



TEMAT PRACY:

„Określenie wpływu nowego typu katalizatora do paliwa na zakoksowanie rozpylacza paliwa”

ZLECENIODAWCA:

DAGAS Sp. z o. o.,
z siedzibą w Warce, kod 05-660, przy ul. Gośniewskiej 46

NR UMOWY:

M-04/139/2020/P

KIEROWNIK TEMATU:

dr hab. inż. Jerzy Cisek

DYREKTOR INSTYTUTU:

dr hab. inż. Marek Brzeżański, prof. PK

KRAKÓW, czerwiec 2020.

Zespół badawczy:

dr hab. inż. Jerzy Cisek – kierownik badań

inż. Michał Sędzik

pracownicy pomocniczy

SPIS TREŚCI

1. Podstawa realizacji pracy	3
2. Cel i zakres pracy	3
3. Program pracy	4
4. Stanowiska pomiarowe do określania stopnia zakoksowania rozpylaczy	4
5. Metodyki określania stopnia zakoksowania rozpylaczy	10
5.1. Ocena stopnia zakoksowania otworów wylotowych rozpylacza	10
5.2. Ocena jakości spływu iglicy rozpylacza	11
5.3. Ocena podciekania rozpylacza	12
5.4. Ocena jakości rozpylenia i położenia strug paliwa	12
5.5. Ocena dźwięku pracy wtryskiwacza	13
5.6. Statyczne ciśnienie otwarcia wtryskiwacza	13
6. Wyniki i analiza stopnia zakoksowania rozpylacza	14
7. Widok ogólny wtryskiwaczy po teście zakoksowania rozpylaczy	17
8. Podsumowanie i wnioski końcowe	23

1. PODSTAWA REALIZACJI PRACY

Podstawę wykonanej pracy stanowiła umowa nr M-04/139/2020/P o realizację projektu badawczego pt. „Określenie wpływu nowego typu katalizatora do paliwa na zakoksowanie rozpylacza paliwa”, zawarta 04.05.2020. między Firmą DAGAS Sp. z o. o., z siedzibą w Warce, kod 05-660, przy ul. Gośniewskiej 46, a Politechniką Krakowską im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie.

2. CEL I ZAKRES PRACY

Zasadniczym celem zrealizowanych badań było określenie wpływu testowanego paliwa (handlowy olej napędowy B7 z dodatkiem ciekłego katalizatora Reduxco firmy DAGAS, o stężeniu wynoszącym 0,2 % [V/V]), w porównaniu z olejem napędowym, na stopień zakoksovania rozpylaczy.

Badania przeprowadzono na specjalnym, jednocylinrowym silniku badawczym o zapłonie samoczynnym, zgodnie z testem służącym ocenie stopnia zakoksovania rozpylaczy, który zdefiniowano w dalszej części sprawozdania oraz określono m.in. stopień zakoksovania otworów wylotowych rozpylaczy paliwa na specjalnym stanowisku badawczym (metodą podciśnieniową). Należy wyraźnie podkreślić, że zadaniem przeprowadzonych badań nie było określenie własności myjących stosowanego dodatku do paliwa (choćby ze względu na zbyt krótki czas pracy silnika – 5 godzin), ale określenie na ile zastosowany w paliwie testowym katalizator Reduxco zmniejsza ilość wytwarzanych depozytów wewnątrz cylindra silnika i w związku z tym również w otworach wylotowych rozpylacza. Teza ta wynika z przeprowadzonych wcześniej badań w Politechnice Krakowskiej (umowa nr M-04/446/2019/P), z których wynika m.in., że katalizator Reduxco zmniejsza emisję cząstek stałych (PM) w spalinach silnika nawet o 30% i zadymienie spalin do 50% , w porównaniu z wartościami uzyskiwanymi dla silnika zasilanego paliwem bez dodatku tego katalizatora.

Dodatkowo określono wpływ badanych paliw (testowego i bazowego) na szereg parametrów pozwalających na ocenę wpływu stosowanych paliw na parametry diagnostyczne wtryskiwacza (m.in. ciśnienie otwarcia wtryskiwacza po teście badawczym, jakość „spływu” iglicy rozpylacza, ilość nagarów na zewnętrznej powierzchni rozpylacza, etc.).

3. PROGRAM BADAŃ

W ramach zakończonego projektu badawczego zrealizowano następujący program badań (zgodny z wnioskiem):

1. przystosowanie stanowiska badawczego ze specjalnym silnikiem o zapłonie samoczynnym do realizacji testu zakoksowania rozpylaczy paliwa,
2. realizacja silnikowego testu zakoksowania rozpylaczy dla paliwa bazowego i paliwa testowego (z dodatkiem katalizatora Reduxco)
3. badania wtryskiwacza i rozpylaczy przed i po teście zakoksowania, dla każdego paliwa oddzielnie (bezsilnikowe stanowiska pomiarowe) obejmowały:
 - ocena stopnia zakoksowania otworów wylotowych rozpylacza,
 - ocena zakoksowania zewnętrznej powierzchni rozpylacza,
 - ocena jakości „spływu” iglicy rozpylacza,
 - ocena podciekania rozpylacza,
 - ocena statycznego ciśnienia otwarcia wtryskiwacza,
 - ocena dźwięku podczas rozpylania paliwa na próbniku,
 - ocena jakości i położenia strug paliwa z rozpylacza.

4. STANOWISKA POMIAROWE DO OKREŚLANIA STOPNIA ZAKOKSOWANIA ROZPYLACZY

Badania stopnia zakoksowania rozpylaczy w specjalnym teście zrealizowano z zastosowaniem stanowiska laboratoryjnego wyposażonego m.in. w prądnicową hamownię silnikową oraz badawczy jednocylindrowy, szybkoobrotowy silnik z zapłonem samoczynnym typu SB 3.1. o bezpośrednim wtrysku paliwa do komory spalania.

Widok ogólny stanowiska badawczego (hamownianego) oraz urządzeń pomiarowych przedstawiono na rys.1 i rys.2. Stanowisko pomiarowe do określania stopnia zakoksowania rozpylacza zasilanego olejem napędowym oraz testowanym paliwem zaprezentowano na rys.3 i rys.4.

Tabela 1. Podstawowe parametry techniczne silnika badawczego

Charakterystyka silnika badawczego SB 3.1.	
1. Rodzaj zapłonu	samoczynny
2. Układ cylindrów	pionowy
3. Ilość cylindrów	1
4. Średnica tłoka	127 mm
5. Skok tłoka	147 mm
6. Początek tłoczenia paliwa	27 ° przed GMP
7. Objętość skokowa	1,85 dcm ³
8. Stopień sprężania	15.75
9. Moc silnika	23,2 kW
10. Nominalna prędkość obrotowa	2200 obr/min
11. Minimalna prędkość obrotowa biegu jałowego	450 – 550 obr/min
12. Maksymalny moment obrotowy brutto	110 Nm
13. Prędkość obrotowa maksymalnego momentu	1600 obr/min
14. Jednostkowe zużycie paliwa	193 g/kWh
15. Ciśnienie oleju smarującego	0,2 – 0,5 MPa
16. Statyczne ciśnienie otwarcia wtryskiwacza	17 + 0,5 MPa
17. Jednostkowa dawka paliwa	130 mm ³ /cykl
18. Typ wtryskiwaczy / Typ rozpylaczy	W1B – 01 / D1LMK 140/2
19. Wielkość luzów zaworowych	0,5 mm
20. Typ pompy wtryskowej	P51T2 (P56-01A) regulator R-14V 20-110/12M
21. Warunki nagrzania (stabilizacji termicznej silnika)	temp wody 80 – 85 °C temp oleju 75 – 85 °C

Tabela 2. Podstawowe parametry fizyko-chemiczne stosowanego paliwa bazowego

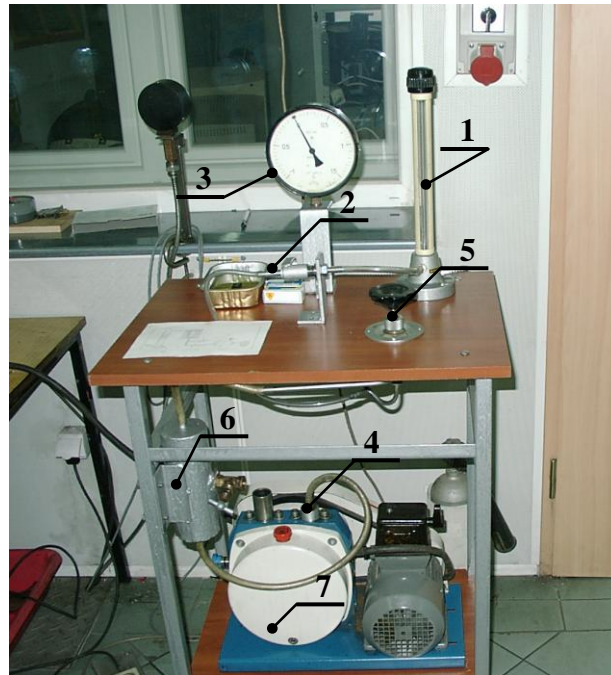
L.p.	Oznaczana wielkość	Jednostka	Wartość oznaczona	Wymagania wg normy
1	Temperatura zapłonu	°C	62,0	pow. 55,0
2	Zawartość wody	mg/kg	80	max. 200
3	Lepkość kinematyczna	mm ² /s	2,78	2,00-4,00
4	Stabilność oksydacyjna	h	55,4	min. 20
5	Odporność na utlenianie	g/m ³	4	max. 25
6	Temp. zablokowania zimnego filtra	°C	-7	
7	Temp. mętnienia	°C	-6	
8	Liczba cetanowa		51,7	min. 51
9	Indeks cetanowy		52,5	min. 46,0
10	Zawartość WWA	% (m/m)	2,3	max. 8,0
11	Zawartość siarki	mg/kg	9,4	max. 10,0
12	Pozostałość po koksowaniu	% (m/m)	0,01	max. 0,30
13	Pozostałość po spopieleniu	% (m/m)	0,001	max. 0,01
14	Całkowita zawartość zanieczyszczeń	mg/kg	12	max. 24
15	Badanie działania korodującego na Cu		1	1
16	Smarność, średnica śladu (WS 1,4)	µm	436	max. 460
17	95% (v/v) destyluje do temperatury	°C	354,7	360,0
18	Do temperatury 250 °C destyluje	% (v/v)	39,0	pon. 65,0
19	Do temperatury 350 °C destyluje	% (v/v)	93,8	min. 85,0
20	Gęstość w 15 °C	kg/m ³	830	820-840
21	Zawartość FAME	% (v/v)	7	max. 7



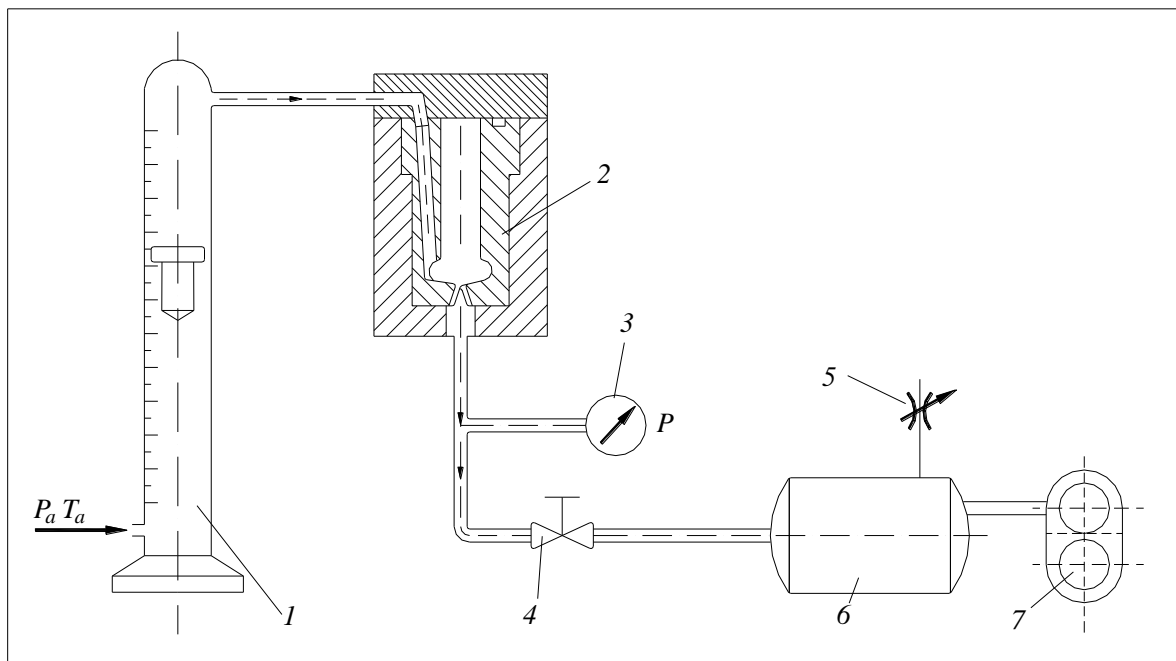
Rys.1. Widok ogólny stanowiska badawczego (z 1-cylindrowym silnikiem wysokoprężnym) do zrealizowania testu badawczego zakoksowania rozpylaczy



Rys.2.. Widok ogólny stanowiska badawczego (sterownia silnia badawczego) do określania stopnia zakoksowania rozpylaczy zasilanego olejem napędowym oraz testowanym paliwem



Rys.3. Widok ogólny stanowiska badawczego do określania stopnia zakoksowania rozpylaczy zasilanego olejem napędowym oraz testowanym paliwem (opis na schemacie rys.4)



Rys.4. Schemat stanowiska do badania zakoksowania rozpylaczy

- 1 - przepływomierz; 2 - rozpylacz; 3 - podciśnieniomierz; 4 - zawór odcinający;
5 - zawór regulacji podciśnienia; 6 - zbiornik wyrównawczy; 7 - pompa podciśnieniowa



Rys.5. Widok ogólny stanowiska do pomiaru statycznego ciśnienia otwarcia wtryskiwacza paliwa



Rys.6. Widok ogólny stanowiska do oceny jakości i położenia strug paliwa z rozpylacza

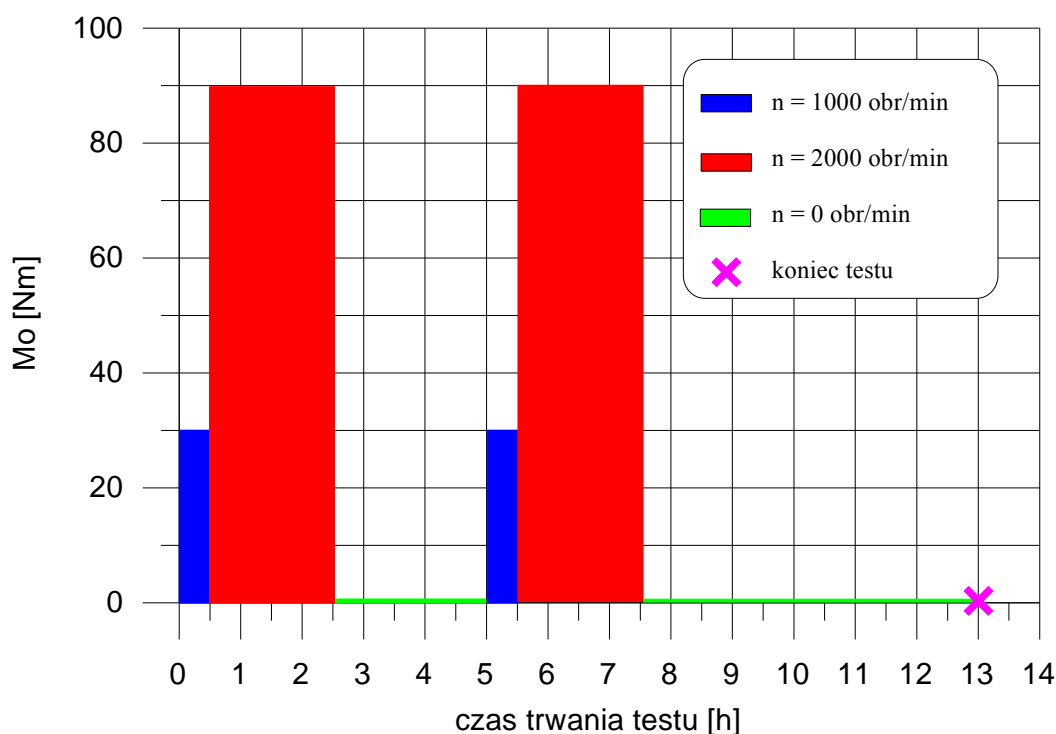
5. METODYKA OKREŚLANIA STOPNIA ZAKOKSOWANIA ROZPYLACZY

5.1. Ocena stopnia zakoksowania otworów wylotowych rozpylacza

W celu wstępnego sprawdzenia skali intensywności zanieczyszczenia otworów wylotowych rozpylacza przeprowadzono pomiary stopnia zakoksowania rozpylaczy metodą bazującą na normach ISO 4010.

Zakoksowanie rozpylaczy paliwa przeprowadzono na specjalnym stanowisku pomiarowym wyposażonym w 1-cylindrowy, badawczy, szybkoobrotowy silnik z zapłonem samoczynnym o bezpośrednim wtrysku paliwa. Widok ogólny tego stanowiska przedstawiono na rys.1.

Stopień zakoksowania rozpylaczy oceniany był po realizacji 13-godzinnego testu badawczego pracy silnika SB3.1, zgodnego z danymi zawartymi na rys.7. Zakoksowaniu poddawano nowy rozpylacz pracujący w silniku zasilanym olejem napędowym (paliwo bazowe – referencyjne) oraz również nowy (drugi) rozpylacz pracujący na paliwie testowym (olej napędowy z dodatkiem katalizatora Reduxco). Przed testem zakoksowania rozpylaczy, zmierzono przepustowość otworów wylotowych rozpylaczy. Spośród trzech nowych rozpylaczy (rys.8) odrzucono jeden z nich, ze względu na duże odstępstwo przepustowości jego otworów wylotowych w odniesieniu do dwóch pozostałych. Rozpylacze „1” i „2” charakteryzowały się taką samą przepustowością, która wynosiła 220 l/min.



Rys.7. Przebieg testu badawczego silnika SB 3.1 realizowany w celu zakoksowania rozpylaczy paliwa



Rys.8. Widok ogólny nowych rozpylaczy przed testem zakoksowania

Stopień zakoksowania rozpylaczy mierzony był na stanowisku badawczym, którego widok ogólny i schemat przedstawiono na rys.3 i rys.4 w rozdz. 4. Pomiar polega na określaniu przepustowości otworów wylotowych rozpylacza. Natężenie przepływu powietrza, przy podciśnieniu wynoszącym 0,2 bara, mierzone laboratoryjnym rotametrem, jest miarą zakoksowania otworów wylotowych rozpylacza. Zmniejszenie przepustowości otworów wylotowych rozpylacza o 25% (lub więcej) dyskwalifikuje paliwo zasilające silnik i/lub warunki pracy silnika (parametry eksploatacyjne, regulacyjne i konstrukcyjne silnika). Jednocześnie należy wyraźnie podkreślić, że dopuszczalna przepustowość rozpylacza jest warunkiem koniecznym, jakkolwiek niewystarczającym do dopuszczenia układu: paliwo – silnik do współpracy, ponieważ jednocześnie spełnione muszą być wszystkie parametry określone w rozdziale 5.

Wyniki badań stopnia zakoksowania otworów wylotowych rozpylacza zamieszczono w rozdz. 6.

5.2. Ocena jakości „spływu” iglicy rozpylacza

Po zdemontowaniu rozpylacza z obudowy wtryskiwacza, po teście zakoksowania, należy ocenić jakość „spływu” iglicy. Wiąże się to z możliwością zanieczyszczeń gromadzących się w części prowadzącej iglicy w rozpylaczu, co z kolei może mieć związek z powstawaniem związków lakowych wskutek spalania paliw, dla których nie ma pełnej krzywej destylacji lub są zanieczyszczone mechanicznie. Rozpylacz z iglicą (para precyzyjna) są dyskwalifikowane, jeśli nie obserwuje się łagodnego spływu iglicy wewnątrz rozpylacza. Niedopuszczalne są jakiegokolwiek zatarcia iglicy w rozpylaczu.

5.3. Ocena podciekania rozpylacza

Podczas oceny pracy wtryskiwacza na próbniku, szczególnie dla paliw alternatywnych (lub oczywiście uszkodzonego rozpylacza), często zaobserwować można tworzącą się obwódkę paliwa, a czasami występuje podciekanie paliwa na końcówce rozpylacza.

O b w ó d k a paliwa jest nagromadzeniem się bardzo drobnych kropeł paliwa wokół otworów rozpylających. W praktyce pomiarowej i diagnostycznej, po dwu, trzech ruchach dźwigni próbника obwódka nie powinna przybierać takich rozmiarów, aby paliwo rozlewało się na czole lub czaszy rozpylacza, albo też tworzyło kroplę.

P o d c i e k a n i e jest to wydobywanie się oleju napędowego z otworu i/lub otworów rozpylacza. Występują 3 rodzaje podciekania:

- podciekanie początku: paliwo wypływa przed ukazaniem się rozpylonej strugi,
- podciekanie trwania: w czasie wtrysku następuje nagły zanik dźwięku i wypływania paliwa,
- podciekanie końca: iglica uderzając o przylgnię wypycha pewną ilość paliwa, które wylewa się z otworów wylotowych rozpylacza.

Próba polega na doprowadzeniu ciśnienia paliwa we wtryskiwaczu do wartości 2 MPa niższej niż statyczne ciśnienie otwarcia wtryskiwacza i utrzymaniu tego ciśnienia przez 10 s. Po tym czasie na końcówce rozpylacza (w okolicach otworów wylotowych) może pojawiać się ledwo dostrzegalne zawilgocenie, wynikające z obecności paliwa w otworkach wylotowych rozpylacza, zawilgocenie to nie może jednak powiększyć się po dłuższym czasie trwania próby. Zawilgocenie nie może prowadzić do formowania się kropli paliwa, co dyskwalifikuje próbę. Wtryskiwacz uznaje się za nadający się do dalszej pracy (a paliwo za spełniające test szczelności rozpylacza) jeśli przeciek nie przekracza $0,3 \text{ mm}^3/\text{s}$.

W prawidłowo pracującym wtryskiwaczu nie powinno występować podciekanie początku i trwania wtrysku paliwa, natomiast podciekanie końca wtryskiwania nie dyskwalifikuje wtryskiwacza pracującego na testowanym paliwie.

5.4. Ocena jakości rozpylenia i położenia strug paliwa

Prawidłowa ocena jakości rozpylenia paliwa testowego jest oceną subiektywną i zależy w dużym stopniu od doświadczenia pracownika przeprowadzającego próbę. Aby zmniejszyć subiektywność oceny posługiwano się wtryskiwaczem wzorcowym. Dodatkowo oceniano kąt wierzchołkowy oraz kierunek osi strumienia rozpylonego paliwa. Nieprawidłowość jakości rozpylenia i/lub położenia strug paliwa wynikają z zanieczyszczeń, które znajdują się pomiędzy powierzchniami współpracującymi rozpylacza lub są w otworach wylotowych rozpylacza.

5.5. Ocena dźwięku pracy wtryskiwacza podczas rozpylania paliwa na próbniku

Podczas przetłaczania paliwa przez wtryskiwacz na próbniku, wskutek ruchu iglicy rozpylacza, następuje przerywanie strugi wypływającego paliwa z mniejszą lub większą częstotliwością (zależną od stanu technicznego wtryskiwacza). Zjawisku temu towarzyszy dźwięk zwany „chrypieniem”. Należy pamiętać, że podczas pracy w silniku dźwięk ten we wtryskiwaczu nie występuje ponieważ iglica po opadnięciu na przyłgnię nie może powtórnie oderwać się (aż do następnego cyklu pracy silnika). Charakterystyczny dźwięk, towarzyszący poprawnie pracującemu wtryskiwaczowi, jest słyszalny tylko przy sprawdzaniu wtryskiwacza na próbniku. W praktyce ocenę dźwięku przeprowadza się przy 1-4 płynnych ruchów dźwigni próbника na sekundę. Brak charakterystycznego „chrypienia” wtryskiwacza świadczy o jego nieprawidłowej pracy (np. zanieczyszczeniu).

5.6. Statyczne ciśnienie otwarcia wtryskiwacza

Ciśnienie otwarcia wtryskiwacza (statyczne) jest parametrem regulacyjnym, który powinien być zgodny z wymaganiami deklarowanymi przez producenta silnika. Ciśnienie otwarcia wtryskiwacza sprawdza się zwiększając stopniowo ciśnienie w próbniku i obserwacji wskazań manometru. Największe ciśnienie, jakie manometr wskaże przed rozpoczęciem wtrysku paliwa, przyjmuje się za statyczne ciśnienie otwarcia wtryskiwacza. Aby dokładnie uchwycić wartości ciśnienia otwarcia, próbę powtarza się kilkakrotnie, w celu sprawdzenia powtarzalności wyników.

Spadek ciśnienia otwarcia wtryskiwacza może świadczyć o nieszczelności wtryskiwacza (rozpylacza) wynikający z zanieczyszczeń, które znajdują się pomiędzy powierzchniami współpracującymi rozpylacza, co ma bezpośredni związek z paliwem zasilającym silnik.

Należy wyraźnie podkreślić, że niespełnienie któregokolwiek parametru, po teście zakoksovania rozpylacza na badanych paliwach, dyskwalifikuje konfigurację silnik – paliwo, przy stosowanych w danej chwili parametrach konstrukcyjno regulacyjnych silnika oraz przy zastosowanych pakietach dodatków do paliwa. Dlatego też wskazane byłyby badania rozszerzone (np. związane z idnykowaniem cylindra silnika powiązane z pomiarem szybkozmiennym ciśnień badanych paliw oraz przemieszczenia iglicy wtryskiwacza). Dopiero tego typu badania mogą pozwolić na pełną analizę przyczynowo-skutkową obserwowanych zjawisk związanych ze stosowaniem testowanych biopaliw i pozwolić na korekcję negatywnych występujących wówczas procesów.

6. WYNIKI I ANALIZA BADAŃ STOPNIA ZAKOSOWANIA ROZPYLACZY PALIWA

Jak wstępnie zaznaczono w rozdz.5. badania wtryskiwacza po teście zakoksovania rozpylacza (bezsilnikowe stanowiska pomiarowe) przeprowadzono z uwzględnieniem pomiarów i analizy następujących parametrów:

- ocena stopnia zakoksovania otworów wylotowych rozpylacza
- ocena zakoksovania zewnętrznej powierzchni rozpylacza
- ocena jakości „spływu” iglicy rozpylacza
- ocena podciekania rozpylacza
- ocena statycznego ciśnienia otwarcia wtryskiwacza
- ocena dźwięku podczas rozpylania paliwa na próbniku
- ocena jakości i położenia strug paliwa z rozpylacza

W celu ułatwienia analizy wpływu stosowanych paliw na poprawność pracy wtryskiwacza wraz z rozpylaczem, wszystkie badane parametry zamieszczono w jednej tabeli 3, w której ocena końcowa określa możliwość stosowania każdego z badanych paliw z punktu widzenia pracy wtryskiwacza.

W tabeli 3 zastosowano następującą skalę ocen, oddzielnie dla każdego z parametrów:

- **poprawnie (+),**
- **dopuszczalnie - na granicy dopuszczenia (+/-)**
- **niedopuszczalnie (-)**

Tabela 3. Ocena wpływu badanych paliw na parametry pracy wtryskiwacza paliwa

PARAMETR	PALIWO BAZOWE ON		PALIWO TESTOWE ON + Reduxco	
	ROZPYLACZ			
	Nowy (1)	Po teście	Nowy (2)	Po teście
przepustowość otworów rozpylacza [l/min]	220	209	220	218
procentowy stadek przepustowości otworów rozpylacza	5%		1%	
ocena przepustowości otworów rozpylacza	(+)		(+)	
zakoksowanie zewnętrznej części rozpylacza	(+/-)		(+)	
ocena „spływu” iglicy rozpylacza	(+)		(+)	
ocena podciekania rozpylacza	(+)		(+)	
ocena statycznego ciśnienia otwarcia wtryskiwacza	(+)		(+)	
ocena dźwięku podczas rozpylania paliwa na próbniku	(+)		(+)	
ocena jakości i położenia strug paliwa z rozpylacza	(+/-)		(+)	
OCENA KOŃCOWA	(+)		(++)	

Z danych zawartych w tabeli 3 wynika, że wtryskiwacz z rozpylaczem uzyskuje pozytywną ocenę końcową zarówno dla przypadku zasilania silnika paliwem bazowym – referencyjnym, jak i dla silnika zasilanego paliwem testowym (olejem napędowym z dodatkiem katalizatora Reduxco). Jest to oczywiste dla paliwa bazowego (handlowego oleju napędowego B7), ponieważ paliwo to jest zgodne z Europejską Kartą Paliw, w ramach której przeprowadzane są również tego typu testy zakoksowania rozpylaczy. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że rozpylacz silnika zasilanego paliwem z dodatkiem katalizatora Reduxco charakteryzuje się 3 lepszymi (ilościowo lub jakościowo) parametrami, niż rozpylacz działający (w zastosowanym teście) na paliwie bazowym. Dotyczy to: procentowego stadku przepustowości otworów rozpylacza po teście badawczym (5% dla paliwa bazowego i tylko 1% dla paliwa testowego), zakoksowanie zewnętrznej części rozpylacza (zdecydowania mniejszego dla przypadku paliwa testowego) oraz jakości i położenia

strug paliwa opuszczających rozpylacz (opis tego zjawiska zamieszczono w następnym punkcie sprawozdania, ze względu na występującą wówczas analizę zdjęć rozpylaczy).

Podsumowując dane zawarte w tabeli 3 – rozpylacz silnika zasilanego (w specjalnym teście badawczym) paliwem testowym – olejem napędowym z dodatkiem katalizatora Reduxco, charakteryzuje się mniejszą ilością depozytów zgromadzonych zarówno na jego zewnętrznej powierzchni jak i, co ważniejsze, wewnątrz jego otworów wylotowych. Wynika to najprawdopodobniej nie tyle z własności myjących paliwa testowego (zbyt krótki czas trwania testu), co raczej z mniejszej ilości tworzących się wówczas osadów stałych i półpłynnych (produktów niecałkowitego spalania paliwa), w czasie procesu spalania tego paliwa w porównaniu z paliwem bazowym. Potwierdzają to badania przeprowadzone wcześniej w Politechnice Krakowskiej (umowa nr M-04/446/2019/P), z których wynika m.in., że katalizator Reduxco dodawany do paliwa zmniejsza emisję cząstek stałych (PM) w spalinach silnika nawet o 30% i zadymienie spalin do 50%, w porównaniu z wartościami uzyskiwanymi dla silnika zasilanego paliwem bez dodatku tego katalizatora.

7. ANALIZA WYGLĄDU ROZPYLACZY PO TEŚCIE ZAKOKSOWANIA

W celu udokumentowania wyglądu zewnętrznego rozpylaczy paliwa po pracy w teście badawczym na paliwie bazowym i paliwie testowym (oraz czystego rozpylacza) zrobiono zdjęcia tych rozpylaczy (oraz ich iglic) aparatem fotograficznym wyposażono w obiektyw do zdjęć makro. Zdjęcia te przedstawiono do porównania zarówno w tabeli 4, jak i na rys. 9-11.


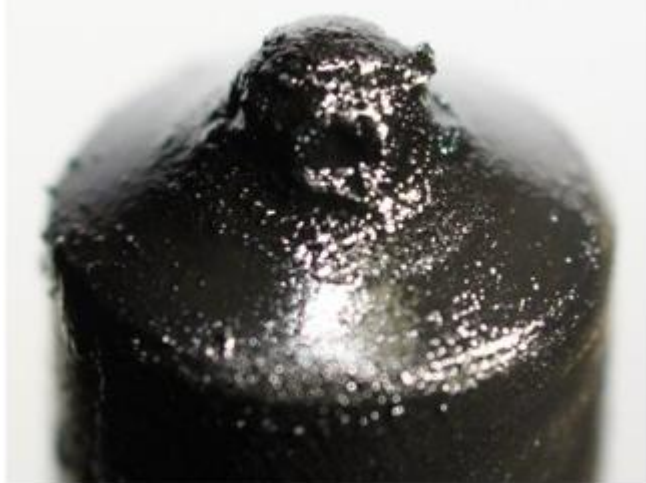




Pomijając zdjęcie i wygląd czystego rozpylacza (rys. 9), wyraźnie widać, że rozpylacz po pracy na samym oleju napędowym – paliwie bazowym (rys. 10) wygląda odmiennie od rozpylacza pracującego na oleju napędowym z dodatkiem katalizatora Reduxco – paliwie testowym (rys. 11). Należy pamiętać, że w warunkach typowej eksploatacji pojazdu z silnikiem o zapłonie samoczynnym, zasilanym olejem napędowym, rozpylacz nie będzie wyglądał tak jak na zdjęciu z rys. 10. Stosowany w badaniach test zakoksowania rozpylacza został tak zaprojektowany, aby ekstremalnie uwypuklić warunki tworzenia się osadów wewnątrz cylindra silnika (i na rozpylaczu). Warunki te są efektem zarówno spalania niecałkowitego heterogenicznej mieszaniny paliwowo-powietrznej w szerokim spektrum wartości współczynnika nadmiaru powietrza λ (jądro strugi paliwa: $\lambda=0$, okolice ścianki cylindra: λ wynosi nieskończoność), krakingu chemicznego i termicznego (podczas bardzo dużego obciążenia silnika – które w stosowanym teście zakoksowania rozpylaczy trwa dwa razy po 2 godziny – lokalnie i chwilowo maksymalna temperatura w okolicach strug palącego się paliwa może wynosić nawet do 3000 K. Rozpylacz paliwa jest jednym z najbardziej obciążonych termicznie elementów konstrukcyjnych silnika. Jednak nawet podczas pełnego obciążenia silnika rozpylacz jest chłodzony przepływającym przez niego paliwem. W teście zakoksowania rozpylaczy (rys.7), po 2 godzinach prawie pełnego obciążenia silnika, następuje natychmiastowe zatrzymanie silnika. W tych warunkach, paliwo, które zatrzymuje się i pozostaje w otworach wylotowych rozpylaczy, studziencie rozpylacza oraz w mniejszym stopniu na części prowadzącej iglicy rozpylacza, ulega bardzo wzmożonemu krakingowi termicznemu – ciekłe paliwo węglowodorowe ulega rozpadowi na ciało stałe: nagar, osady lakowe i pozostałe depozyty, które widać na zdjęciu rozpylaczy po teście zakoksowania. W warunkach przeprowadzonego testu zakoksowania rozpylaczy celowo nie dopuszcza się do tzw. samooczyszczania się rozpylaczy paliwa, po to, aby ocenić skłonność paliwa do tworzenia się osadów. Po tym teście, wizualnie widać, chociażby porównując widok ogólny rozpylacza pracującego na paliwie bazowym (rys.10) i na paliwie testowym (rys.11), że paliwo testowe – olej napędowy z katalizatorem Reduxco – jest mniej skłonne do tworzenia depozytów wewnątrz cylindra silnika i co za tym idzie na rozpylaczu. Koresponduje to z mniejszą wówczas emisją cząstek stałych i mniejszym zadymieniem spalin, co jak wspomniano wcześniej, określono w badaniach objętych umową nr M-04/446/2019/P realizowaną nieco wcześniej w Politechnice Krakowskiej.

Ostatnia, jednak niezwykle istotna kwestia, którą należy poruszyć podczas analizy wizualnej rozpylaczy po teście zakoksowania, to zmiana geometrii otworów wylotowych wskutek wytworzonego nagaru. W tabeli 4, widać, że średnica zewnętrzna otworu wylotowego rozpylacza, który pracował w teście na paliwie bazowym, paradoksalnie wydaje się być większa (w płaszczyźnie zdjęcia) niż średnica otworu w czystym rozpylaczu. Dokładniej widać to na rys.9 (czysty rozpylacz) i na rys.10 (rozpylacz po pracy na paliwie bazowym). Oczywiście paliwo nie mogło zwiększyć w czasie pracy wtryskiwacza średnicy otworu wylotowego rozpylacza. To, co widać na zdjęciu, to nie otwór wylotowy rozpylacza, tylko otwór narośniętego depozytu w kształcie ściętego stożka, który tworzył się na zewnętrznej powierzchni strugi wtryskiwanego paliwa, tuż przy powierzchni otworu rozpylacza. W płaszczyźnie prostopadłej do zdjęcia (rys.10) widać wyraźnie, że od powierzchni rozpylacza, w miejscu występowania otworu wylotowego, utworzyła się z nagaru powiększająca się na zewnątrz struktura przypominająca trąbkę. Zjawisko to jest niezwykle szkodliwe, ponieważ:

1. pogarsza jakość i równomierność rozpylenia paliwa, co wpływa negatywnie na skład spalin (głównie emisję cząstek stałych (PM) i węglowodorów (HC) w spalinach oraz na sprawność procesu spalania),
2. zwiększa opory wypływu paliwa (m.in. ze względu na dużą chropowatość), co może zwiększyć ciśnienie wtrysku paliwa i doprowadzić do wzrostu zasięgu strugi paliwa. W skrajnym przypadku czoło strugi paliwa może wówczas uderzać w ścianki komory spalania, co jest sytuacją wzmagającą emisję PM i HC w spalinach silnika oraz wpływa negatywnie na sprawność procesu spalania w silniku,
3. zmniejsza kąt stożka rozpylonej strugi paliwa, co prowadzi do wzrostu zasięgu czoła wtryskiwanej strugi paliwa i może doprowadzić do mechanizmu opisanego w poprzednim punkcie.

W przypadku rozpylacza pracującego w teście zakoksowania na paliwie testowym (olej napędowy + katalizator Reduxco) nie obserwuje się tworzenia aż tak dużej ilości depozytów na zewnętrznej części rozpylacza, jak dla zasilania silnika paliwem bazowym. Szczególnie istotne jest, że nie została zmieniona geometria otworów wylotowych rozpylacza paliwa i nie wytworzyły się dodatkowe struktury z depozytów, które obserwowano dla rozpylacza pracującego z paliwem bez dodatku Reduxco i które pogarszają proces wtrysku, rozpylenia i poprawnego spalania paliwa według mechanizmu opisanego wcześniej w punktach 1-3.

Tabela 4. Widok rozpylaczy i iglic rozpylaczy przed i po teście zakoksovania

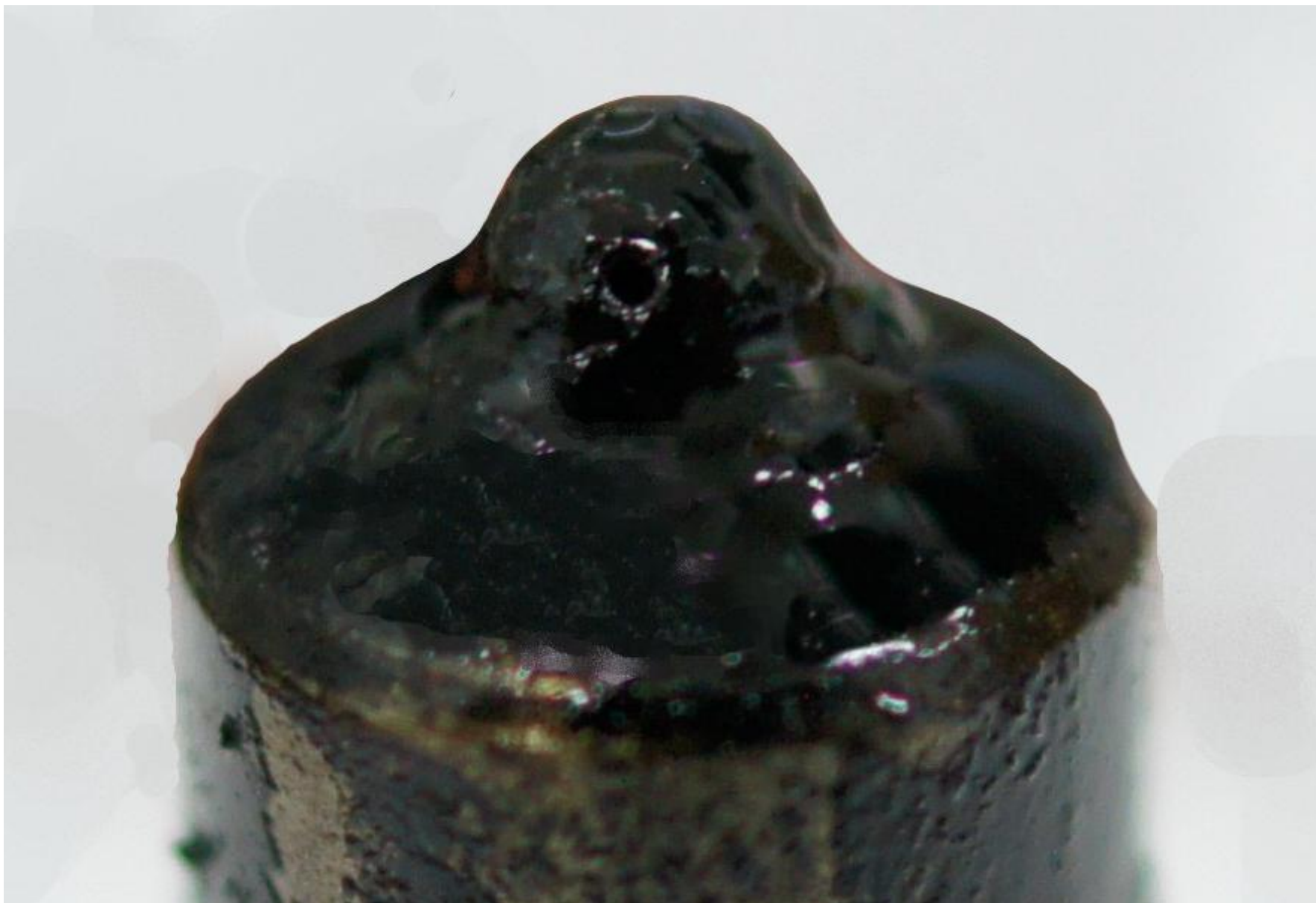
CZYSTY ROZPYLACZ	OLEJ NAPĘDOWY	OLEJ NAPĘDOWY + REDUXCO
		
		
220 [l/min]	209 [l/min]	218 [l/min]
PRZEPUSTOWOŚĆ OTWORÓW WYLOTOWYCH ROZPYLACZA		



Rys. 9. Czysty rozpylacz paliwa (otwory wylotowe 4 x ϕ 0,35 mm) – powiększenie 23x



Rys.10. Mokry rozpylacz po teście zakoksowania – olej napędowy BEZ REDUXCO



Rys.11. Mokry rozpylacz po teście zakoksovania – olej napędowy + REDUXCO

9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzone badania testu zakoksowania rozpylaczy paliwa, wzbogacone o ocenę przepustowości otworów rozpylacza, zakoksowanie zewnętrznej części rozpylacza, ocenę „spływ” iglicy rozpylacza, ocenę podciekania rozpylacza, ocenę dźwięku podczas rozpylania paliwa na próbniku oraz ocenę jakości i położenia strug paliwa z rozpylacza pozwalają na sformułowanie podstawowych wniosków końcowych:

1. paliwo testowe (olej napędowy z dodatkiem katalizatora Reduxco), stosowane w specjalnym teście zakoksowania rozpylaczy paliwa, wpływało korzystnie na stopień zmniejszenia przepustowości otworów rozpylacza. Procentowy stadek przepustowości otworów rozpylacza po teście badawczym wynosił 5% dla paliwa bazowego i tylko 1% dla paliwa testowego,
2. dodatek katalizatora Reduxco do paliwa spowodował wytworzenie znacznie mniejszej ilości depozytów na zewnętrznej powierzchni rozpylacza paliwa niż w przypadku paliwa handlowego (referencyjnego),
3. spalanie paliwa z dodatkiem Reduxco nie powodowało (jak w przypadku paliwa bazowego w teście zakoksowania) tworzenia się narastających struktur i konglomeratów wokół otworów wylotowych rozpylacza. Dzięki temu nie występuje negatywne zjawisko pogorszenia się procesu rozpylenia paliwa z Reduxco, co jest jedną z przyczyn wzrostu emisji cząstek stałych w spalinach i wzrostu zadymienia spalin,
4. Podsumowując, w badaniach stwierdzono, że katalizator Reduxco, dodawany do konwencjonalnego paliwa (oleju napędowego), powoduje wytwarzanie mniejszej ilości osadów zarówno wewnątrz otworów wylotowych jak i na zewnętrznej powierzchni rozpylacza, w porównaniu z paliwem bez tego katalizatora. Nie jest to tożsame z własnościami myjącymi tego paliwa, dzięki czemu nie ma zagrożenia, że zastosowanie paliwa z Reduxco w silniku z już istniejącymi, nadmiernymi ilościami depozytów wewnątrz cylindra, spowoduje usuwanie konglomeratów tych nagarów, co może być zagrożeniem dla układu TPC (tłok-pierścienie-cylinder).