badania laboratoryjne na hamulcu dynamometrycznym ale badanie zostało przeprowadzone w warunkach rzeczywistych, na pracującej jednostce śródlądowej, przyjęto następujące fazy:

1. Faza obciążenia maksymalnego – osiągane i utrzymywane są obroty maksymalne;
2. Faza obciążenia średniego – utrzymywana jest wartość 1000 obr./min;
3. Faza biegu jałowego – nie jest podawane obciążenie, silnik działa na wolnych obrotach.

Numer fazy	Obciążenie	Prędkość obrotowa silnika	Współczynnik wagowy
1	60%	1000	0,15
2	100%	1300	0,15
3	0%	500	0,7

Współczynnik wagowy przyjęto ze względu na czas pracy silnika przy określonym obciążeniu w normalnym trybie eksploatacji.

Określono stężenie badanego składnika spalin dla każdej fazy.

Rozpoczęcie badań nastąpiło po rozgrzaniu silnika do osiągnięcia stabilizacji wszystkich parametrów (temperatury i ciśnienia) przy określonym obciążeniu. Przepływ spalin przez analizator trwał około 3 minut – do całkowitego ustabilizowania się wyników podawanych w analizatorze.

Podczas prób wykonano 80 pomiarów na obu silnikach jednostki, w tym w okresie 05-14.04.2016 z zastosowaniem czynnika - Redux katalizator.

Analiza wykazała:

1. Na silniku L spadek tlenku węgla (CO) z 919 ppm do 389 ppm (~236%);
2. Na silniku L spadek tlenku nieroz. z 2031 ppm do 939 ppm (~216%);
3. Na silniku P spadek tlenku węgla (CO) z 920 ppm do 337 ppm (~272%);
4. Na silniku P spadek tlenku nieroz. z 1952 do 753 ppm (~259%).

5. Pomiar nr 1 (NO) wyniósł 1400 ppm, pomiar ostatni 37 w tym zakresie 755 ppm, co stanowi spadek o 47% w stosunku do pomiaru bazowego.



Rys. Specjalna konstrukcja kołnierza pod sondę analizatora spalin

PRZYKŁAD KARTY POMIAROWEJ 1

Data:	05.04.2016		14.04.2016
Godzina pomiaru:	09:13:59		15:00:13
Pomiar nr:	1		80
Silnik (prawy/lewy)	P		P

		Wartość	Wartość
Temperatura spalin:	°C	272,5	378,4
Dwutlenek węgla (CO ₂)	%	7,26%	7,12%
qA b	%	19,5	30,8
Lambda		2,12	2,23
Tlen	%	11,1	11,6
Tlenek węgla (CO)	ppm	920	337
CO nieroz.	ppm	1952	753
Sprawność	%	80,5	69,2
Temperatura powietrza	°C	14,2	18,8
O ₂ pds	%	11,1	11,6
Punkt rosy	°C	39,9	38,9

PRZYKŁAD KARTY POMIAROWEJ 2

Data:	05.04.2016	14.04.2016
Godzina pomiaru:	09:15:54	15:00:13
Pomiar nr:	4	77
Silnik (prawy/lewy)	L	L

		Wartość	Wartość
Temperatura spalin:	°C	337,7	386
Dwutlenek węgla (CO ₂)	%	6,97%	6,59%
qA b	%	25,4	33,9
Lambda		2,21	2,41
Tlen	%	11,5	12,3
Tlenek węgla (CO)	ppm	919	389
CO nieroz.	ppm	2031	939
Sprawność	%	74,6	66,1
Temperatura powietrza	°C	14,4	19,9
O ₂ pds	%	11,5	12,3
Punkt rosy	°C	39,3	38,2