

Analysis of influence of rapeseed oil and diesel fuel injection pressure on its spraying and combustion process in compression ignition engines

Abstract: The paper contains evaluation of influence of rapeseed oil and diesel fuel injection pressure on its spraying and combustion process in compression ignition engines. The analysis was made as two-stage examinations. In the first stage - visualization examination - effects of the injection pressure of fuels on the macro-parameters of the streams of the sprayed fuels were examined. Having found during the visualization examinations a chance for a possible change in the quality of fuel spraying, "the engine response" to the suggested changes was tested during the engine examinations. The analysis of the obtained results was realized on the basis of a comparison between the toxic compounds and smoke concentration levels while fuelling the engine with bio-fuels. The obtained results were referred to the conventional fuel.

Key words: ecology, unprocessed rapeseed oil, spraying, biofuels combustion, CI engines

Analiza wpływu ciśnienia wtrysku nieprzetworzonego oleju rzepakowego na jego rozpylenie i spalanie w silnikach o zapłonie samoczynnym

Streszczenie: W pracy zawarto ocenę wpływu generowanego ciśnienia wtrysku nieprzetworzonego biopaliwa rzepakowego na jego rozpylenie i spalanie w silnikach o zapłonie samoczynnym. Analiza składała się z dwóch etapów. W pierwszym z nich, na stanowisku do badań wizualizacyjnych, sprawdzano oddziaływanie ciśnienia wtrysku paliw na parametry makrostrukturalne strug rozpylanych paliw. Po stwierdzeniu w etapie badań wizualizacyjnych możliwości zmiany jakości rozpylenia paliw, w fazie badań silnikowych dokonano sprawdzenia „odpowiedzi” silnika na zaproponowane zmiany. Analiza uzyskanych rezultatów zrealizowana została na podstawie porównania poziomów stężeń związków szkodliwych i zadymienia zarejestrowanych przy zasilaniu silnika biopaliwami. Otrzymane wyniki odnoszono do paliwa konwencjonalnego.

Słowa kluczowe: ekologia, nieprzetworzony olej rzepakowy, rozpylenie, spalanie biopaliw, silniki o ZS

1. Wprowadzenie

Przedmiotem przeprowadzonych badań był proces rozpylenia i spalania oleju rzepakowego nieprzetworzonego (OR) i oleju napędowego (ON). Badania składały się z etapu pozasilnikowego, w trakcie którego przeprowadzono wizualizacyjne badania rozpylenia paliw oraz etapu silnikowego, w którym na podstawie pomiarów emisyjnych dokonano sprawdzenia słuszności proponowanych zmian.

Na drodze szczegółowych pomiarów rozpylenia paliwa konwencjonalnego i biopaliw, w etapie pierwszym sprawdzano wpływ ciśnienia wtrysku na:

- zasięgi strug L_s ,
- kąty rozwarcia stożków strug α_s ,
- powierzchnie strug V_s ,
- prędkość rozchodzenia się czoła strug V_{sc} .

Po stwierdzeniu w etapie badań wizualizacyjnych możliwości istotnego zmieniania rozpylenia paliw, w fazie badań silnikowych dokonano sprawdzenia

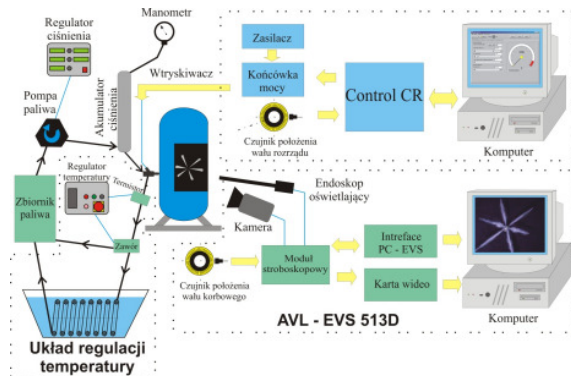
wpływu ciśnienia wtrysku na skuteczność obniżania stężeń wybranych wskaźników emisyjnych powstających przy zasilaniu silnika biopaliwami rzepakowymi.

Ocena uzyskiwanych rezultatów zrealizowana została na podstawie porównania poziomów stężeń związków szkodliwych i zadymienia, otrzymane wyniki odnoszono do paliwa konwencjonalnego. Pomiary wybranych wskaźników ekologicznych przeprowadzono dzięki dwóm analizatorom. Za ich pośrednictwem możliwe było poznanie wartości stężeń podstawowych związków toksycznych w spalinach emitowanych przez silnik oraz ocena zadymienia spalin.

2. Stanowiska badawcze

Pierwszy etap badań, tj. badania wizualizacyjne wtryskiwanych strug paliw, wykonano na specjalnie do tego celu skonstruowanym stanowisku pozasilnikowym. Podczas pomiarów rejestrowano rozpylenie paliw z wtryskiwacza umieszczonego w komorze otwartej, w której panowały warunki otoczenia. Schemat najważniejszych elementów sta-

nowiska przedstawiono na rysunku 1. W badaniach posłużono się m.in. systemem EVS 513D (Engine Video System) wyprodukowanym przez firmę AVL, umożliwiającym rejestrację szybkozmiennych procesów fizycznych, dzięki specjalnie do tego przygotowanej kamerze. Rejestracja zdjęć odbywa się techniką stroboskopową. Oznacza to wykonywanie kolejnych zdjęć po wielu następujących po sobie cyklach wtrysku.



Rys. 1. Schemat stanowiska do badań wizualizacyjnych procesu rozpylenia

Innym istotnym elementem stanowiska badawczego jest system elektronicznego sterowania pracą wtryskiwacza – Control CR. Układ wykorzystany został również w badaniach silnikowych. Kąt wtrysku, czas trwania impulsu elektrycznego otwarcia wtryskiwacza dla poszczególnych części dawek wtryskiwanego paliwa, jak i inne parametry pracy zadawane były za pomocą programu Engine Control, który zainstalowany był w komputerze zarządzającym systemem Control CR.

Do realizacji badań skonstruowano i wykonano mobilny układ z wysokociśnieniową pompą typu Common Rail umożliwiającą osiągnięcie ciśnienia wtrysku rzędu 200 MPa. Zastosowana nowoczesna pompa, była napędzana pasem zębatym za pomocą silnika elektrycznego, którego prędkość obrotowa była regulowana dzięki użyciu falownika prądu przemiennego. System zbudowany został na przenośnym stelażu, co stanowi jego zaletę (możliwość przenoszenia i używania zarówno na stanowisku pozasilnikowym jak i silnikowym).

Sterowanie układem odbywało się dzięki wykonaniu na specjalnie zamówienie, elektronicznemu regulatorowi pracy układu typu common rail. Regulator, w którym zabudowano falownik prądu przemiennego służący do zmiany prędkości obrotowej silnika elektrycznego, posiada możliwość sterowania ciśnieniem wtrysku paliwa. Zadanie jest realizowane na drodze wykorzystania zaworów będących elementem pompy wysokiego ciśnienia oraz akumulatora ciśnienia.

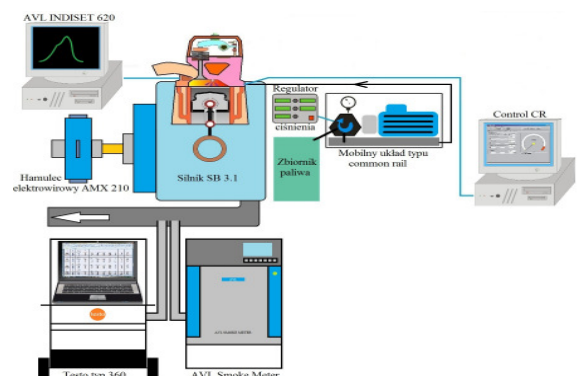
Stanowisko posiada ponadto możliwość regulowania i utrzymywania na stałym poziomie temperatury użytych paliw, co z uwagi na różną ich lepkości stanowiło w trakcie badań istotne zagadnie-

nie. W tym celu wykorzystano termistorowy czujnik temperatury, za którym na przewodzie umieszczony został zawór regulacyjny, pozwalający na kierowanie paliwa w obieg grzany, bądź chłodzony. Sterowanie zaworem na podstawie wskazań termistora odbywało się w sposób automatyczny dzięki specjalnie do tego celu wykonanemu regulatorowi temperatury paliwa.

Drugi etap badań wykonano na silniku badawczym o zapłonie samoczynnym SB 3.1, połączonym z hamulcem elektrowirowym AMX 210. Wykonano pomiary stężeń toksycznych związków spalin i zadymienia. Stanowisko silnikowe składa się z następujących elementów:

- silnika badawczego SB 3.1 z hamulcem elektrowirowym AMX 210,
- mobilnego układu z wysokociśnieniową pompą typu common rail,
- elektronicznego systemu Control CR,
- systemu AVL INDISET 620 do rejestracji ciśnień szybkozmiennych,
- analizatorów spalin: Testo typ 360, AVL Smoke Meter 415S.

Schemat najważniejszych części stanowiska przedstawiono na rysunku 2. Konstrukcja silnika bazuje na częściach pochodzących z silnika SW 680, tj.: łożek z pierścieniami i sworzniem tłokowym, korbowód z panewką, tuleja cylindrowa, zawory i ich napęd, wtryskiwacz i inne. W badaniach wykorzystano mobilny układ typu Common Rail, wykorzystany również w etapie badań pozasilnikowych. Do sterowania pracą wtryskiwacza posłużono się układem Control CR, wykorzystanym również w etapie wcześniejszym.



Rys.2. Schemat najważniejszych elementów stanowiska do badań silnikowych

W związku z tym, że w wykorzystanym systemie Control CR istnieje możliwość wtryskiwania dawki paliwa w dowolne położenie wału korbowego, należało monitorować przebieg ciśnienia gazów w cylindrze roboczym p_{cyl} pracującego silnika. Do zrealizowania zadania użyty został układ pomiarowy szybkozmiennych wielkości silnikowych i system akwizycji danych. Pomiary indykatorowe przeprowadzono z wykorzystaniem systemu pomiaro-

wego AVL INDISET 620, dzięki któremu monitorowano ciśnienie gazów w cylindrze silnika p_{cyl} , ciśnienie paliwa przed wtryskiwaczem p_w , wartość natężenia prądu sterującego pracą wtryskiwacza (określającego czas jego otwarcia t_{otr} .)

Do pomiaru stężeń znajdujących się w spalinach szkodliwych składników wykorzystano analizator firmy Testo typ 360. Do pomiaru tlenku węgla, dwutlenku siarki, tlenków azotu zastosowano w tym urządzeniu analizator amperometryczny [1]. Do pomiaru dwutlenku węgla – analizator NDIR. Do pomiaru tlenu – analizator galwaniczny. Do pomiarów węglowodorów – analizator wykorzystujący zmianę rezystancji opornika pokrytego katalizatorem.

W celu pomiaru stopnia zaczernienia spalin, w urządzeniu AVL Smoke Meter 415S wykorzystano metodę filtracyjną pomiaru zadymienia. Z uwagi na swoją uniwersalność, szybką dostępność wartości uzyskiwanych przez silnik poziomów dymienia oraz relatywnie niski koszt pomiaru, metoda ta jest skuteczna i bardzo łatwa do zastosowania w emisyjnych badaniach silnikowych.

Zarówno w etapie pozasilnikowych badań wizualizacyjnych, jak i w etapie silnikowym, wykorzystano wtryskiwacz elektromagnetyczny typu common rail produkcji Bosch o symbolu 0 445 110 131.

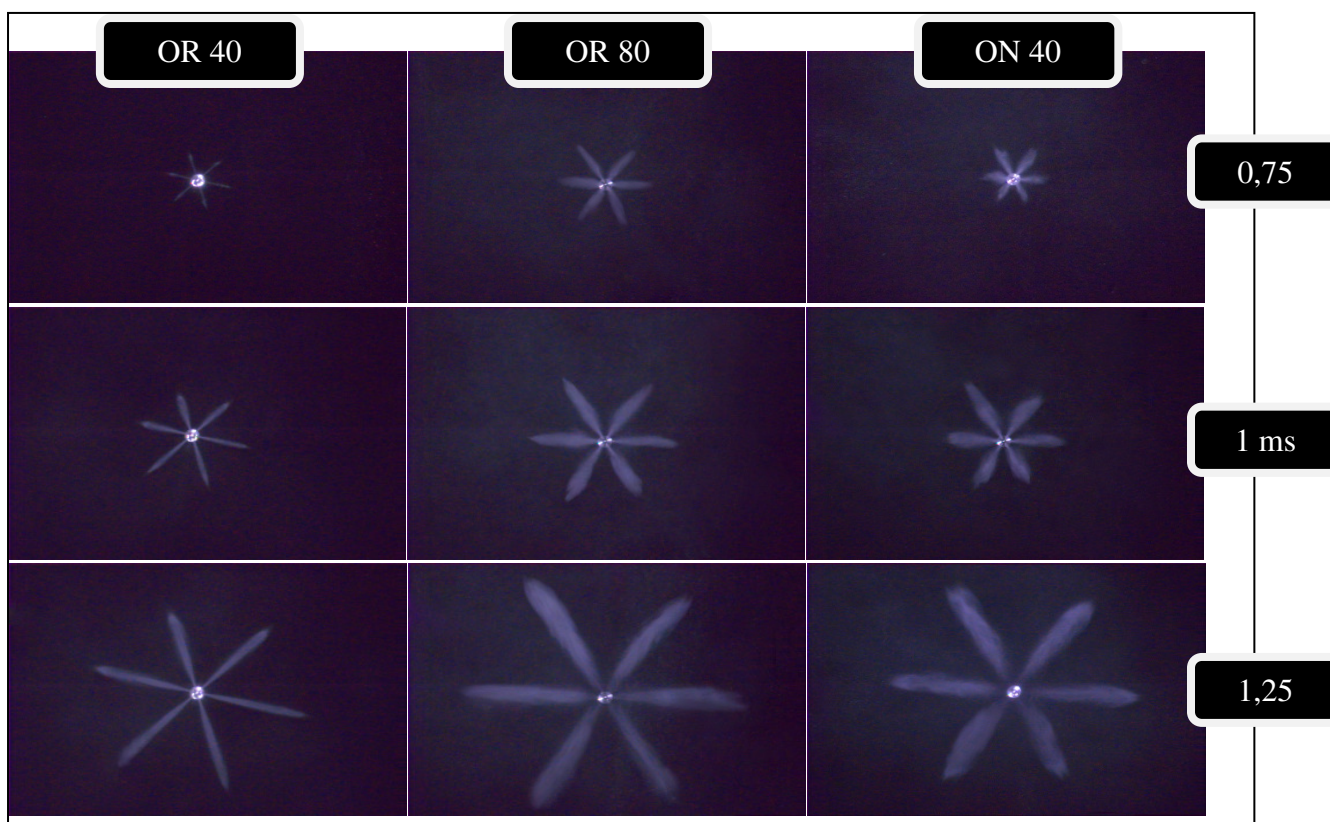
3. Wyniki badań - etap pozasilnikowy

W przeprowadzonej analizie podjęto ocenę dwóch aspektów. W pierwszym z nich należało wziąć pod uwagę wpływ wartości ciśnienia, w drugim natomiast wpływ rodzaju wykorzystanego paliwa na osiągane parametry rozpylanych strug. Wnioskowanie odbywało się przez łączenie ze sobą dwóch powyższych aspektów.

Z uwagi na różną gęstość obu wykorzystanych paliw, dokonano zróżnicowania ich czasów wtrysku tak, by zachować stałą wartość dawki paliwa wtryskiwanej na cykl. W etapie badań pozasilnikowych ustalono stałą wartość temperatury każdego z paliw – $T_{wtr} = 55^{\circ}\text{C}$.

Wartości ciśnień wtrysku generowane podczas badań wynosiły dla każdego z paliw $p_{wtr} = 40, 80$ MPa. Wytypowane wartości ciśnień odpowiadają wartościom wtrysku generowanym przez czterocylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym podczas jego pracy na biegu jałowym oraz przy średnich obciążeniach.

Przed szczegółową analizą uzyskanych fotografii, przeprowadzoną w programie PatEV [2], porównano między sobą nieobrobione zdjęcia. Na rysunku 3 przedstawiono zestawienie zdjęć wykonanych dla paliw pod różnym ciśnieniem w 3 fazach wtrysku, z czego każdy z rzędów przedstawia



Rys. 3. Rozprzestrzenianie się pod różnym ciśnieniem OR (lewa kolumna – 40 MPa, środkowa kolumna – 80 MPa) i ON (prawa kolumna – 40 MPa)

zdjęcia wykonane przy 0,75 1,00 i 1,25 ms po wysłaniu impulsu sterującego do wtryskiwacza. Lewa kolumna przedstawia zdjęcia strug wykonane dla oleju rzepakowego pod ciśnieniem 40 MPa, środkowa dla oleju rzepakowego pod ciśnieniem 80 MPa, natomiast w kolumnie prawej zaprezentowano zdjęcia oleju napędowego wykonane pod ciśnieniem 40 MPa.

Strugi oleju rzepakowego wtryskiwane pod ciśnieniem 40 MPa charakteryzuje występowanie opóźnienia wtrysku w stosunku do strug ON wtryskiwanego pod tym samym ciśnieniem. Opóźnienie to, stwierdzone na podstawie porównania czasów w jakich pojawiały się strugi paliw, wynosiło ok. 0,3 ms w stosunku do oleju napędowego i rzutowało na cały proces rozpylenia. Warto zwrócić uwagę na to, że zdjęcia obu paliw wykonane są w takim samym okresie czasu od wysłania impulsu sterującego uniesieniem iglicy. Strugi oleju rzepakowego byłyby dłuższe od strug oleju napędowego, gdyby zdjęcia zostały wykonane po takim samym czasie od chwili pojawienia się jednego i drugiego paliwa w kanałkach wylotowych rozpylacza. Nie uwzględniono by tym samym dłuższego czasu tłoczenia oleju rzepakowego związanego z jego większą lepkością i ściśliwością.

Duża lepkość paliw roślinnych powoduje zwiększanie się oporów przepływu paliwa, m.in. przez przewody wtryskowe oraz kanałki wtryskiwacza. Tłoczenie paliw rzepakowych skutkuje również wzrostem oporów ruchu poruszających się elementów układu zasilania, takich jak np. iglice rozpylaczy. Zjawiska te są prawdopodobną przyczyną występowania opóźnienia w początku wtrysku.

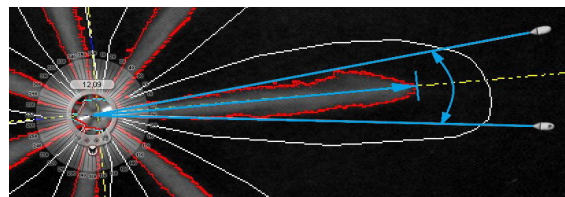
Podczas przeprowadzonych prób wykazano, że wartość opóźnienia może ulegać zmianie w zależności od ciśnienia. Z porównania zdjęć oleju rzepakowego widać, że w każdej z faz wtrysku strugi wytwarzane pod wyższym ciśnieniem cechuje większy zasięg oraz większy kąt rozwarcia stożków strug. Spowodowane jest to m.in. przyspieszeniem początku wtrysku występującym przy wyższych ciśnieniach. Strugi biopaliwa wtrysnięte pod wyższym ciśnieniem są ponadto dłuższe od strug oleju napędowego rozpylonego pod ciśnieniem 40 MPa.

Przeprowadzona analiza zdjęć jest zbieżna ze szczegółowymi pomiarami parametrów makrostrukturalnych.

Obraz (zbiór pikseli) rejestrowany jest przez kamerę i charakteryzuje się trzema podstawowymi parametrami, tj. barwą (ang. *hue*), nasyceniem (ang. *saturation*) oraz jasnością (ang. *luminance*). Uważa się, iż natężenie odbitego światła jest proporcjonalne do stężenia paliwa w strudze [3]. W związku z tym, podczas analizy wykonanych zdjęć brano pod uwagę tylko parametr dotyczący luminancji (L). Z tego względu, za pomocą programu PatEV, rozpatrywane fotografie zostały przetransformowane do postaci monochromatycznej, a więc takiej, w której

barwa oraz nasycenie przyjmują wartości zerowe, a jedynym zmiennym parametrem jest luminancja. Założono przy tym, że większe wartości L odpowiadają miejscom, w których mamy do czynienia z większym nagromadzeniem paliwa widocznym na wykonanym zdjęciu.

Pierwszą czynnością zrealizowaną podczas analizy było wydzielenie obszarów zawierających strugi paliwa. Następnie należało tak dobrać zakres parametru L , aby minimum wartości oznaczało granice strugi, natomiast maksimum powodowało pokrycie całej strugi, jednak bez zbytnej nadwyżki. Dobór L_{\min} pozwolił na wyznaczenie konturu poszczególnych strug. Znając granicę tej warstwy można było przystąpić do pomiaru zasięgu L_s oraz kąta rozwarcia stożka α_s każdej ze strug. Zasięg (stopień penetracji) strugi jest to długość strugi w kierunku osiowym [4]. Pomiarów długości strug dokonano mierząc odcinek od otworka rozpylacza do końca strugi, a wyniki tych pomiarów określono w mm. Kąt rozwarcia stożka strugi α_s , czyli kąt wierzchołkowy strugi kropel [4] zmierzono przy użyciu programu Screen Protractor a otrzymane wyniki podano w stopniach. Na rysunku 4 przedstawiono sposób pomiaru opisanych parametrów.



Rys. 4. Sposób pomiaru (błękitna linia) zasięgu strugi L_s i kąta stożka rozpylenia α_s

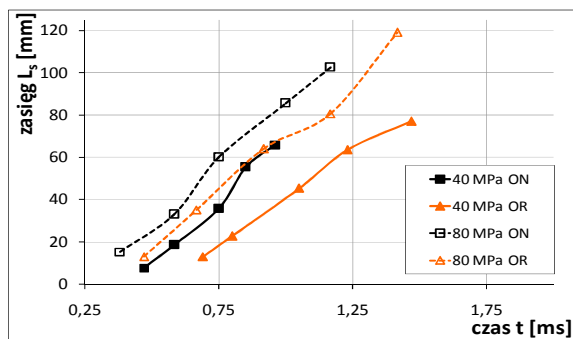
Ocena poszczególnych zdjęć miała charakter porównawczy. Pomiaru parametrów makrostrukturalnych dokonano dla każdej z sześciu strug, w każdej z siedmiu badanych mieszanin. Strugi paliw porównywano na zdjęciach odpowiadających jednakowym parametrom wtrysku (ciśnienie wtrysku p_{wtr}) oraz przy porównywalnych fazach wtrysku reprezentowanych czasem mierzonym od wysłania impulsu sterującego uniesieniem iglicy.

Na przebieg jednego wtrysku składa się sekwencja zdjęć uzyskiwanych z krokiem równym ok. 0,08 ms. Dla każdego położenia wału pompy zasilającej wykonano trzy powtórzenia, tj. dla każdej fazy wtrysku uzyskano po cztery zdjęcia. W rezultacie, dla jednego przebiegu wtrysku w zależności od rodzaju zastosowanego paliwa (różny czas wtrysku) uzyskiwano ok. 70 zdjęć.

Z zarejestrowanych zdjęć w następnym kroku wybrano te, które zostały poddane analizie; rozpatrywano 5 punktów pomiarowych każdego z wtrysków paliw. Nie analizowano zdjęć strug zarejestrowanych tuż po rozpoczęciu wtrysku, ponieważ w początkowej fazie wtrysku tj. fazie tworzenia się strugi, trudno byłoby zmierzyć ich parametry fizyczne. W związku z powyższym, ocenie poddano

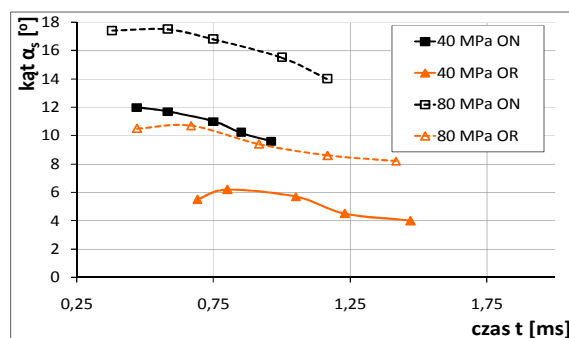
zdjęcia po czasie ok. 0,1 ms od ukazania się paliwa wypływającego z rozpylacza. Dopiero od tej chwili wyraźnie można było wydzielić obszar zajmowany przez poszczególne strugi; zarejestrowane cztery zdjęcia (powtórzenia) stanowiły pierwszy punkt pomiarowy. Ostatni punkt pomiarowy stanowiły cztery zdjęcia zarejestrowane po zaniknięciu paliwa przy rozpylaczu, czyli w chwili zablokowania kanałików przez iglicę. Punkty pomiarowe pośrednie (drugi, trzeci i czwarty) dobrano dzieląc na 4 porównywalne części zakres czasowy pomiędzy pierwszym a ostatnim punktem pomiarowym. Łącznie z powtórzeniami wykonanymi dla każdej fazy wtrysku uzyskano do analizy każdego z procesów wtrysku 20 zdjęć.

Na rysunku 5 przedstawiono zmiany zasięgu w funkcji czasu wykonane dla ocenianych paliw pod różnym ich ciśnieniem. Strugi przy wyższych ciśnieniach były dłuższe w każdej z badanych faz wtrysku, a tendencja ta zauważalna była zarówno dla ON jak i OR. Dwukrotny wzrost ciśnienia przekładał się na około dwukrotne zwiększenie średnich zasięgów czoła strugi. Biorąc pod uwagę rodzaj paliwa, dłuższymi strugami cechował się olej rzepakowy. Średnia długość jego strug w stosunku do średniej długości strug paliwa konwencjonalnego była o około 15% większa. Analiza wykresu potwierdza również ustawione w aparaturze sterującej różnice w czasach wtrysku. Zauważyć można, że im gęstsze paliwo tym jego wtrysk trwał dłużej.



Rys. 5. Zmiana zasięgu strugi L_s analizowanych paliw w funkcji ich czasu wtrysku t zrealizowana pod różnymi ciśnieniami

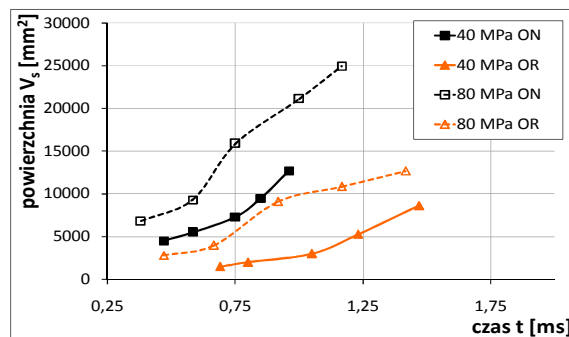
Zależność ta jest również możliwa do zaobserwowania przy porównaniu kątów rozwarcia stożków strug paliw wtryskiwanych pod różnym ciśnieniem (rys. 6). Zarówno przy niższych jak i wyższych ciśnieniach wtrysku, stopień rozwarcia stożków strug zależał od rodzaju użytego paliwa. Najszersze strugi tworzone były przez olej napędowy, najwęższe natomiast były strugi OR. Zauważono również, że w miarę postępowania wtrysku kąty strug ulegały nieznacznemu zmniejszeniu.



Rys. 6. Zmiana kąta stożków strug α_s analizowanych paliw w funkcji ich czasu wtrysku t zrealizowana pod różnymi ciśnieniami

Przeprowadzona analiza dowodzi, że strugi stają się szersze, gdy paliwo wtryskiwane jest pod wyższym ciśnieniem. Dwukrotne zwiększenie generowanego ciśnienia powodowało, że średnie kąty stożków strug miały od 30 do 50% wyższe wartości. Efekt wyższego ciśnienia pozwolił na osiąganie przez OR parametrów zbliżonych do strug ON generowanych przy niższym ciśnieniu.

Zaobserwować można ponadto, podobnie jak w przypadku porównania zasięgów, że punkty pomiarowe paliw wtryskiwanych pod wyższym ciśnieniem przesunięte są na wykresie w lewo. Świadczy to o przyspieszeniu występowania początku wtrysku, które widoczne było również na ostatniej charakterystyce dotyczącej porównania powierzchni strug (rys. 7).

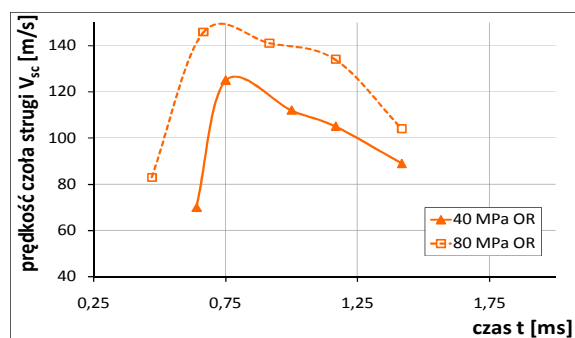


Rys. 7. Zmiana powierzchni strug V_s analizowanych paliw w funkcji ich czasu wtrysku t zrealizowana pod różnymi ciśnieniami

Bez względu na wartość ciśnienia wtrysku, największymi strugami charakteryzowało się paliwo konwencjonalne, najmniejszymi zaś – olej rzepakowy nieprzetworzony. Zgodnie z przewidywaniami, w miarę wzrostu ciśnienia paliw rośnie objętość ich strug. Wyższe ciśnienie pozwalało, w zależności od paliwa, na średnio dwukrotne zwiększenie powierzchni strug. Strugi oleju rzepakowego wtryskiwanego pod wyższym ciśnieniem mają podobną objętość do strug oleju napędowego wtryskiwanego pod ciśnieniem 40 MPa.

Zwiększenie powierzchni związane jest niewątpliwie z innymi parametrami makrostrukturalnymi. Dłuższy zasięg strug wpływających pod wyższym

ciśnieniem powodowany był najprawdopodobniej zwiększoną prędkością wypływu paliwa z wtryskiwacza. Na rysunku 8 przedstawiono porównanie prędkości wypływu oleju rzepakowego pod rozpatrywanymi wartościami ciśnień. Wyższe wartości ciśnienia, w każdym etapie wtrysku prowadziły do zwiększania prędkości propagacji czoła strugi w stosunku do wtrysku paliwa pod niższym ciśnieniem. Analiza wykazuje, że prędkość propagacji czoła strugi generowanej pod wyższym ciśnieniem, po początkowym znacznym przyroście zaczyna maleć. Wnioskować zatem można, że cząstki paliwa wtryskiwane przez rozpylacz mające w początkowej fazie dużą prędkość, w miarę postępowania



Rys. 8. Zmiana prędkości czoła strugi V_{sc} OR wypływającego z wtryskiwacza pod różnym ciśnieniem

wtrysku są rozbijane na mniejsze krople. Skutkuje to również zmniejszaniem ich masy, wyhamowaniem i wypychaniem na zewnątrz strugi (wzrost kąta stożka strugi). Zaobserwowany dłuższy zasięg strug z punktu widzenia jakości rozpylenia jest zjawiskiem niekorzystnym, jednocześnie jednak jego występowanie wiąże się ze zwiększoną powierzchnią strugi i prawdopodobnie mniejszymi kroplami paliwa w niej występującymi, co uznać należy za cechy pożądane.

Podsumowując wyniki badań opisane w niniejszym podrozdziale stwierdzić należy, że podwyższenie ciśnienia wtrysku w istotny sposób poprawiało rozpylenie obu paliw. Zasięg strug był co prawda dłuższy, równocześnie jednak strugi były znacznie szersze i większe. Strugi OR tworzone pod ciśnieniem 80 MPa miały podobne parametry do strug ON pod ciśnieniem 40 MPa. Prędkość czoła strug wypływających pod wyższym ciśnieniem była wyższa w stosunku do prędkości strug przy ciśnieniu 40 MPa.

Istotnie pozytywnym aspektem rozpylenia pod wyższym ciśnieniem było zmniejszenie negatywnego opóźnienia początku wtrysku biopaliw – wtrysk OR pod wyższym ciśnieniem następował w tym samym czasie co wtrysk paliwa konwencjonalnego przy ciśnieniu niższym.

4. Wyniki badań - etap silnikowy

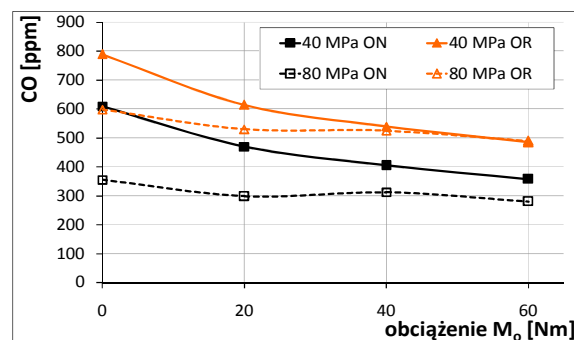
Drugą część badań stanowiły badania silnikowe polegające na pomiarach stężeń związków toksycznych i zadymienia spalin tworzonych przy zasilaniu

paliwem konwencjonalnym i olejem rzepakowym wtryskiwanych pod różnym ciśnieniem. Otrzymane wyniki porównywano z wynikami badań wizualizacyjnych.

Prędkość obrotowa wału korbowego wynosiła w zależności od wartości ciśnienia 1500 i 2000 obr/min, co odpowiadało wartościom osiąganym przez czterocylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym podczas jego pracy przy średnich obciążeniach. Przy stałych prędkościach obrotowych wału korbowego silnika wykonano charakterystykę obciążeniową, przedstawiającą stężenia wybranych związków szkodliwych emitowanych podczas spalania omawianych paliw w funkcji obciążenia M_o . Zakres uzyskiwanych obciążeń z krokiem pomiarowym co 20 wynosił od 0 do 60 Nm.

Podobnie jak w badaniach pozasilnikowych wtrysk paliw odbywał się pod ciśnieniem 40 i 80 MPa. Parametry pracy silnika ustawiono zgodnie z tymi, jakie zostały uzyskane podczas badań wizualizacyjnych (różnicowano tym samym czasy wtrysku w zależności od rodzaju paliwa).

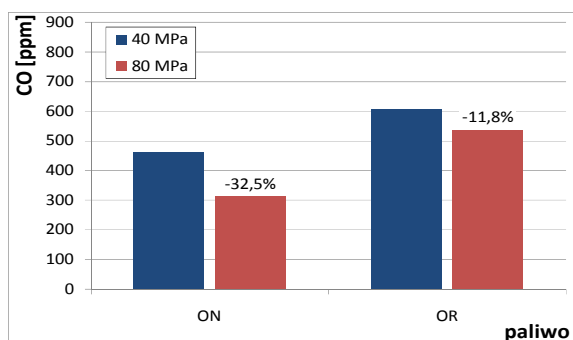
W przypadku zmiennych wartości ciśnień wtrysku paliw, powtarzające się różnice zauważono w stężeniach tlenku węgla, którego poziomy spadały w miarę zwiększania się obciążenia silnika (rys. 9).



Rys. 9. Zmiana stężenia CO, emitowanego przez olej napędowy i biopaliwo wtryskiwane pod różnym ciśnieniem, w funkcji obciążenia silnika

Dla obu przyjętych wartości ciśnień większe o nawet 50% w stosunku do ON stężenia występowały w przypadku zastosowania oleju rzepakowego nieprzetworzonego.

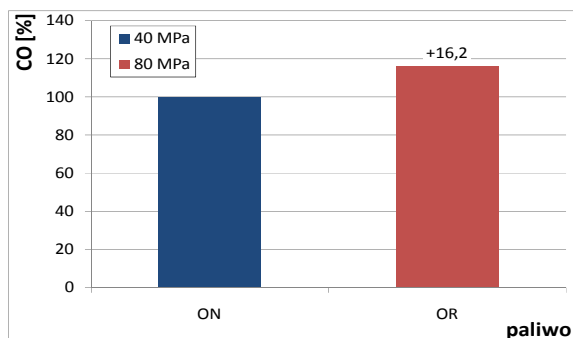
Obniżenie stężeń emitowanego tlenku węgla możliwe było ze względu na występującą przy wyższych ciśnieniach wtrysku poprawę jakości rozpylenia, przejawiającą się lepszym wymieszanym paliwa z powietrzem. Tendencja taka występowała w obu analizowanych paliwach. Na podstawie wyliczenia średniego stężenia CO udowodniono, że wtrysk oleju napędowego pod ciśnieniem 80 MPa pozwolił na redukcję CO o ok. 32,5%, w stosunku do średniego stężenia występującego przy niższym ciśnieniu wtrysku (rys.10). Analogiczny spadek dla OR wyniósł ok. 11,8%.



Rys. 10. Porównanie średniego stężenia CO emitowanego przez silnik zasilany olejem napędowym i biopaliwem wtryskiwanymi pod różnym ciśnieniem

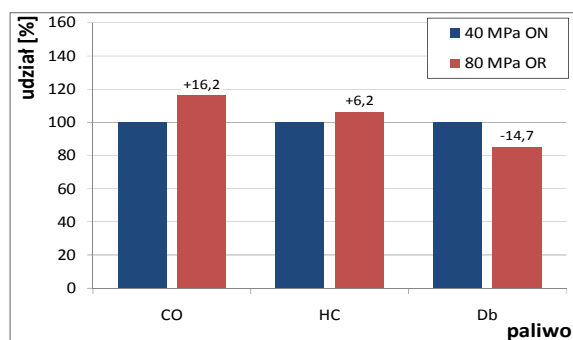
Ilość wyemitowanego tlenu węgla przy zasilaniu silnika biopaliwem wtryskiwanym pod ciśnieniem 80 MPa zestawiona została na rysunku 11 ze stężeniem CO tworzoną przy zasilaniu silnika olejem napędowym wtryskiwanym pod ciśnieniem 40 MPa. Z wykresu wynika, że biopaliwo osiągało wyższy o ok. 16,2% poziom stężenia CO w porównaniu do ON pod ciśnieniem 40 MPa.

Przedstawiona na rysunkach 9 – 11 analiza przeprowadzona została również dla pozostałych związków szkodliwych oraz zadymienia tworzonych przy zasilaniu silnika olejem napędowym i biopaliwem rzepakowym. W przypadku użycia pod



Rys. 11. Porównanie względnego średniego stężenia CO emitowanego przez silnik zasilany biopaliwem pod ciśnieniem 80 MPa, w odniesieniu do względnego średniego stężenia CO emitowanego przez silnik zasilany olejem napędowym pod ciśnieniem 40 MPa

wyższym ciśnieniem zarówno ON jak i biopaliwa, zaobserwowano zmniejszenie stężeń węglowodorów. Inną odnotowaną korzystną cechą było zmniejszenie zadymienia. Dla tlenków węgla nie stwierdzono powtarzających się cyklicznie zmian. Z uwagi na ograniczoną objętość pracy wyniki postanowiono przedstawić w formie analizy względnej, której przykładem jest wykres przedstawiony na rysunku 11. Analiza ta pozwalała stwierdzić poprawę poziomu stężenia HC oraz zadymienia emitowanych pod wyższym ciśnieniem wtrysku OR, w stosunku do stężenia HC oraz zadymienia emitowanego pod ciśnieniem niższym przy spalaniu ON.



Rys. 12. Porównanie względnego średniego zadymienia, stężenia CO i HC emitowanego przez silnik zasilany biopaliwem pod ciśnieniem 80 MPa, w odniesieniu do względnego średniego zadymienia, stężenia CO i HC emitowanego przez silnik zasilany olejem napędowym pod ciśnieniem 40 MPa

Porównanie względnych wartości analizowanych parametrów emisyjnych (CO, HC i Db) w przypadku silnika zasilanego biopaliwami pod ciśnieniem 80 MPa, w odniesieniu do względnych wartości analizowanych parametrów w przypadku silnika zasilanego ON pod niższym ciśnieniem przedstawiono na rysunku 12.

Na podstawie przeprowadzonej analizy wykazano, że biopaliwo wtryskiwane pod wyższym ciśnieniem cechuje nieznacznie (ok. 6,2%) wyższe stężenie HC, w stosunku do „tła” pomiaru, tj. stężenia węglowodorów otrzymanego ze spalania oleju napędowego pod ciśnieniem wtrysku 40 MPa. Analizując zadymienie paliw wykazano, że w przypadku biopaliwa wartości względnego średniego zadymienia były niższe o ok. 14,7% w stosunku do zadymienia powstałego przy wtrysku ON pod ciśnieniem 40 MPa.

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań wpływu ciśnienia wtrysku na poziomy uzyskiwanych stężeń związków toksycznych i zadymienia stwierdzić należy istnienie pewnych zależności pomiędzy wynikami pomiarów rozpylenia i wynikami przeprowadzonymi na stanowisku silnikowym. Zaobserwowany na rzeczywistym obiekcie korzystny wpływ wyższego ciśnienia wtrysku, przejawiający się występowaniem pożądanych wyników pomiarów emisyjnych, wiąże się z jakością rozpylenia paliw, cechującą się pod wyższym ciśnieniem przede wszystkim większą objętością i jednorodnością rejestrowanych strug.

Wygenerowanie wyższego ciśnienia wtrysku spowodowało w obu paliwach zmniejszenie stężenia CO i HC, jak również redukcję zadymienia. Intensywność zmian zależała od rodzaju użytego paliwa – lepsze efekty uzyskano w przypadku zasilania silnika ON.

Wykorzystana metoda badawcza pozwala na ograniczanie kosztownych badań silnikowych na rzecz stosunkowo tanich i relatywnie łatwych do wykonania wizualizacyjnych badań pozasilniko-

wych. Zastosowana koncepcja powinna poprzedzać badania silnikowe, stanowiąc etap weryfikacji wpływu nowego rozwiązania na ekologiczne wskaźniki pracy silnika. Za wadę metody uznać można stosunkowo małą częstotliwość klatkowania kamery. Metodę można wykorzystywać również do

badan silnikowych, jednakże w przypadku dużego zadymienia biopaliw, jej zastosowanie do rejestracji procesu spalania może być kłopotliwe.

Nomenclature/Skróty i oznaczenia

OR Unprocessed Rape Oil /nieprzetworzony olej rzepakowy

PatEV Picture Analysis and Transformation for Engine Video-Observation – numeryczny program do analizy zdjęć procesów silnikowych

Bibliography/Literatura

- [1] Materiały informacyjne firmy AVL.
[2] Wiśłocki K.: Studium wykorzystania badań optycznych do analizy procesów wtrysku i spalania w silnikach o zapłonie samoczynnym. Rozprawa nr 387, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.
[3] Tindal M., Williams T., Harcombe A.: Fuel spray formation in an experimental swirl chamber. SAE paper 870451.
[4] Orzechowski Z., Prywer J.: Rozpylanie cieczy. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1991.

Dr hab. inż. Marek Idzior – profesor nadzw. na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej

Mr Marek Idzior, DSc, DEng. – professor in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology



Dr inż. Wojciech Karpiuk – asystent na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej

Mr Wojciech Karpiuk, Ph.D., Mech. Eng. – doctor in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology



Mgr inż. Maciej Bieliński – doktorant na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej

Mr Maciej Bieliński, MEng. – Postgraduate in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology



Mgr inż. Tomasz Borowczyk – doktorant na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej

Mr Tomasz Borowczyk, MEng. – Postgraduate in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology

