

OCENA PARAMETRÓW ENERGETYCZNYCH CIĄGNIKA ROLNICZEGO JOHN DEERE 6820 Z WYKORZYSTANIEM DIAGNOSTYKI POKŁADOWEJ

Paweł Krzaczek

Katedra Energetyki i Pojazdów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. Celem pracy była ocena parametrów energetycznych ciągnika JOHN DEERE 6820 z wykorzystaniem systemu diagnostyki pokładowej. Parametry energetyczne ciągnika (silnika) uzyskane w wyniku tego typu badań pozwalają na ocenę stanu energetycznego ciągnika. Głównie do jego energochłonności oraz przystosowania do zmiennych warunków pracy, tym samym przystosowania do zmiennych obciążeń i zmiennej prędkości obrotowej. Wyznaczenie charakterystyk przebiegu zmian momentu obrotowego, mocy oraz jednostkowego zużycia paliwa, pozwala określić zakres prędkości obrotowej dla optymalnego działania silnika. Zastosowanie diagnostyki pokładowej w ciągniku rolniczym oraz systemu diagnostycznego Service ADVISOR, ułatwia lokalizację uszkodzeń i usuwanie niesprawności w ciągnikach i maszynach rolniczych, a także pozwala wyznaczyć jednostkowe zużycie paliwa g_e w sposób wystarczający na określanie jego wartości dla celów użytkowych.

Słowa kluczowe: ciągnik rolniczy, parametry energetyczne, diagnostyka pokładowa

Wprowadzenie

We współczesnych ciągnikach i maszynach rolniczych stosuje się najnowsze technologie elektroniczne i informacyjne, które sterują nie tylko parametrami pracy samego silnika, ale również pracą pozostałych podzespołów tego pojazdu. Należy pokreślić, że obszary systemów działaniowych niektórych podzespołów pokrywają się, co powoduje konieczność integracji współpracy systemów sterujących [Jantos, Mamala 2007]. Dlatego, już od wczesnych lat dziewięćdziesiątych dla systemów sterujących ciągników rolniczych, opracowywano uniwersalny protokół transmisji danych, co doprowadziło do powstania standardu przesyłu danych ISO 11783 pt. *An Electronic Communications Protocol for Agricultural Equipment* [Speckmann, Jahns 1999; Scarlett 2001].

Wprowadzenie protokołu transmisji danych umożliwia wymianę informacji w czasie rzeczywistym pomiędzy sterownikami ciągnika rolniczego lub całego agregatu. Dzięki temu większość podzespołów ciągnika i maszyny rolniczej jest sterowana i kontrolowana przez kilka lub nawet kilkanaście sterowników, które powiązane są ze sobą jedną wspólną magistralą CAN BUS pracującą na tych samych danych. Ponadto, magistrala danych znacznie ułatwia diagnostyczną ocenę stanu pojazdu [Munack, Speckmann 2001]. Ocena stanu technicznego jest możliwa na poziomie monitorowania w czasie rzeczywistym parametrów diagnostycznych, jak i przy współpracy z przenośnymi systemami diagnostycznymi. Moż-

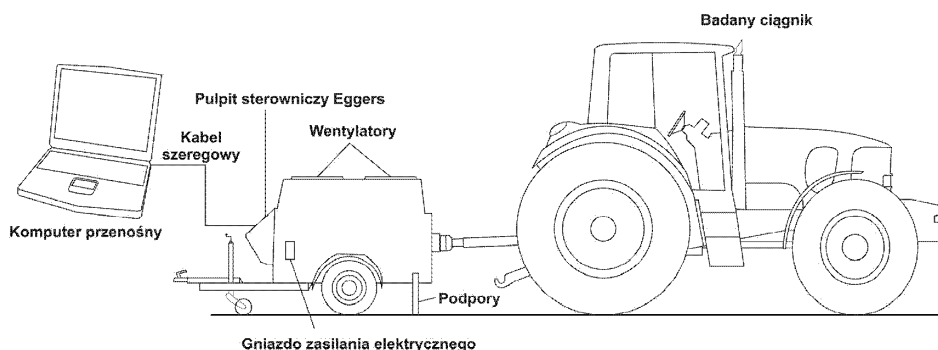
liwe jest także zastosowanie pokładowych systemów sterująco-diagnostycznych, które są wyposażone w algorytmy auto-testów kontrolujące działanie poszczególnych podzespołów.

Pomiar parametrów energetycznych jest jednym z ważniejszych czynników umożliwiających racjonalną eksploatację ciągników rolniczych. Znajomość tych parametrów, z jednej strony jest konieczne przy ocenie ekonomiki pracy pojazdu, z drugiej strony, pozwala określić aktualny stan techniczny [Rychlik 2006]. Ponadto, optymalizacja pracy agregatu ciągnikowego umożliwi ograniczenie negatywnego wpływu eksploatacji pojazdu na środowisko przyrodnicze [Chłopek 2006; Halek, Bauer 2004; Piekarski 1997].

Współczesne metody pomiarów parametrów energetycznych, takich jak: moc, moment obrotowy, możliwe są w miejscu użytkowania ciągników rolniczych. Natomiast pomiar zużycia paliwa realizowany jest przez wprowadzenie algorytmu pomiarowego w systemie sterująco-diagnostycznym pojazdu. Stąd wynika cel, którym jest ocena parametrów energetycznych ciągnika JOHN DEERE 6820 z wykorzystaniem systemu diagnostyki pokładowej.

Metodyka badań

W badaniach dynamometrycznych wykorzystano urządzenie PT 301 MES do pomiaru mocy i momentu obrotowego ciągnika rolniczego poprzez wałek odbioru mocy (WOM) (rys. 1). Mobilne stanowisko dynamometryczne jest urządzeniem umożliwiającym pomiary w miejscu użytkowania ciągnika. Zakres pomiarowy maksymalnego momentu obrotowego wynosi do 5 800 Nm, natomiast zakres maksymalnej mocy pochłanianej przez hamulec elektrowirowy 340 kW.



Źródło: [opracowanie własne]

Rys. 1. Schemat mobilnego stanowiska dynamometrycznego PT 301 MES

Fig. 1. Diagram showing mobile PT 301 MES dynamometric station

Badany ciągniki odzwierciedlają ogólną tendencję w nowoczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych ciągników i maszyn rolniczych. Dlatego badany ciągnik JOHN DEERE 6820 posiada system sterująco-diagnostyczny umożliwiający pomiar zużycia paliwa, który podczas badań podłączony był do systemu diagnostycznego Service ADVISOR. Rejestrowano w tym systemie w czasie rzeczywistym takie parametry diagnostyczne, jak: godzinowe zużycie paliwa G_f [$l \cdot h^{-1}$], prędkość obrotową silnika n [$obr \cdot min^{-1}$], prędkość obrotową

wałka odbioru mocy n_{WOM} [obr·min⁻¹], temperaturę powietrza T_{ot} , ciśnienie atmosferyczne p_a , temperaturę paliwa T_p , temperaturę płynu chłodzącego T_{ch} , temperaturę oleju hydraulicznego T_h . Jednocześnie badany ciągnik obciążano przez wałek odbioru mocy hamownią PT 301 MES, podczas którego rejestrowano wartość obciążenia oraz prędkość obrotową wału hamulca.

Badany ciągnik był wyposażony w silnik czterosurowy z zapłonem samoczynnym w pełni sterowany elektronicznie, rzędowy, z bezpośrednim wtryskiem paliwa, doładowany, sześciocylindrowy o pojemności skokowej 6788 [cm³]. Przeniesienie napędu odbywało się poprzez WOM. Przełożenie silnik-WOM wynosiło $i = 1,995$.

Na podstawie wyżej wymienionych danych obliczano moment obrotowy zredukowany M_{ozr} oraz moc zredukowaną N_{ezr} . Pomiary parametrów energetycznych (mocy i momentu obrotowego) wykonano zgodnie z normą DIN 70020, natomiast przeliczenie ich do warunków zredukowanych według normy ISO 3046.

Pomiary godzinowego zużycia paliwa G_I wykonywano równocześnie z pomiarem momentu obrotowego M_o i mocy N_e . Mierzono godzinowe zużycie paliwa G_I [l·h⁻¹], które rejestrowano w systemie diagnostycznym Service ADVISOR. W czasie pomiarów mierzono temperaturę powietrza T_{ot} , ciśnienie atmosferyczne p_a , a także rejestrowano temperaturę paliwa T_p dla określenia gęstości paliwa ρ_p . Na podstawie tych pomiarów obliczano godzinowe zużycie paliwa G_c wyrażone w [kg·h⁻¹] według wzoru:

$$G_c = G_I \cdot \rho_p \quad [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]; \quad (1)$$

Następnie określano jednostkowe zużycie paliwa g_e według wzoru:

$$g_e = \frac{1000 \cdot G_c}{N_e} = \frac{1000 \cdot G_c}{M_o \cdot 2\pi \cdot n} \quad [\text{g} \cdot \text{kWh}^{-1}]; \quad (2)$$

gdzie:

- G_c – godzinowe zużycie paliwa [kg·h⁻¹],
- N_e – moc użyteczna [kW],
- M_o – moment obrotowy [Nm],
- n – prędkość obrotowa silnika [obr·min⁻¹].

Ponadto, wyznaczono współczynnik elastyczności e (3), który pozwala na ocenę przydatności pojazdów do zadań trakcyjnych. Współczynnik stanowi iloczyn współczynnika elastyczności momentu obrotowego e_m (3) oraz współczynnika elastyczności prędkości obrotowej e_n (3).

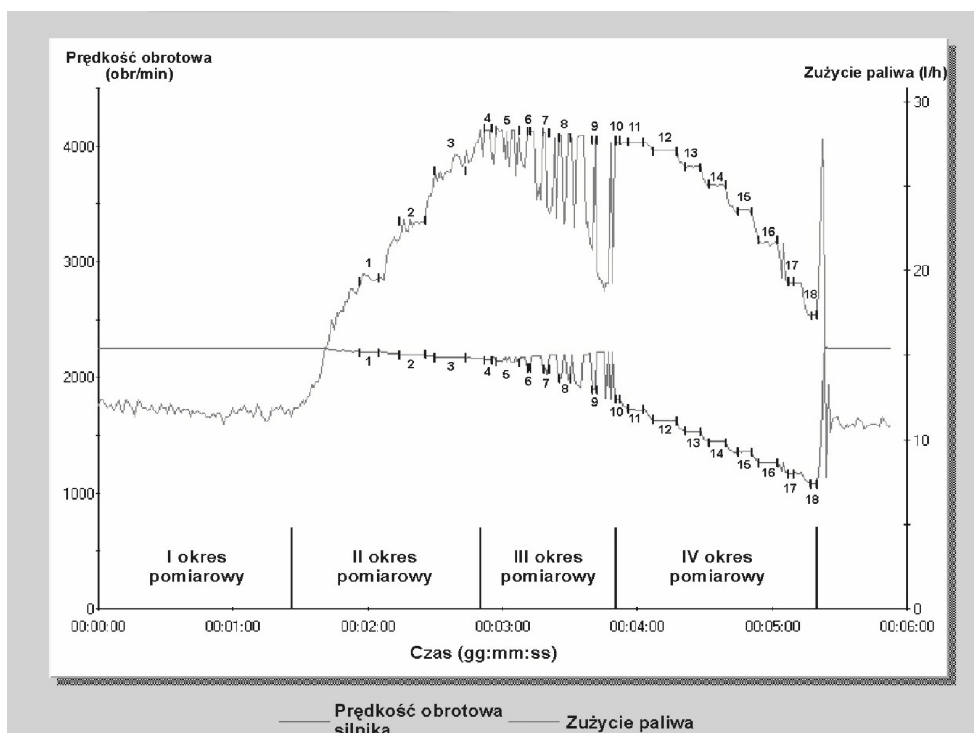
$$e = e_m \cdot e_n = \frac{M_{max}}{M_N} \cdot \frac{n_N}{n_M}; \quad (3)$$

gdzie:

- M_{max} – moment maksymalny [Nm],
- M_N – moment przy mocy maksymalnej [Nm],
- n_N – prędkość obrotowa mocy maksymalnej [obr·min⁻¹],
- n_M – prędkość obrotowa maksymalnego momentu obrotowego [obr·min⁻¹].

Wyniki badań i ich dyskusja

Przebieg zmian godzinowego zużycia paliwa G_f oraz prędkości obrotowej silnika n rejestrowano w czasie wykonywania pomiaru ciągnika John Deere 6820, przy wykorzystaniu systemu diagnostycznego Service ADVISOR (rys. 2). Na podstawie wartości prędkości obrotowej wału hamulca i wałka odbioru mocy, wyznaczono kolejne wartości prędkości obrotowej silnika. Uwzględniono tutaj wielkości przełożenia pomiędzy prędkością obrotową silnika i wałka odbioru mocy i_{wom} . Uzyskane wartości zaznaczono jako przedziały od 1 do 18, naniesione na krzywą przebiegu zmian prędkości obrotowej silnika w czasie. Następnie przedziały pomiarowe odniesiono do krzywej godzinowego zużycia paliwa G_f . Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunku 3.



Rys. 2. Przebieg zmian godzinowego zużycia paliwa G_f oraz prędkości obrotowej silnika n przy sporządzaniu zewnętrznej charakterystyki prędkościowej dla ciągnika John Deere 6820 (zarejestrowany w systemie diagnostycznym Service ADVISOR)

Fig. 2. Progress of changes in hour fuel consumption G_f and engine speed n while preparing external speed characteristics for John Deere 6820 tractor (registered in the Service ADVISOR diagnostic system)

Ocena parametrów energetycznych...

Na krzywej przebiegu godzinowego zużycia paliwa oraz prędkości obrotowej (rys. 2) naniesiono przedziały, które odpowiadają czterem kolejnym okresom pomiarowym. Na podstawie wyznaczonych okresów pomiarowych charakteryzowano przebieg pomiaru zużycia paliwa oraz określano, w jaki sposób silnik badanego ciągnika rolniczego reaguje na stopniowy wzrost obciążenia.

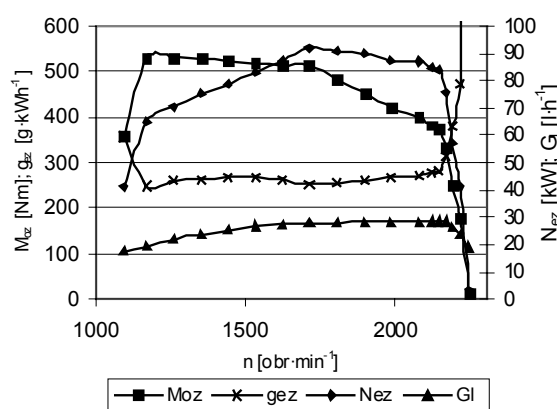
Pierwszy z nich to okres, od chwili rozpoczęcia rejestracji parametrów w systemie diagnostycznym Service ADVISOR, do czasu rozpoczęcia obciążania wałka odbioru mocy przez urządzenie dynamometryczne. Drugi okres obejmował początek obciążania, na który silnik reagował wzrostem zużycia paliwa. W trzecim okresie pomiarowym przebieg obu parametrów ma nieregularny charakter. Zwiększanie obciążenia przez sterownik stanowiąca dynamometrycznego powoduje zmienną reakcję silnika z uwagi na jego pracę z maksymalną dawką paliwa, co w konsekwencji utrudnia stabilizację obciążenia. Okres ten odpowiadał prędkości obrotowej silnika w zakresie 1900–2170 obr·min⁻¹. Na tej podstawie można stwierdzić, że praca silnika z prędkością obrotową powyżej 1900 obr·min⁻¹ jest niekorzystna. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na wzrost jednostkowego zużycia paliwa po przekroczeniu tej prędkości obrotowej.

Tabela 1. Wyniki pomiarów zużycia paliwa ciągnika John Deere 6820 przy maksymalnym obciążeniu i zmiennej prędkości obrotowej silnika na podstawie danych z systemu Service ADVISOR

Table 1. Fuel consumption measuring results for John Deere 6820 tractor at maximum load and variable engine speed on the basis of data from the Service ADVISOR system

Przebieg ciągnika $P = 920$ mtg. Prędkość nominalna WOM $n=1000$ obr/min. Przełożenie $i_{WOM} = 1,995$. Warunki atmosferyczne: $p_a = 1016$ hPa, $T_p = -4^\circ\text{C}$.												
Lp.	Wielkości pomiarowe								Wielkości zredukowane			
	n [obr·min ⁻¹]	M_o [Nm]	N_e [kW]	G_l [l·h ⁻¹]	T_p [°C]	ρ_p [kg·m ⁻³]	G_c [kg·h ⁻¹]	g_p [g·kWh ⁻¹]	M_{oz} [Nm]	N_{ez} [kW]	G_{cz} [kg·h ⁻¹]	g_{pz} [g·kWh ⁻¹]
1	2242	14,0	3,3	18,8	22	830	15,60	4735,0	13,4	3,1	15,60	4958,2
2	2214	186,0	43,1	23,4	22	830	19,42	450,4	177,6	41,2	19,42	471,6
3	2187	261,2	59,8	26,0	21	831	21,61	361,3	249,4	57,1	21,61	378,4
4	2167	347,9	78,9	28,5	21	831	23,68	300,1	332,2	75,4	23,68	314,2
5	2143	392,0	88,0	28,4	21	832	23,60	268,3	374,3	84,0	23,60	281,0
6	2119	399,5	88,6	28,3	21	832	23,52	265,3	381,5	84,6	23,52	277,8
7	2075	419,0	91,0	28,2	21	832	23,43	257,4	400,2	86,9	23,43	269,5
8	1983	440,6	91,5	28,1	21	832	23,35	255,2	420,8	87,4	23,35	267,2
9	1895	473,7	94,0	27,9	21	832	23,18	246,6	452,4	89,8	23,18	258,2
10	1803	501,8	94,8	27,8	20	832	23,13	244,1	479,2	90,5	23,13	255,6
11	1712	537,8	96,4	27,7	20	832	23,05	239,0	513,6	92,1	23,05	250,3
12	1620	537,8	91,2	27,3	20	832	22,71	248,9	513,6	87,1	22,71	260,7
13	1532	541,4	86,9	26,6	20	833	22,13	254,8	517,0	82,9	22,13	266,8
14	1440	546,4	82,4	25,2	20	833	20,97	254,4	521,8	78,7	20,97	266,4
15	1353	554,4	78,5	23,6	20	833	19,64	250,0	529,4	75,0	19,64	261,8
16	1261	555,4	73,3	21,8	20	833	18,14	247,3	530,4	70,0	18,14	259,0
17	1169	554,4	67,9	19,3	20	833	16,06	236,6	529,4	64,8	16,06	247,7
18	1093	374,9	42,9	17,5	20	833	14,56	339,2	358,1	41,0	14,56	355,2

W celu zapewnienia właściwych warunków pomiaru monitorowano stan cieplny silnika, m.in. poprzez rejestrację temperatury płynu chłodzącego T_{ch} . Jednocześnie w trakcie pomiaru zużycia paliwa rejestrowano temperaturę paliwa T_p , która następnie posłużyła do korekty przy przeliczaniu objętościowego zużycia paliwa na masowe, a uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 3. Przebieg zmian momentu obrotowego M_{oz} , mocy N_{ez} , godzinowego G_l i jednostkowego zużycia paliwa g_e dla charakterystyki zewnętrznej ciągnika John Deere 6820 na podstawie danych z systemu diagnostycznego Service ADVISOR

Fig. 3. Progress of changes in torque M_{oz} , power N_{ez} , and hour G_l and unit fuel consumption g_e for John Deere 6820 tractor external characteristic on the basis of data from the Service ADVISOR diagnostic system

Uzyskane wartości minimalnego jednostkowego zużycia paliwa g_{emin} wynosiły dla ciągnika John Deere 6820 – $250,3 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$ przy prędkości obrotowej rzędu $1700 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ oraz $247,7 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$ przy prędkości około $1170 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$. Z przeprowadzonych badań wynika, że wartość minimalna zużycia paliwa odpowiada mocy maksymalnej. Ponadto, można zauważyć płaski przebieg krzywej jednostkowego zużycia paliwa. Porównując wielkość jednostkowego zużycia z badaniami Kamińskiego [2007] (od 225 do $273 \text{ g}\cdot\text{kWh}^{-1}$), stwierdza się, że dla badanego ciągnika mieści się ono w wartościach średnich. Wartość mocy na wałku odbioru mocy N_{wom} wyniosła $89,2 \text{ kW}$ co stanowi $99,1\%$ wartości podawanej przez producenta.

Z badań ciągników modelu 6820 wynika, że elastyczność momentu obrotowego wynosi $e_m = 1,17$, zaś elastyczność prędkości obrotowej $e_n = 1,36$, natomiast elastyczność ogólna silnika $e = 1,59$. Podane wskaźniki elastyczności pozwalają na ocenę przystosowania do zmiennych obciążeń i zmiennej prędkości obrotowej. W porównaniu z badaniami Kamińskiego [2007] uzyskane wskaźniki są stosunkowo niskie. Wiąże się to z charakterem przebiegu krzywej momentu obrotowego i mocy, co w przypadku badanego ciągnika ma inny charakter niż w ciągnikach starszej generacji. Przede wszystkim moc znamionowa nie jest równa mocy maksymalnej, a moment obrotowy ma płaski przebieg dla zakresu prędkości

obrotowej od 1200 do 1700 obr·min⁻¹. Na podstawie analizy przebiegu wszystkich krzywych można określić zakres optymalnej prędkości pracy ciągnika, która w naszym przypadku wynosi od 1600 do 1900 obr·min⁻¹.

Podsumowanie

Wprowadzenie systemu diagnostycznego Service ADVISOR znacznie ułatwiło wykrywanie i usuwanie niesprawności w ciągnikach i maszynach rolniczych, dzięki komunikacji z systemem sterująco-diagnostycznym wbudowanym w pojazd. Ponadto, pozwoliło na identyfikację błędów wygenerowanych przez układy sterujące ciągnika, monitorowanie i rejestrację wszystkich parametrów pracy pojazdu. Zastosowanie diagnostyki pokładowej w ciągniku rolniczym, przy jednoczesnym wykorzystaniu systemu diagnostycznego Service ADVISOR w wyznaczaniu jednostkowego zużycia paliwa g_e , pozwala w sposób wystarczający na określanie jego wartości dla celów użytkowych. System ten pozwala na eliminację aparatury badawczej ingerującej w układ zasilania silnika, a dodatkowo usprawnia pomiar ze względu na brak konieczności jej montowania. Jedynie konieczne jest określenie dokładności z jaką mierzone jest zużycie paliwa.

Pomiary parametrów energetycznych: mocy użytecznej N_e , momentu obrotowego M_o , godzinowego G_c i jednostkowego zużycia paliwa g_e , z wykorzystaniem mobilnego stanowiska dynamometrycznego PT 301 MES w zakresie nominalnej prędkości obrotowej wałka odbioru mocy, umożliwiają dokładną ocenę stanu technicznego badanych ciągników. Dla badanego ciągnika różnica wynosiła niespełna 1% w odniesieniu do wartości podawanych przez producenta, co świadczy o jego dobrym stanie technicznym.

Wyznaczenie charakterystyk przebiegu momentu obrotowego, mocy oraz jednostkowego zużycia paliwa, pozwoliły wyznaczyć zakres prędkości obrotowej optymalnego funkcjonowania silnika, który w naszym przypadku wynosił od 1600 do 1900 obr·min⁻¹.

Bibliografia

- Chlopek Z.** 2006. Tendencje rozwojowe w napędach autobusów miejskich. Eksploatacja i Niezawodność. MAINTENANCE AND RELIABILITY. Nr 1/(29). s. 3-9.
- Havlíček M., Bauer F.** 2004. Wpływ parametrów pracy agregatu do orki na ekonomiczność silnika ciągnikowego. Inżynieria Rolnicza. Nr 3 (63). s. 197-200.
- Jantos J., Mamala J.** 2007. Identyfikacja protokołów transmisji magistrali CAN w pojazdach rolniczych. Inżynieria Rolnicza 6(94). s. 57-63.
- Kamiński J. R.** 2007. Analiza parametrów energetycznych ciągnika URSUS 1134. Inżynieria Rolnicza 3(91). Kraków. s. 67-73.
- Munack A., Speckmann H.** 2001. Communication Technology Is the Backbone of Precision Agriculture. Agricultural Engineering International: the CIGR journal of Scientific Research and Development. Vol. III. May 2001.
- Piekarski W.** 1997. Analiza oddziaływania agregatów ciągnikowych na środowisko przyrodnicze. Rozprawa habilitacyjna, Wyd. Akademia Rolnicza, Lublin. ISSN 0860-4355.
- Rychlik A.** 2006. Metody pomiaru zużycia paliwa pojazdów użytkowych. Eksploatacja i Niezawodność. Nr 4/(32). s. 37-41.

Scarlett A. J. 2001. Integrated control of agricultural tractor and implements: a review of potential opportunities relating to cultivation and crop establishment machinery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30 (2001), s. 167-191.

Skrobacki A., Ekielski A. 2006. Pojazdy i ciągniki rolnicze. *Wiś Jutra* 2006.

Speckmann H., Jahns G. 1999. Development and application of an agricultural BUS for data transfer. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23. s. 219-237.

ASSESSMENT OF ENERGY PARAMETERS FOR JOHN DEERE 6820 FARM TRACTOR CARRIED OUT USING ON-BOARD DIAGNOSTICS

Abstract. The purpose of this work was to evaluate energy parameters of JOHN DEERE 6820 farm tractor using an on-board diagnostics system. Farm tractor (engine) energy parameters obtained during research of this type allow to evaluate tractor energy state. This mainly applies to its power consumption and adjustment to changing conditions of operation, and thus adjustment to variable loads and changing rotational speed. Determination of characteristics for the progress of changes in the torque, power, and unit fuel consumption allows to specify rotational speed range ensuring optimal engine operation. Using the on-board diagnostics and the Service ADVISOR diagnostic system in a farm tractor makes it easier to locate defects and to eliminate any faultiness in farm tractors and machines. Moreover, it allows to determine unit fuel consumption g_e in sufficient way for specifying its value for functional purposes.

Key words: farm tractors, energy parameters, on-board diagnostics

Adres do korespondencji:

Paweł Krzaczek, e-mail: pawel.krzaczek@up.lublin.pl

Katedra Energetyki i Pojazdów

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

ul. Głęboka 28

20-612 Lublin