

ZASTOSOWANIE PALIW PROEKOLOGICZNYCH DO ZASILANIA SILNIKÓW SPALINOWYCH

1. Wstęp

Burzliwy rozwój motoryzacji spowodował konieczność ograniczenia jej szkodliwego działania na otoczenie. Związane jest to z coraz ostrzejszymi wymaganiami odnośnie do ochrony środowiska naturalnego. Zaistniała konieczność zastosowania rozwiązań, które dotychczas nie były brane pod uwagę lub były ignorowane i uzyskano zadziwiająco dobre rezultaty przez ich zastosowanie. Trwające trudności paliwowo-energetyczne powodują stałe poszukiwania nowych nośników energii oraz próby ograniczenia jej zużycia, co będzie skutkowało zmniejszeniem szkodliwego oddziaływania na otoczenie.

Wymagania stawiane współczesnym silnikom są często przeciwstawne, co widać wyraźnie jeśli weźmie się pod uwagę stale rosnącą liczbę samochodów i utrudnienia w ruchu z tym związane, a z drugiej zaś strony konieczność ograniczania ilości zużywanego paliwa i wydalanych szkodliwych składników toksycznych spalin do otoczenia [1,2,5]. W odniesieniu do silników zarówno napędzających samochody osobowe jak i ciężarowe sprowadza się to do uwzględnienia trzech najbardziej istotnych czynników:

- małego zużycia paliwa (ekonomiczność pracy),
- niskiej toksyczności spalin,
- dużej elastyczności (dobrych właściwości dynamicznych).

Problem ten najwcześniej został zauważony w odniesieniu do silników samochodów ciężarowych dużej ładowności gdzie ekonomiczność przewozów ma podstawowe znaczenie. Do rozwiązania problemu poprawy ekonomiczności oraz zmniejszenia toksyczności w przypadku tych silników również konieczne było nowe podejście odbiegające od tradycyjnych rozwiązań. O ile chodzi o silniki samochodów ciężarowych były one podatniejsze na spełnienie zaostrożonych wymogów już od lat i w ich konstrukcji dokonał się znaczący postęp wymuszony przez restrykcyjne przepisy z jednej strony oraz konieczność obniżenia kosztów związanych ze zużyciem paliwa z drugiej. Prosto rzecz ujmując im mniejsze będzie zużycie paliwa przez silnik tym globalna ilość toksycznych składników wydalanych przez silnik do atmosfery będzie mniejsza. W ten sposób kluczowym problemem pozwalającym na spełnienie dwóch pierwszych postulatów jest obniżenie zużycia paliwa przez silnik lub wykorzystanie nośników energii dotychczas nie stosowanych lub stosowanych w nieznacznym stopniu. W niniejszym opracowaniu omówione będą problemy związane z zastosowaniem paliw pochodzenia roślinnego oraz gazowego do zasilania silników wysokoprężnych.

2. Rozruch silnika

Przeprowadzone w kraju badania nad pracą silników wysokoprężnych zasilanych olejami pochodzenia roślinnego oraz mieszaninami oleju napędowego i olejów pochodzenia roślinnego wykazały, że parametry operacyjne tak zasilanego silnika ulegają poprawie w stosunku do silnika zasilanego czystym olejem napędowym lub czystym olejem rzepakowym [1,2].

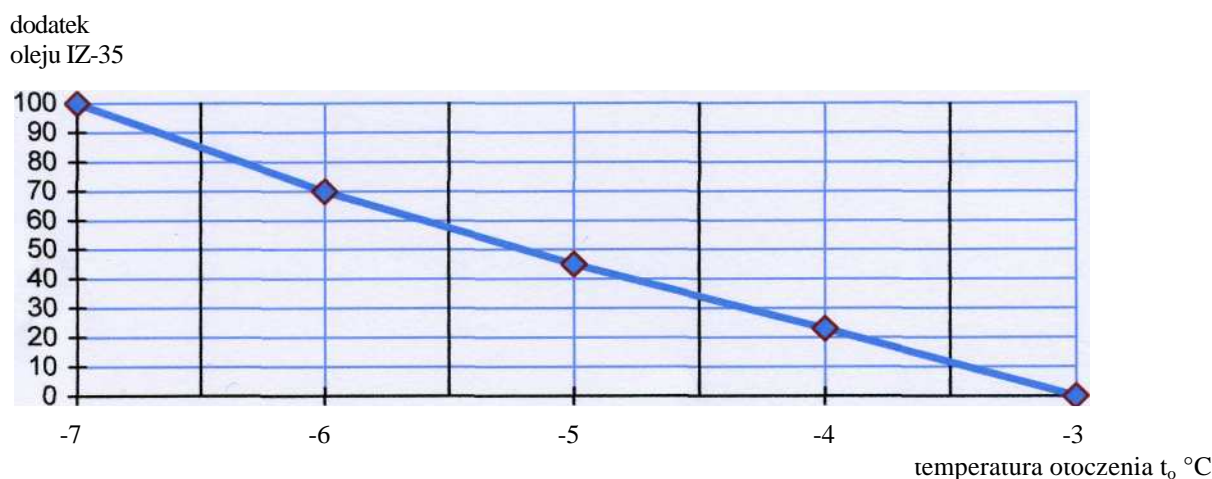
Gęstość obu paliw jest podobna i mieszają się one dobrze w różnych proporcjach. Przy określonej proporcji oleju rzepakowego do oleju napędowego, uzyskiwany jest taki stan, że nowo powstałe paliwo ma jeszcze stosunkowo dużą wartość opałową, zbliżoną do wartości opałowej oleju napędowego i zawiera przy tym tlen związany w grupach wodorotlenowych oleju rzepakowego. Paliwo to spala się zatem pełniej jak sam olej napędowy, a ilość wywiązywanego w tym procesie ciepła przewyższa ilość ciepła powstałą

przy spalaniu czystego oleju napędowego. Powoduje to, że sumaryczna ilość spalonego paliwa jest mniejsza, dlatego maleje zużycie paliwa i pośrednio również emisja składników toksycznych.

Wpływ dodatku oleju napędowego do paliwa pochodzenia rzepakowego na graniczną temperaturę rozruchu silnika wysokoprężnego o wtrysku bezpośrednim przedstawiono na rys. 1.

Widać wyraźnie, że dodatek oleju napędowego wynoszący 70 % objętości całego paliwa, poprawia o 100 % właściwości rozruchowe silnika, przy stosunkowo niewielkim koszcie [2]. O ile problemy z rozruchem na paliwie ekologicznym dostępnym w naszym kraju nie zachęcają do jego stosowania o tyle normalna praca silnika i w tym również doładowanego nie nastęca trudności bo w wysokich temperaturach paliwo to łatwo odparowuje co sprzyja tworzeniu jednorodnej mieszaniny palnej z powietrzem podobnie jak to jest z olejem napędowym.

W Szczecińskiej Akademii Rolniczej opracowano w roku 1995 instrukcję postępowania podczas rozruchu silnika ciągnikowego zasilanego mieszaninami oleju napędowego i estrami kwasowymi oleju rzepakowego [3].



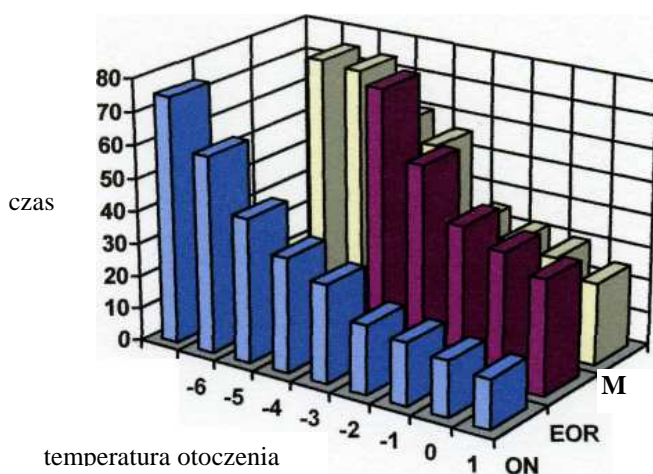
Rys. 1. Wpływ dodatku oleju napędowego na właściwości rozruchowe silnika zasilanego paliwem pochodzenia rzepakowego [3]

W związku z tym narzuca się pytanie, czy również w warunkach rozruchu w niskich temperaturach otoczenia silnik zachowa te korzystne właściwości. Jednocześnie wiadomo, że w silnikach doładowanych, nawet przy zasilaniu olejem napędowym występują trudności podczas rozruchu w niskich temperaturach otoczenia.

Zastosowanie doładowania bezsprężarkowego (dynamicznego) nie powoduje żadnych skutków w zakresie prędkości obrotowych odpowiadających rozruchowi silnika bowiem układ dolotowy silnika dostosowany jest do wywoływania zjawisk falowych przy prędkościach obrotowych w obszarze momentu obrotowego do mocy znamionowej. Silnik w trakcie rozruchu zachowuje się jak normalny silnik wolnossący. Doładowanie mechaniczne również nie powoduje istotnych zmian w pracy silnika przy obrotach rozruchowych i nie wywołuje niepożądanych skutków. Sprężarka podaje co prawda nieco więcej powietrza do silnika, lecz można to skompensować większą dawką paliwa i rozruch nastąpi szybciej.

Dzięki temu negatywne skutki rozruchu polegające na zwiększonym wydalaniu składników toksycznych do atmosfery można zmniejszyć. Podobnie ma się sprawa z doładowaniem typu Complex, które łączy w sobie cechy obydwu omówionych sposobów doładowania [4,5]. Trudności tych nie można pomijać, mając na uwadze fakt że większość silników o zapłonie samoczynnym jest w chwili obecnej produkowana w wersji turbodoładowanej. Mimo dużej dojrzałości technicznej silników oraz turbosprężarek, doładowanie to charakteryzuje się pogorszeniem właściwości rozruchowych silnika w wyniku zwiększe-

nia oporów przepływu powietrza w układzie dolotowym. Opory te zwiększone są dzięki temu, że dopływające powietrze musi przepłynąć przez wirnik sprężarki, nieruchomy, bo silnik na razie nie wytwarza spalin napędzających turbinę. Jednocześnie na pogorszenie właściwości rozruchowych silnika wpływa obniżenie stopnia sprężania w silnikach turbodoładowanych, niezbędne dla uzyskiwania przez te silniki dużej sprawności w rejonie średnich i dużych obciążeń. Kłopoty rozruchowe przy zastosowaniu paliw pochodzenia roślinnego związane są z innym niż w przypadku oleju napędowego położeniem krzywej destylacji, która leży znacznie wyżej niż koniec wrzenia oleju napędowego (348°C), co w powiązaniu z większą lepkością wymaga dla lepszego odparowania znacznie wyższej temperatury w komorze spalania. Z tych powodów właściwości rozruchowe silnika wysokoprężnego z wtryskiem bezpośrednim, zasilanego paliwem pochodzenia rzepakowego (ester metylowy oleju rzepakowego) są gorsze niż przy zasilaniu olejem napędowym, czy też mieszaniną tych paliw [4]. Porównanie tych właściwości przedstawiono na rys. 2.



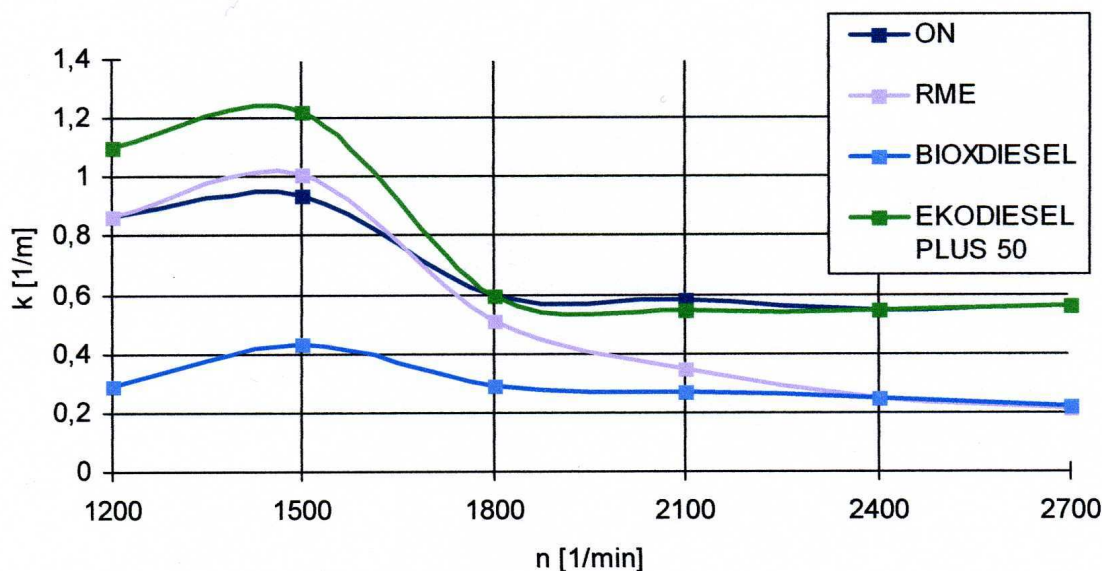
Rys. 2. Charakterystyka rozruchowa silnika S.B. 3.01. zasilanego różnymi paliwami ON - olej napędowy, EOR - ester metylowy oleju rzepakowego, M - mieszanina 40% ON i 60% EOR

Z przytoczonego rysunku widać wyraźnie, że właściwości rozruchowe estru oleju rzepakowego są najslabsze z porównywanych trzech paliw, bo w stosunku do oleju napędowego różnica granicznej temperatury rozruchu wynosi 4° C, a w stosunku do mieszaniny badanych paliw podstawowych 2° C. Jeśli chodzi o temperaturę rozruchu natychmiastowego to zarówno dla mieszaniny paliw jak i czystego estru była ona bardzo wysoka, bo wynosiła 13° C, podczas gdy dla czystego oleju napędowego tylko 9° C. W ujęciu procentowym właściwości rozruchowe silnika przy zasilaniu go estrem oleju rzepakowego są o 57 % gorsze niż silnika zasilanego olejem napędowym. W przypadku mieszaniny 60 % EOR i 40 % ON właściwości te są tylko o 22 % gorsze. Jak widać z przytoczonych wyników badań dodatek oleju napędowego może skutecznie wpływać na poprawę właściwości rozruchowych silnika przy zasilaniu go estrem oleju rzepakowego, a podane proporcje składu mieszaniny (dla których silnik uzyskiwał najlepsze wskaźniki robocze na hamowni) są również do przyjęcia w przypadku oceny jego właściwości rozruchowych.

3. Zadymienie spalin

Paliwa te w postaci oleju rzepakowego lub estru metylowego kwasu tłuszczowego oleju rzepakowego stwarzały nadzieje na znaczną poprawę niektórych parametrów pracy silników [4] przy jednoczesnej ich dostępności (liczne odłogi w Województwie Zachodniopomorskim czekające na zagospodarowanie) mimo tego, że rzepak jest rośliną chimeryczną. Spalanie czystego oleju rzepakowego okazało się sprawą skomplikowaną oraz wymagało zmian w konstrukcji silników. Skupiono się na estrach mimo że dopro-

wadzenie ich do parametrów fizyko-chemicznych zbliżonych do oleju napędowego wymagało dodatkowych zabiegów. W opracowaniu pominięto aspekt psychologiczny i ekonomiczny produkcji tych paliw. Z punktu widzenia technicznego produkty spalania paliw rzepakowych są znacznie mniej toksyczne, bo paliwa te nie zawierają siarki [5,6], a dodatkowe wiązania tlenowe pozwalają na znaczne obniżenie zadymienia spalin, czego dowodem mogą być przeprowadzone badania na silniku wysokoprężnym STAR 359 [7,8], co przedstawiono na rys. 3.

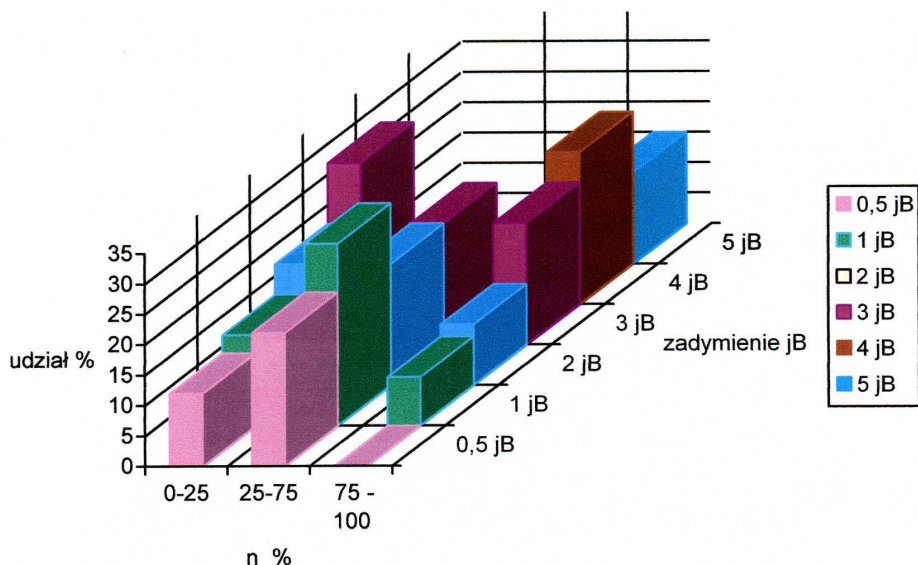


Rys. 3. Charakterystyka dymienia silnika 359 przy zasilaniu różnymi paliwami ON - olej napędowy, RME - ester metylowy kwasu tłuszczowego oleju Rzepakowego, BIOXDIESEL -olej napędowy z domieszką estru, EKODIESEL PLUS 50 - olej napędowy z domieszką estru.

Zastosowanie doładowania bezsprężarkowego (dynamicznego) nie powoduje żadnych skutków w zakresie prędkości obrotowych odpowiadających rozruchowi silnika (jak już wspomniano wcześniej) bowiem układ dolotowy silnika dostosowany jest do wywoływania zjawisk falowych przy prędkościach obrotowych w obszarze prędkości momentu obrotowego do mocy znamionowej. Silnik w trakcie rozruchu zachowuje się jak normalny silnik wolnossący. W chwili obecnej jest powszechnie stosowane w silnikach o zapłonie iskrowym i wtrysku benzyny oraz w silnikach wysokoprężnych samochodów osobowych oraz ciężarowych jako doładowanie kombinowane w połączeniu z turbodoładowaniem.

Jego wpływ na parametry ekologiczne można przedstawić na podstawie badań silnika SW 680 produkowanego przez wytwórnię MIELEC-DIESEL [7,9]. Wyniki badań zadymienia spalin tego silnika przedstawiono na rys.4.

Z danych przedstawionych w formie graficznej na rys.4 wynika, że stopień zadymienia spalin badanego silnika SW 680 w wersji bez doładowania jest zróżnicowany w zależności od prędkości obrotowej i obciążenia, ale ogólnie rzecz biorąc dość duży. Zawiera się on od 0,5 jednostek Boscha do 5 jednostek Boscha, podczas gdy dopuszczalne zadymienie dla tego typu silnika nie powinno przekraczać wartości 2,7-4-3 jednostek Boscha.

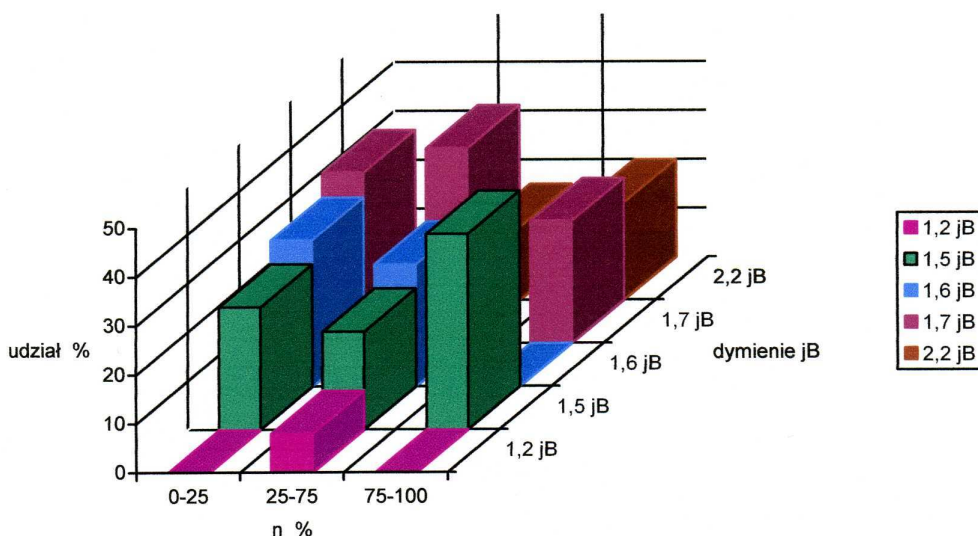


Rys.4. Charakterystyka gęstości czasowej silnika SW 680 bez doładowania.

Na rysunkach tych widać jaki procent udziału mają poszczególne wartości zadymienia w całości obszaru pracy i przy jakich parametrach powinien pracować silnik aby jego szkodliwość dla otoczenia była najmniejsza.

Kolejny rysunek przedstawia charakterystykę gęstości czasowej zadymienia spalin silnika SW 680 doładowanego dynamicznie. W porównaniu z charakterystyką przedstawioną na rys.4 widać wyraźną różnicę na korzyść silnika doładowanego, stąd m.in. tendencja do doładowywania większości eksploatowanych obecnie silników wysokoprężnych.

Wartości zadymienia spalin dla silnika doładowanego dynamicznie są zdecydowanie mniejsze bo wahają się od 1,2 jB do 2,2 jB, a obszar charakterystyki o względnie małym zadymieniu jest znaczny dla poszczególnych zakresów prędkości obrotowych. Procentowo największe wartości zadymienia spalin 1,5 jB oraz 1,7 jB. występowały przy 25-75 % prędkości obrotowej silnika.



Rys. 5. Charakterystyka gęstości czasowej silnika S W 680 doładowanego dynamicznie.

W ten sposób przedstawiono w skrócie jeden z problemów poprawy oddziaływania silników spalinowych na środowisko.

4. Zastosowanie gazu ziemnego jako paliwa silnikowego.

Gaz ziemny jest paliwem nie wymagającym przeróbki chemicznej poza oczyszczaniem i odsiarczaniem. Gaz wysokometanowy ze względu na swe właściwości fizykochemiczne jest określany jako dobre i ekologiczne paliwo silnikowe. Jest on ogólnodostępny, a więc nie ma potrzeby jego magazynowania. Jest tańszy od paliw płynnych, po uzdatnieniu pozbawiony substancji korozyjnych co decyduje o żywotności silnika. Paliwo to jest lżejsze od powietrza - stosunek jego gęstości do gęstości powietrza wynosi $0,55 \div 0,58$ w zależności od składu chemicznego. W przypadku nieszczelności układu zasilania w pojeździe ulatnia się do atmosfery, podczas gdy paliwo płynne rozlewa się po powierzchni, a mieszanina propanu-butanu (cięższa od powietrza) gromadzi się nad powierzchnią ziemi.

Gaz ziemny jako paliwo silnikowe wykorzystywany jest w postaci:

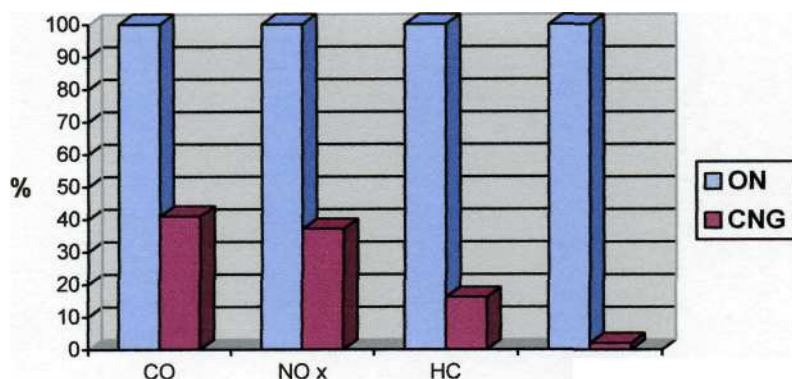
- gazu ziemnego sprężonego CNG (Compressed Natural Gas),
- gazu ziemnego skroplonego LNG (Liquefied Natural Gas).

Gaz ziemny CNG jako paliwo do zasilania pojazdów nie wymaga żadnej obróbki technologicznej poza sprężaniem i osuszaniem. Wadą tego systemu jest mała gęstość zmagazynowanej energii w jednostce objętości (pomimo znacznego sprężenia gazu do ciśnienia ok.20 MPa), co wiąże się z zastosowaniem zbiorników o dużej objętości i masie. Można go stosować do wszystkich silników o zapłonie iskrowym oraz silników wysokoprężnych po odpowiednich zmianach konstrukcyjnych. Jednorazowe tankowanie umożliwia przebieg około 300 km.

Zastosowanie skroplonego gazu ziemnego LNG, który obok wodoru wymieniany jest jako przyszłościowe paliwo alternatywne, pozwala na wyeliminowanie wad związanych z gęstością magazynowanej energii, masą zbiorników oraz problemami wysokiego ciśnienia. Podczas skraplania gaz oziębiany jest do $-161,15^{\circ}\text{C}$. Objętość gazu redukuje się przy tym zabiegu 630 razy. Dzięki temu „gęstość energii” skroplonego gazu ziemnego jest bardzo wysoka. Zabieg skraplania wiąże się z bardzo dokładnym oczyszczeniem gazu z dwutlenku węgla, azotu, propanu-butanu i wilgoci. Jest to już bardzo czyste paliwo o liczbie oktanowej 130. Po powtórnej zmianie postaci na gazową pozostaje bardzo niewiele zanieczyszczeń, gaz jest suchy pozbawiony wilgoci. Z uwagi na niskie temperatury skraplania wymaga zbiornika kriogenicznego, a tankowanie odbywa się podobnie jak tankowanie paliw tradycyjnych [10].

5. Kryteria oceny gazu ziemnego.

Nawiązując do stwierdzeń zawartych we wstępie przeprowadzono ocenę toksyczności spalin silników zasilanych gazem ziemnym CNG oraz olejem napędowym co przedstawiono na rys.6.



Rys. 6. Porównanie emisji silników autobusowych zasilanych ON i CNG [10] CO — tlenek węgla, NO_x — tlenki azotu, HC - węglowodory , PM - cząstki stałe

Jak wynika z rys. 6 przy zasilaniu gazem ziemnym znacznie zmalała emisja składników toksycznych w spalinach silników badanych autobusów i tak dla CO wynosiła 41 % w stosunku do oleju napędowego, dla NO_x 37 % , dla HC 16 % i dla PM tylko 2 %. W tym aspekcie widać wyraźne korzyści ze stosowania gazu ziemnego jako paliwa. Jest to główna zaleta w porównaniu do płynnych paliw ropopochodnych, należy jednak pamiętać o tym, że poziom emisji w znacznym stopniu zależy od konstrukcji silnika, jego komory spalania, charakterystyki układu zasilania, parametrów regulacyjnych oraz ogólnego jego stanu technicznego. W aspekcie poprawy szkodliwego działania silników spalinowych na otoczenie stosowanie w komunikacji miejskiej obydwu wspomnianych na wstępie miast autobusów napędzanych silnikami zasilanymi gazem ziemnym jest rozwiązaniem bardzo obiecującym.

6. Aktualny stan krajowy.

Badania przeprowadzone w kraju przewidują, że w niedalekiej przyszłości udział gazu ziemnego może sięgać kilkunastu procent jako paliwa silnikowego. Europejskie stowarzyszenie pojazdów napędzanych silnikami gazowymi ENGVA (European Natural Gas Vehicles Association) zakłada, że w roku 2020, 20 % europejskich pojazdów będzie napędzanych gazem ziemnym pochodzącym z odnawialnych źródeł energii [11]. Oznacza to, że 24 mln pojazdów NGV, które będą obsługiwane przez około 30 tys. stacji tankowania, przy czym znaczną część powinny stanowić autobusy miejskie i pojazdy komunalne. Na koniec roku 2002 w Europie jeździło 450 tys. Pojazdów NGV i dla osiągnięcia 24 milionów w 2020 roku wymagany jest przyrost roczny na poziomie $8 \div 9$ %. Zakłady Samochodowe JELCZ S.A. są producentem miejskich autobusów gazowych CNG. Wytwórnia AUTOSAN S.A. jest przygotowana do produkcji podmiejskiego autobusu A1010 M CNG. Opracowano fabryczną wersję autobusu JELCZ 120M/1 z silnikiem MD 111M6 produkcji Wytwórni Silników MIELEC-DIESEL, Spółki MIELEC-DIESEL GAZ i NGV AUTOGAS. Autobusy te uzyskały homologację (EURO-3) i są aktualnie eksploatowane. Trwają prace nad niskopodłogową wersją autobusu JELCZ z silnikiem gazowym MAN. Również inne liczące się firmy przygotowują swoje oferty autobusów gazowych, jednak przed wprowadzeniem ich na rynek krajowy powstrzymuje je nie rozwiązana sprawa homologacji oraz ochrony praw patentowych dla proponowanych rozwiązań. Wydaje się też, że do opisanych paliw gazowych może dołączyć gaz fermentacyjny z odpadów biologicznych.

7. Zakończenie

Przedstawione rozważania na temat zanieczyszczenia powietrza produktami spalania silników napędzających pojazdy samochodowe wskazują, że przy obecnym tempie rozwoju motoryzacji i to zarówno publicznej jak i indywidualnej problem ich minimalizacji będzie coraz trudniejszy do rozwiązania. Dlatego też konieczne są działania wyprzedzające aby nie doprowadzić katastrofy ekologicznej. Na szczęście problem ten jest dostrzegany i prowadzi się odpowiednie analizy oraz podejmuje programy zarówno badawcze jak i wdrożeniowe mające na celu zmniejszenie niekorzystnego oddziaływania transportu na otoczenie. Przedstawione w krótkim zarysie pewne z tych działań powinny uświadomić społeczeństwu na ile skutecznie możemy przy obecnym stanie techniki podjąć walkę z negatywnymi zjawiskami towarzyszącymi rozwojowi motoryzacji.

Literatura:

1. Mysłowski Janusz: Pojazdy samochodowe. Doładowanie silników. WKiŁ, Warszawa 2006.
2. Mysłowski Janusz. Mysłowski Jaromir: Tendencje rozwojowe silników o zapłonie samoczynnym. Wyd. AUTOBUSY, Radom 2006.

3. Mysłowski J., Dobrzycki J.; Rozruch silników ciągnikowych w niskich temperaturach otoczenia przy zasilaniu paliwami pochodzenia rzepakowego. Instrukcja. Upowszechnieniowa, Akademia Rolnicza w Szczecinie, Szczecin 1995.
4. Mysłowski J. Wpływ paliw pochodzenia roślinnego na skażenie środowiska w trakcie rozruchu silnika. Materiały Międzynarodowej Konferencji KONES'95, JOURNAL OF KONES Warszawa - Poznań 1995.
5. Łazowska H.: Skutki zanieczyszczenia powietrza spowodowane emisją spalin samochodowych. Ekologia pogranicza EP'2003. Gorzów Wlkp.-Łagów 2003.
6. Rewaj R.: Roczny raport o zanieczyszczeniach komunikacyjnych powietrza atmosferycznego w Szczecinie - rejon Bramy Portowej. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska - Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Szczecinie, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Szczecin 1996.
7. Borodyn A., Szyjka G, Talaga K.: Analiza porównawcza przebiegu temperatury spalin, współczynnika zadymienia oraz zużycia paliwa wybranych paliw przeznaczonych do zasilania silnika wysokoprężnego. AUTOBUSY. 10/2003.
8. Mysłowski J., Małkowski M., Uzdowski M.: ECOLOGICAL ASPECTS OF DIESEL WORKS.MOTROL '07,Odessa 2007.
9. Mysłowski Jaromir: Wpływ doładowania dynamicznego na zadymienie spalin silnika wysokoprężnego. Północno - Zachodni Zaoczny Uniwersytet Techniczny w Sankt Petersburgu. Sankt Petersburg 2008.
10. Wołoszyn R.: Gaz ziemny jako paliwo do napędu pojazdów. Eksploatacja i niezawodność, nr 3.Lublin 2003.
11. Rudkowski M., Wołoszyn R.: Warunki rozwoju pojazdów NGV w Polsce. ZN Politechniki Częstochowskiej 155, Mechanika25.Częstochowa 2003.