

MODYFIKACJA CHARAKTERYSTYKI ZEWNĘTRZNEJ SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM POPRAZ ZMIANĘ PARAMETRÓW WTRYSKU PALIWA

Ireneusz Hetmańczyk, Waclaw Hepner
Katedra Pojazdów Drogowych i Rolniczych, Politechnika Opolska

Robert Halicki
Firma Tuningowa 44tuning.pl

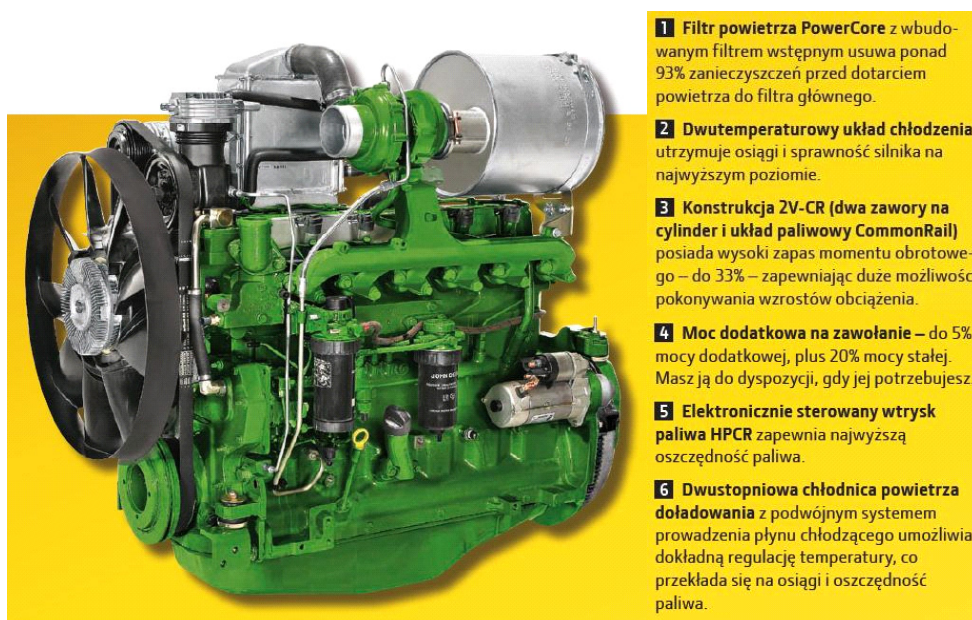
Streszczenie. W opracowaniu opisano zagadnienia sterowania parametrami pracy wysokociśnieniowego układu wtryskowego silników o zapłonie samoczynnym, stosowanego w ciągnikach rolniczych. Umiejętna modyfikacja tego sterowania na drodze czysto elektronicznej przynosi znaczącą poprawę wszystkich charakterystyk eksploatacyjnych ciągnika. Powodzenie adaptacji zależy jednak od profesjonalizmu wykonawcy i klasy aparatury pomiarowej. Wydaje się, że tego typu działania wypełniają znaczącą niszę na rynku ciągników rolniczych i mogą stanowić uzupełnienie oferty fabrycznej producentów silników do pojazdów użytkowych. Dotychczasowe, z powodzeniem przeprowadzone modyfikacje dowodzą, że w nowoczesnych silnikach o zapłonie samoczynnym tkwią znaczne rezerwy mocy i momentu obrotowego. Trzeba zaznaczyć, że nie odbywa się to kosztem charakterystyk ekologicznych silnika.

Słowa kluczowe: silnik wysokoprężny, charakterystyka silnika, zwiększenie mocy, tuning elektroniczny

Wprowadzenie

Nowoczesne silniki o zapłonie samoczynnym do ciągników rolniczych charakteryzują się wysokim stopniem zaawansowania technicznego (rys. 1). Dysponują m.in. wysokociśnieniowym, zasobnikowym układem wtrysku paliwa typu Common Rail oraz systemem zagęszczania ładunku opartym na turbosprężarce i międzystopniowej chłodnicy powietrza dolotowego. Pomimo to stopień wysilenia takich jednostek napędowych nie należy do szczególnie wysokich. Tak np. gama silników marki John Deere o pojemności skokowej 4,5 dm³ dysponuje mocą jednostkową pomiędzy 14,1 a 20,5 kW·dm⁻³ (zależnie od wersji) (Materiały producenta John Deere, 2012). Jest to co prawda więcej niż dla

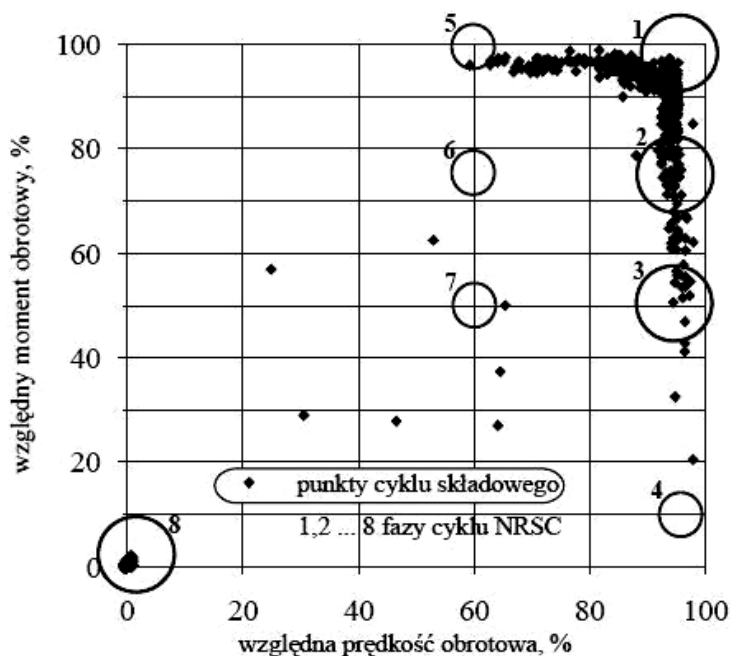
zabytkowego ciągnika Ursus C360 ($12,3 \text{ kW}\cdot\text{dm}^{-3}$), ale znacznie mniej niż dla współczesnego samochodu ciężarowego Renault Magnum ($27,0 \text{ kW}\cdot\text{dm}^{-3}$) (Traker, 2002) czy samochodu osobowego VW Touareg V10 ($46,7 \text{ kW}\cdot\text{dm}^{-3}$) (V12, 2007). Przedstawione porównanie sugeruje znaczny potencjał rozwojowy silników stosowanych w dzisiejszych ciągnikach. Z drugiej strony, fakt oferowania przez producenta typoszeregu silników identycznych mechanicznie, ale o mocy zróżnicowanej nawet o 50%, wskazuje na „fabryczny tuning elektroniczny” (Materiały producenta John Deere, 2012). Dla użytkownika ciągnika moc napędu ma istotne znaczenie, ponieważ przy najcięższych zabiegach agrotechnicznych (np. orka) silnik pracuje właściwie nieprzerwanie z pełnym obciążeniem (rys. 2).



Rysunek 1. Silnik ciągnika John Deere 6390
Figure 1. John Deere tractor engine 6390

Źródło: Materiały producenta John Deere, (2012)

W europejskich realiach gospodarczych pojawiły się wyspecjalizowane przedsiębiorstwa modyfikujące silniki drogą tuningu elektronicznego, który polega na poprawie fabrycznej charakterystyki zewnętrznej silnika poprzez zmianę parametrów wtrysku paliwa. Koszty takiej modyfikacji są kilkukrotnie mniejsze niż dopłata do ciągnika z fabrycznie „wzmocnionym” silnikiem.



Rysunek 2. Porównanie rozmieszczenia faz cyklu stanów ustalonych NRSC oraz punktów pomiarowych cyklu składowego ciągnika rolniczego
 Figure 2. Comparison of phases distribution of the stationary NRSC cycle and measuring points of the constituent cycle of the agricultural tractor

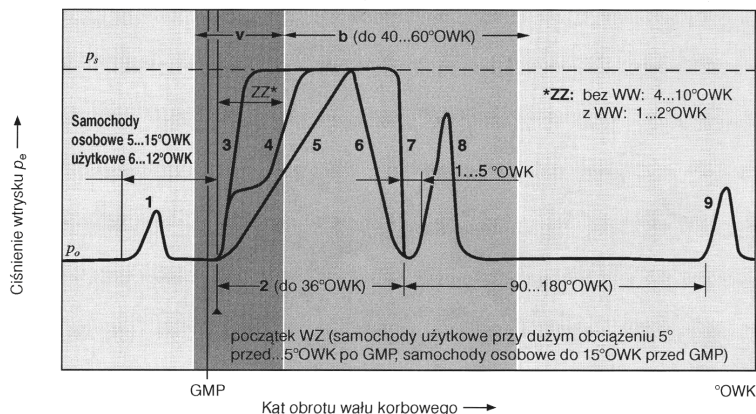
Źródło: Hetmańczyk i Bieniek, (2012)

Charakterystyka przebiegu wtrysku oleju napędowego

Rysunek 3 przedstawia wzorcowy profil czasowy ciśnienia paliwa wtryskiwanego do komory spalania silnika, gdzie: p_s – ciśnienie maksymalne, p_o – ciśnienie otwarcia wtryskiwacza, b – czas trwania spalania podczas wtrysku zasadniczego, v – czas trwania spalania podczas wtrysku wstępnego, ZZ – zwłoka zapłonu podczas wtrysku zasadniczego.

Wyróżnia się tu następujące fazy: 1 – wtrysk wstępny (WW), 2 – wtrysk zasadniczy (WZ), 3,4,5 – różne możliwe przebiegi narastania ciśnienia, 6,7 – różne możliwe przebiegi spadku ciśnienia, 8 – wczesny dotrysk, 9 – późny dotrysk.

Ingerencja w którąkolwiek z tych faz wpływa na: moment obrotowy silnika, jednostkowe zużycie paliwa, hałaśliwość procesu spalania, emisję NO_x oraz emisję sadzy.



Rysunek 3. Przebieg wtrysku

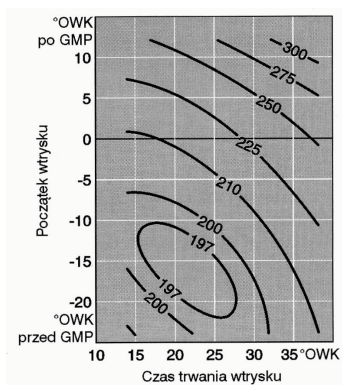
Figure 3. Course of injection

Źródło: Informator techniczny Bosch, (2004)

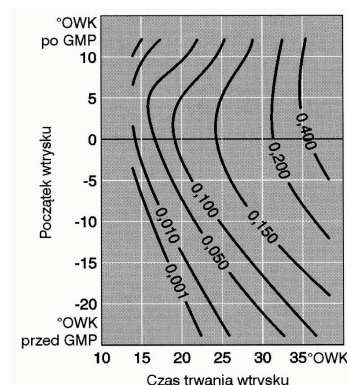
Wpływ parametrów wtrysku na własności eksploatacyjne silnika

Zależności przedstawione na rysunkach 4a i 4b wskazują na konieczność optymalizacji przede wszystkim kąta wyprzedzenia oraz kąta trwania wtrysku. Na przykład dla wybranych warunków pracy silnika zmniejszenie początku wtrysku z 34° OWK do 22° OWK (o 35%) może skutkować spadkiem ciśnienia roboczego w cylindrze aż o 47% (rys. 5).

a)

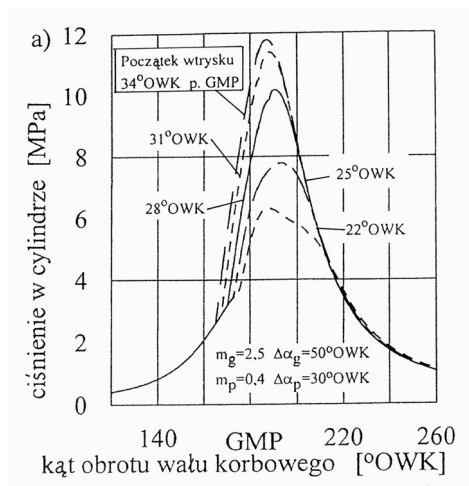


b)



Rysunek 4. Charakterystyki regulacyjne: a) zależność jednostkowego zużycia paliwa od początku wtrysku i czasu trwania wtrysku, b) zależność jednostkowej emisji sadzy od początku wtrysku i czasu trwania wtrysku

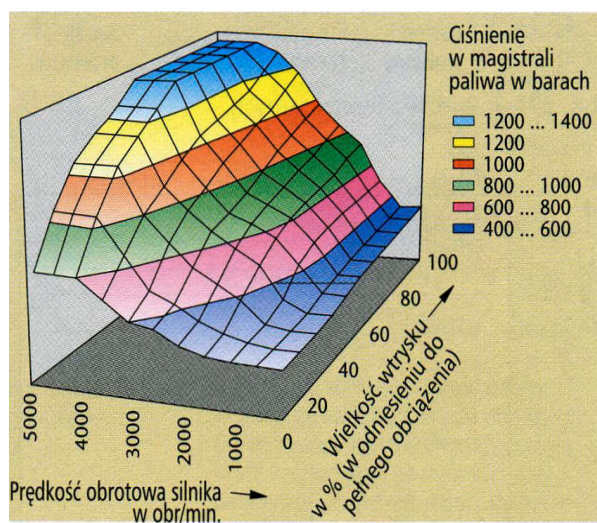
Figure 4. Regulation characteristics: a) dependence of specific fuel consumption from the start of injection and the injection time, b) dependence of the unit soot emission from the beginning of injection and injection time



Rysunek 5. Wpływ kąta wyprzedzenia wtrysku pilotującej dawki oleju na przebiegi ciśnienia w cylindrze
 Figure 5. Influence of the anticipation angle of the leading oil dose injection on pressure courses in the cylinder

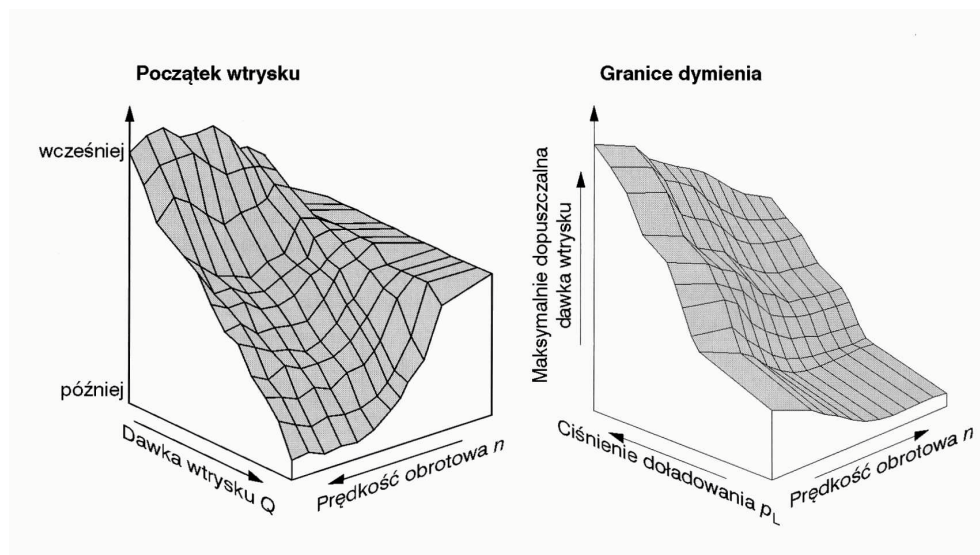
Źródło: Stelmasiak, (2003)

Wobec ograniczenia kąta trwania wtrysku skutecznym sposobem zmiany wielkości dawki paliwa, stosownie do żądanej mocy silnika, jest zmiana ciśnienia w magistrali paliwowej (rys. 6). Mapy przedstawione na rysunku 7 obrazują, jak powinien być skorelowany początek wtrysku z dawką wtrysku i prędkością obrotową silnika oraz jak wpływa na maksymalną dawkę granica dymienia silnika.



Rysunek 6. Zależność dawki paliwa od ciśnienia wtrysku i prędkości obrotowej
 Figure 6. Dependence of the fuel dose on the injection pressure and rotational speed

Źródło: Berger i in., (2003)



Rysunek 7. Charakterystyki uniwersalne początku wtrysku i maksymalnej dawki wtrysku ze względu na granicę dymienia

Figure 7. Universal characteristics of the injection start and the maximum injection dose on account of the smoke border

Źródło: Informator techniczny Bosch, (2009)

Efekty tuningu elektronicznego

W polskich warunkach tuning elektroniczny silników rolniczych przeprowadzany jest u użytkownika pojazdu. Na miejsce dostarczana jest przyczepa dynamometryczna (rys. 8), dzięki której możliwe jest wykonanie charakterystyki bazowej silnika w specyfikacji fabrycznej. Jednocześnie odczytywana jest mapa sterowania parametrami wtrysku paliwa. Następnie mapa zostaje skorygowana w oparciu o posiadaną bazę danych regulacyjnych silników wybranego typu. W pakiecie „optymalizacyjnym” znajduje się również korekta pulsacji zaworu regulacji ciśnienia w zasobniku paliwa, korekta układu doładowania silnika oraz przeskalowanie elektronicznego pedału przyspiesznika. Czasami modyfikuje się również pracę układu EGR oraz działanie regulatora ciśnienia doładowania. Wprowadzane zmiany weryfikowane są ponownym pomiarem hamownianym. Przykładowe zestawienie zmienionych parametrów zawiera tabela 1, natomiast wykresy mocy i momentu obrotowego przed i po modyfikacji obrazują rysunki 9 i 10. Na rysunkach wartości prędkości obrotowej i momentu obrotowego dotyczą pomiarów na wale odbioru mocy. Wprowadzone modyfikacje przynoszą wzrost mocy maksymalnej silnika z reguły w zakresie 25–35%.

Rysunek 8. Przyczepa dynamometryczna podczas pomiarów
Figure 8. Dynamometer trailer during measurements

Źródło: <http://www.froment.co.uk/Data/SigmaDynamometerBrochure.pdf>

Tabela 1
Zestawienie zmienionych parametrów wtrysku paliwa
Table 1
The list of changed parameters of fuel injection

Silnik ciągnika	6930 Premium	6230 Premium
Maksymalna dawka paliwa	zwiększona o 18%	zwiększona o 16%
Kąt wtrysku	przyspieszony o 3 stopnie	przyspieszony o 2 stopnie
Czas wtrysku	wydłużony 5%	wydłużony 5%
Ciśnienie w zasobniku	seryjne	seryjne
Maksymalne ciśnienie doładowania	większe o 0,15 bar	większe o 0,12 bar
Ograniczenie momentu obrotowego	zwiększone do 860 Nm	zwiększone do 520 Nm

TEST REPORT

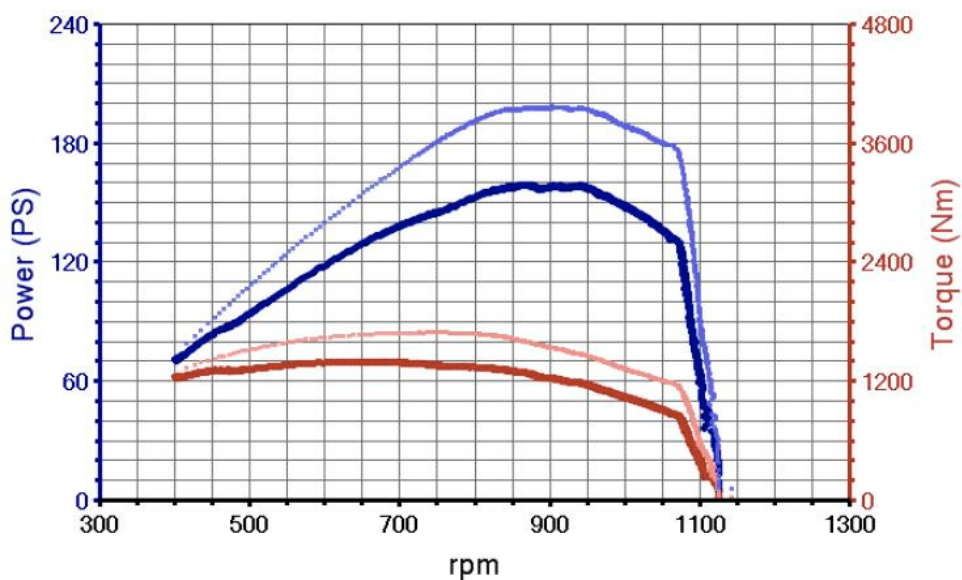


Tests Compared

Test Number	: 979	980
Test Date	: 2012-10-25 11:02	2012-10-25 12:27

Test Results

High Idle	: 5,4 PS	1125 rpm	5,4 PS	1125 rpm
PTO Speed	: 148,4 PS	1000 rpm	188,2 PS	1000 rpm
Max Power	: 159,0 PS	874 rpm	198,4 PS	904 rpm
Max Torque	: 1399 Nm	668 rpm	1694 Nm	746 rpm



Rysunek 9. Charakterystyka zewnętrzna silnika ciągnika John Deere 6930 przed oraz po modyfikacji

Figure 9. External characteristics of John Deere 6930 tractor engine before and after modifications

TEST REPORT

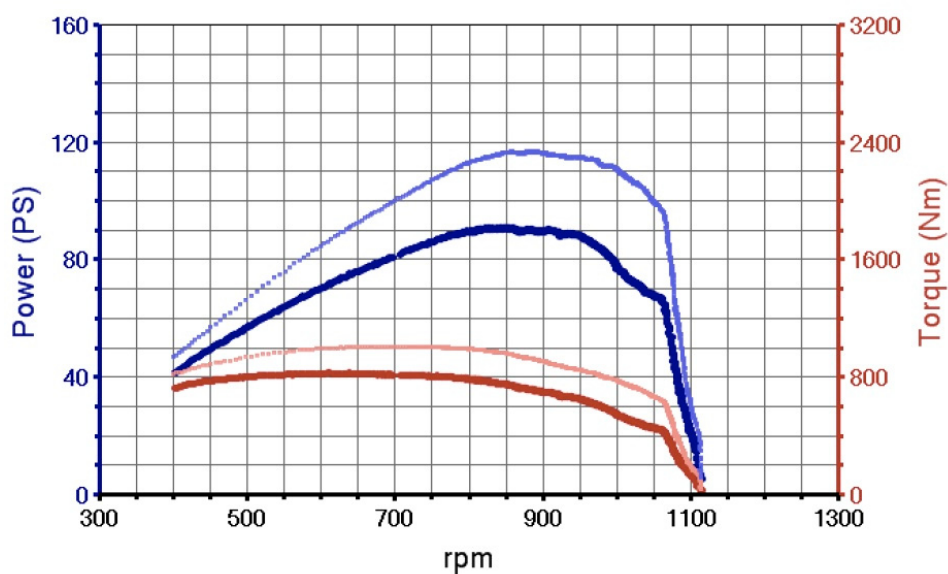


Tests Compared

Test Number	: 1293	1294
Test Date	: 2013-04-30 13:35	2013-04-30 14:32

Test Results

High Idle	:	5,2 PS	1115 rpm	5,2 PS	1114 rpm
PTO Speed	:	76,6 PS	1000 rpm	111,0 PS	1000 rpm
Max Power	:	90,9 PS	852 rpm	117,0 PS	856 rpm
Max Torque	:	829 Nm	637 rpm	1006 Nm	696 rpm



Rysunek 10. Charakterystyka zewnętrzna silnika ciągnika John Deere 6230 przed oraz po modyfikacji

Figure 10. External characteristics of John Deere 6230 tractor engine before and after modifications

Uwagi końcowe

Użytkownicy ciągników poddanych tuningowi elektronicznemu, niezależnie od widocznego na charakterystyce silnika wzrostu mocy, subiektywnie dostrzegają poprawę własności użytkowych ciągnika: wyższą prędkość prac polowych, możliwość użycia wyższego biegu oraz obniżenie eksploatacyjnej prędkości obrotowej silnika, z czym często idzie w parze zmniejszenie zużycia paliwa ($\text{dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) (Staniszewski, 2011).

Doświadczenia eksploatacyjne potwierdzają celowość opisanych modyfikacji ciągników rolniczych. Wydaje się, że uzyskiwany wzrost mocy nie powinien negatywnie wpływać na żywotność silnika, a także układu napędowego pojazdu. Warunkiem niezbędnym do prawidłowego przeprowadzenia modyfikacji jest posiadanie odpowiedniego sprzętu pomiarowego i doświadczenia. Firmy tuningowe udzielają na swoją pracę wielomiesięcznej gwarancji.

Literatura

- Berger, K.J. i in. (2003). *Budowa pojazdów samochodowych*, cz. II, Warszawa, Wydawnictwo REA s.j., ISBN 83-7141-454-4.
- Hetmańczyk, I.; Bieniek, A. (2012). Badania homologacyjne a eksploatacyjne warunki pracy silnika wysokoprężnego. *Inżynieria Rolnicza*, 2(137), ISSN 1429-7264, 65-75.
- Staniszewski, P. (2011). Większa moc – mniejsze spalanie. *Poradnik Rolniczy*, 39/2011, 14-16.
- Stelmasiak, Z. (2003). *Modelowanie przebiegu spalania w dwupaliwowym silniku o zapłonie samoczynnym zasilanym gazem. Konstrukcja, badania, eksploatacja, technologia pojazdów samochodowych i silników spalinowych*. Teza Komisji Naukowo-Problemovej Motoryzacji, Z. 26-27, 447-456.
- Informator techniczny Bosch, (2004). *Sterowanie silników o zapłonie samoczynnym*, Warszawa, WKiŁ, ISBN 83-206-1529-1.
- Informator techniczny Bosch, (2009). *Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail*, Warszawa, WKiŁ, ISBN 978-83-206-1745-0.
- John Deere, (2012). Materiały fabryczne producenta
- Miesięcznik *Traker*, 9/2002, 21-23.
- Miesięcznik *V12*, 1/2007, 82-85.
- <http://www.froment.co.uk/Data/SigmaDynamometerBrochure.pdf>

MODIFICATION OF THE OUTSIDE CHARACTERISTICS OF A DIESEL ENGINE BY MEANS OF CHANGE OF FUEL INJECTION PARAMETERS

Abstract. The paper presents issues concerning control of operation parameters of a high-pressure injection system of diesel engines used in farm tractors. Skilful modification of this control by means of electronics brings a considerable improvement of all exploitation characteristics of a tractor. However, success of adaptation depends on the producer's professionalism and the class of measuring apparatus. It seems that such activities fill in a considerable gap on the farm tractors market and may constitute complementation of the factory offer of the producers of engines for utility vehicles. Successful modifications which have been carried out so far prove that modern diesel engines have high power and rotational moment reserves. It must be emphasised that it influences ecological parameters of the engine.

Key words: diesel engine, engine characteristics, power increase, electronic tuning

Adres do korespondencji:

Ireneusz Hetmańczyk; e-mail: i.hetmanczyk@po.opole.pl
Katedra Pojazdów Drogowych i Rolniczych
Politechnika Opolska,
ul. Próżkowska 76
45-758 Opole



Dofinansowanie ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Opolu