

CHARAKTERYSTYKA GĘSTOŚCI CZASOWEJ JAKO PODSTAWOWY CYKL OBCIĄŻEŃ W BADANIACH CIĄGNIKÓW ROLNICZYCH

Adam Koniuszy

Zakład Podstaw Techniki, Akademia Rolnicza w Szczecinie

Streszczenie. W artykule opisano metodę tworzenia charakterystyki gęstości czasowej pracy silnika, m.in. dla potrzeb oceny emisji spalin z ciągników rolniczych. Opracowano i przedstawiono wyniki badań ciągnika U 912 zebrane i uśrednione w dwumiesięcznym okresie eksploatacji, w jednym z gospodarstw Pomorza Zachodniego. Przedstawiono zakresy najczęściej występujących obciążeń badanego silnika ciągnikowego wykazując, że nie był on optymalnie eksploatowany. Stwierdzono, że na podstawie charakterystyki gęstości czasowej można tworzyć uproszczone cykle obciążeń do oceny właściwości użytkowych badanej grupy pojazdów.

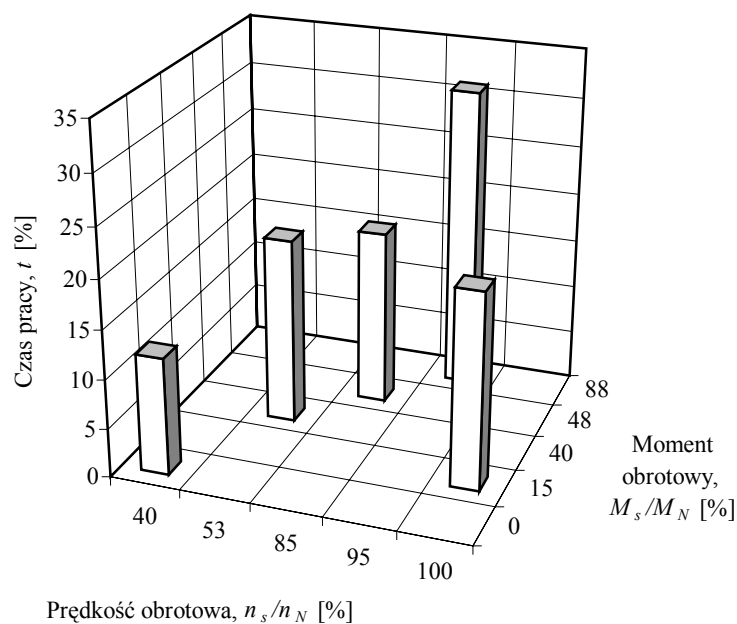
Słowa kluczowe: ciągnik rolniczy, silnik spalinowy, charakterystyka gęstości czasowej, uproszczony cykl obciążeń

Wprowadzenie

Jednym z czynników przyczyniających się do skażenia środowiska przyrodniczego jest emisja spalin z pojazdów drogowych. Obserwowany w ostatnich latach wzrost wskaźników mechanizacji prac w rolnictwie i leśnictwie spowodował, że problem emisji spalin stał się również istotny w grupie ciągników rolniczych. Dane o średniej emisji spalin z ciągników rolniczych są bardzo znikome. Średnie emisje spalin, mierzone w warunkach eksploatacyjnych, w dużym stopniu zależą od obciążeń ciągnika i rodzaju wykonywanej pracy. Ze względu na różnorodność gospodarstw rolnych pod względem: profilu produkcji czy też rodzaju gleb, trudno jest określić globalną emisję spalin z ciągników rolniczych [Hansson i in. 2001].

Pewną standaryzację w tym zakresie zapewniają procedury badawcze zawarte w normach pomiaru emisji spalin. Zgodnie z obowiązującą w Europie normą, pomiary średnich emisji spalin oraz wskaźników ekonomiki pracy silnika odbywają wg ustalonych, statycznych cykli obciążeń zależnie od przynależności do danej grupy pojazdów. Cykle obciążeń stanowią natomiast kombinacje ustawień momentu obrotowego i prędkości obrotowej wału korbowego silnika [PN-EN ISO 8178-4]. Jak wykazują badania, przyporządkowanie ciągników rolniczych do grupy pojazdów drogowych, wg obowiązującej normy badania emisji spalin, daje duże rozbieżności i nie jest zgodne z wynikami pomiarów eksploatacyjnych [Hansson i in. 1999; Hansson i in. 2001].

Dla potrzeb oceny emisji spalin z ciągników rolniczych stworzony został pięciofazowy test badawczy Deutza (rys. 1), który jest bardziej reprezentatywny dla ciągników rolniczych niż cykl obciążeń wg normy PN-EN ISO 8178-4 [Hansson i in. 2001].



Rys. 1. Pięciofazowy cykl obciążeń silnika ciągnikowego [Hansson i in. 2001]; n_s - prędkość obrotowa wału korbowego silnika, n_N - prędkość obrotowa przy mocy znamionowej, M_s - moment obrotowy silnika, M_N - moment obrotowy przy mocy znamionowej
 Fig. 1. 5 - phase engine load cycle [Hansson i in. 2001]; n_s - engine speed, n_N - rated speed, M_s - engine torque, M_N - rated torque

Test ten został stworzony dla ciągników rolniczych o mocy 50-70 kW pracujących w warunkach rolnictwa na terenie Niemiec. Jednak pewne rozbieżności w wynikach pomiarów średnich emisji spalin i wskaźników ekonomiki pracy mogą wystąpić przy różniących się: technologiach upraw, organizacji produkcji rolnej czy też rodzaju i rozmieszczenia pól uprawnych.

Dokładniejszą metodą oceny emisji spalin z ciągników rolniczych jest ich pomiar na podstawie sporządzonej charakterystyki gęstości czasowej TD (Time Density), która stanowi zapis czasów trwania poszczególnych obciążeń silnika. Rezultaty badań prowadzonych na reprezentatywnej grupie ciągników mogą w znacznym stopniu przyczynić się do ujednocnienia metod oceny emisji spalin z ciągników rolniczych. Celem badań było sporządzenie charakterystyki TD silnika Z8401.12 oraz przekształcenie jej do uproszczonego cyklu obciążeń.

Metodyka badań

Charakterystyka TD wiąże własności silnika ze sposobem jego eksploatacji. Charakterystykę TD zidentyfikować można na podstawie dwóch synchronicznych przebiegów: prędkości obrotowej oraz momentu obrotowego silnika w czasie. Pole pracy silnika w układzie współrzędnych $n_s - M_s$ dzielone jest na prostokątne elementy o wymiarach (1), (2):

$$\Delta n_s = \frac{n_{s \max} - n_{s \min}}{X} \quad (1)$$

$$\Delta M_s = \frac{M_{s \max} - M_{s \min}}{Y} \quad (2)$$

Dla elementu o współrzędnych (x, y) gęstość czasową można zdefiniować następująco (3):

$$TD_{(x,y)} = \frac{t_{(x,y)}}{t_e} \quad (3)$$

gdzie:

- $TD_{(x,y)}$ – charakterystyka gęstości czasowej,
- $t_{(x,y)}$ – czas pracy silnika, w którym wielkości n_s i M_s należą do pola oznaczonego współrzędnymi (x,y) ,
- t_e – ogólny czas pracy (eksploatacji) silnika.

Tworzenie charakterystyki TD wymaga dodatkowego wyposażenia silnika w urządzenia rejestrujące moment i prędkość obrotową wału korbowego silnika. Sposób pomiaru tych wielkości, szczególnie momentu obrotowego silnika, wymusza znaczną ingerencję w konstrukcję całego ciągnika a niekiedy jest praktycznie niemożliwa [Kim i in. 2000].

Znacznie łatwiejsze w realizacji są pośrednie metody pomiaru momentu obrotowego. Po interpretacji wybranych wskaźników, m.in. chwilowego zużycie paliwa w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika, możliwe jest obliczenie wartości momentu obrotowego jaki rozwija on w danej chwili [Harris 1992; de Souza, Milanez 1988].

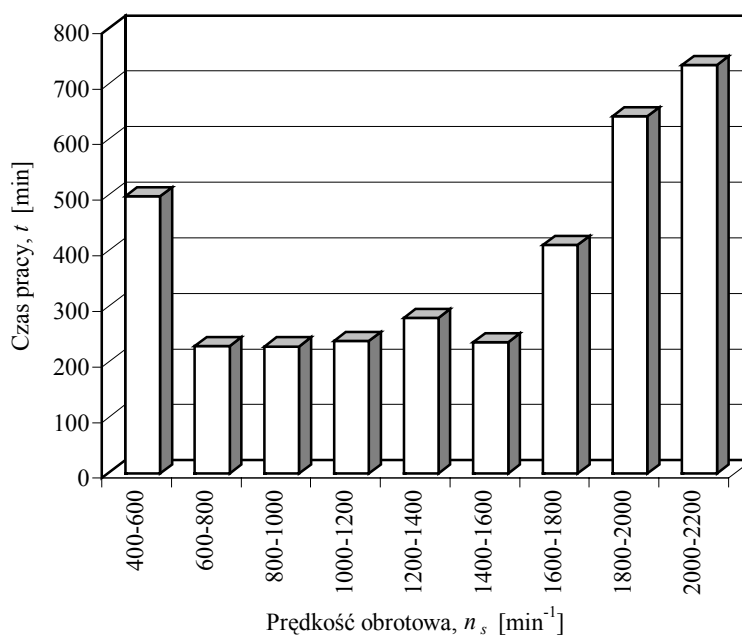
W Zakładzie Podstaw Techniki AR Szczecin opracowano i wykonano prototyp urządzenia TRS (Tractor Recording System) do sporządzania charakterystyki TD tłokowego silnika spalinowego. TRS mierzy i rejestruje w czasie rzeczywistym prędkość obrotową wału korbowego silnika oraz dokonuje, metodą pośrednią, obliczeń wartości momentu obrotowego na podstawie pomiaru zużycia paliwa w funkcji liczby obrotów wału korbowego [Koniuszy, Nadolny 2007]. Prototyp TRS testowany był w warunkach eksploatacyjnych na ciągniku U 912 w jednym z gospodarstw regionu Pomorza Zachodniego.

Wyniki badań

W badanym, dwumiesięcznym okresie eksploatacji zebrano i zarejestrowano dane pomiarowe z 58,4 godz. efektywnej pracy silnika. Na rys. 1 przedstawiono rozkład prędkości obrotowych wału korbowego silnika. Najczęściej utrzymywany przez operatora ciągni-

ka zakres prędkości obrotowych mieścił się w przedziale 2000-2200 min^{-1} i stanowił 21% czasu eksploatacji w danych warunkach pracy.

Przedstawiony na rys. 2 rozkład prędkości obrotowych wału korbowego silnika jest podobny do rozkładu otrzymanego w badaniach samochodu STAR (silnik 359M), mimo odmiennych warunków pracy ciągnika i samochodu ciężarowego [Czarnigowski i in. 2002]. Utrzymywanie wysokich prędkości obrotowych wału korbowego silnika wynikało głównie z potrzeby uzyskania możliwie największej prędkości liniowej w transporcie.



Rys. 2. Rozkład zarejestrowanych prędkości obrotowych wału korbowego

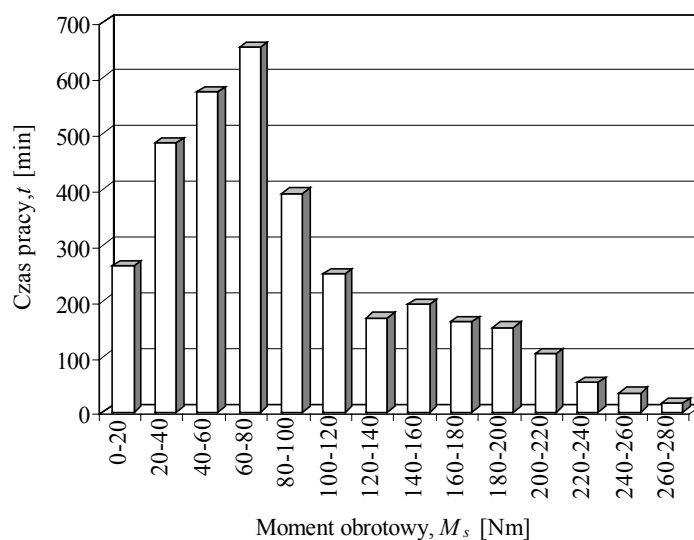
Fig. 2. Engine speed distribution

Rys. 3 obrazuje rozkład momentu obrotowego rozwijanego przez badany silnik. Najdłużej, bo przez 19% czasu eksploatacji, badany silnik obciążony był momentem 60-80 Nm co stanowi zaledwie 25-32% momentu przy mocy znamionowej. Tak małe obciążenie silnika wynikało przede wszystkim ze specyfiki wykonywanej pracy, tj. pustych przebiegów ciągnika w transporcie.

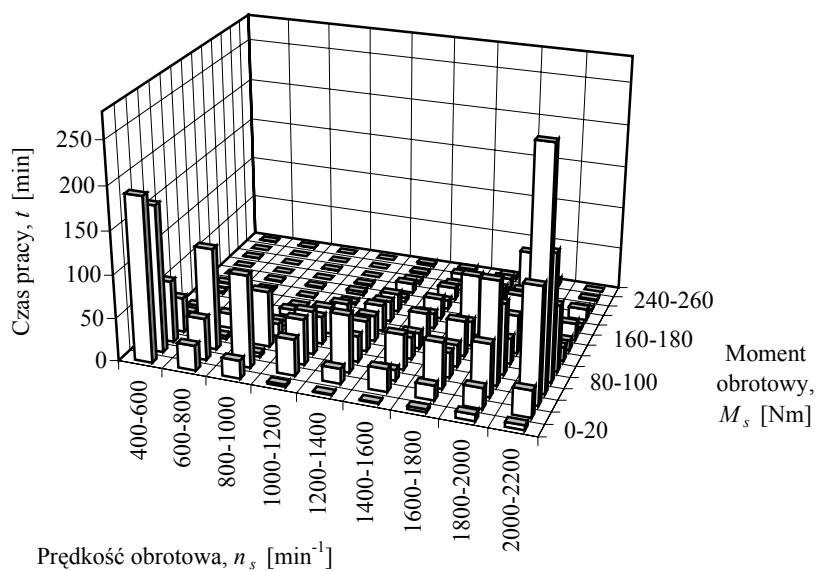
Na rys. 4 przedstawiono charakterystykę TD badanego silnika stanowiącą ostateczny obraz udziału poszczególnych obciążeń w polu podaży mocy badanego silnika.

Badany silnik pracował najdłużej, bo przez 8% czasu eksploatacji, z mocą w przedziale 12,57-18,43 kW, co stanowi 22-32% mocy znamionowej. Drugim, co do długości czasu eksploatacji, tj. 5,5%, był stan pracy silnika w obszarze biegu jałowego przy 400-600 min^{-1} oraz momencie obrotowym nie przekraczającym 20 Nm. Przedstawiona na rys. 4 charakterystyka TD wskazuje wyraźnie, że w obszarze minimum jednostkowego zużycia paliwa,

Charakterystyka gęstości czasowej...



Rys. 3. Rozkład zarejestrowanych momentów obrotowych silnika
 Fig. 3. Engine torque distribution

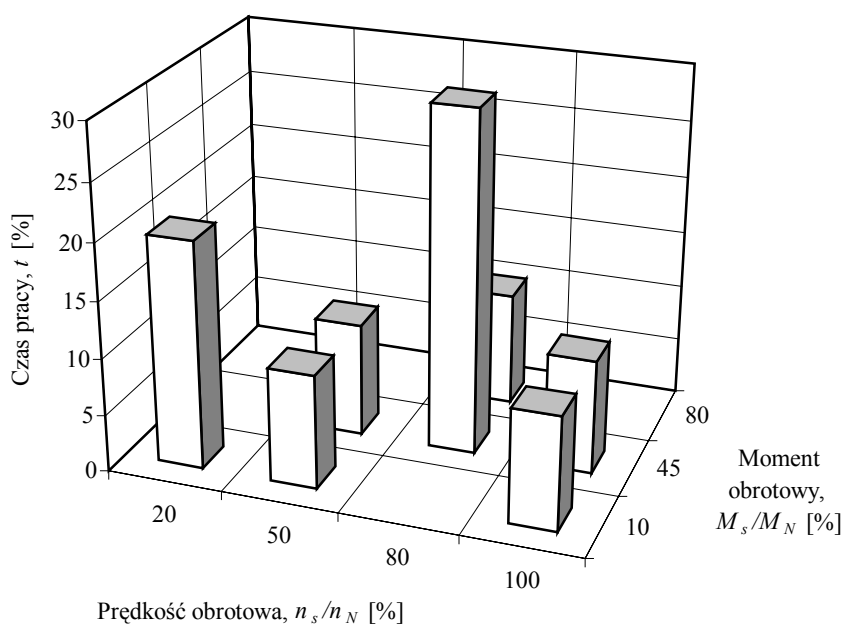


Rys. 4. Charakterystyka TD badanego silnika
 Fig. 4. Time density characteristic

tj. $1400-1600 \text{ min}^{-1}$ oraz $240-260 \text{ Nm}$, silnik pracował zaledwie przez 0,23% czasu eksploatacji. Dla porównania, cykl obciążeń wg Deutza zakłada 15% czasu obciążenia silnika w obszarze minimum jednostkowego zużycia paliwa. Należałoby zatem zwiększyć obciążenie badanego ciągnika poprzez agregatowanie z cięższym sprzętem lub eksploatować inny ciągnik, o mniejszej mocy silnika.

W celu wykonania uproszczonego cyklu obciążeń ograniczono liczbę przedziałów wyznaczających zakresy badanych zmiennych oraz wprowadzono bezwymiarową skalę procentową (rys. 5). W ten sposób otrzymano siedem zakresów (faz) obciążeń badanego silnika. Liczba faz wynikała z uśrednienia i zaokrąglenia poszczególnych wartości na osiach wykresu do poziomu 5%.

Odzwierciedleniem pracy badanego ciągnika jest realizacja obciążeń uproszczonego cyklu za pomocą hamulca w hamowni silnikowej lub pośrednio, poprzez wałek odbioru mocy za pośrednictwem hamulca przewoźnego. Uzyskane w ciągu kilkunastominutowego testu wyniki pomiarów, w tym także pomiarów średnich emisji spalin, są adekwatne do rzeczywistych wskaźników pracy badanego ciągnika.



Rys. 5. Uproszczony, siedmiofazowy cykl obciążeń; n_s - prędkość obrotowa wału korbowego silnika, n_N - prędkość obrotowa przy mocy znamionowej, M_s - moment obrotowy silnika, M_N - moment obrotowy przy mocy znamionowej

Fig. 5. Simple, 7 - phase engine load cycle; n_s - engine speed, n_N - rated speed, M_s - engine torque, M_N - rated torque

Przedstawiony na rys. 5 cykl obciążeń jest jedynie przykładem sporządzonym na podstawie dwumiesięcznego okresu badań. Dysponując danymi o stanie obciążeń reprezentatywnej grupy silników ciągnikowych z co najmniej jednego sezonu agrotechnicznego, można stworzyć uproszczony cykl obciążeń stanowiący podstawę do oceny średniej emisji spalin oraz wskaźników ekonomiki pracy silnika.

Wnioski

1. W obszarze minimum jednostkowego zużycia paliwa badany silnik pracował zaledwie przez 0,23% czasu eksploatacji.
2. Najczęściej utrzymywany był zakres wysokich prędkości obrotowych wału korbowego silnika, tj. 2000-2200 min⁻¹ a momentu obrotowego 60-80 Nm.
3. Duży udział czasu eksploatacji, tj. 5,5%, stanowił bieg jałowy badanego silnika.
4. Badania reprezentatywnej grupy ciągników pozwalają na stworzenie uproszczonego cyklu obciążeń, stanowiącego podstawę do oceny średniej emisji spalin z ciągników rolniczych.

Bibliografia

- Czarnigowski J., Drożdżel P., Kordos P.** 2002. Charakterystyczne zakresy prędkości obrotowych wału korbowego podczas pracy silnika spalinowego w warunkach eksploatacji samochodu. *Eksploatacja i Niezawodność* 2(14). s. 55-62.
- de Souza E. G., Milanez L.F.** 1988. Indirect Evaluation of the Torque of Diesel Engines. *Transactions of the ASAE* 5 (31). s. 1350-1354.
- Hansson P.-A., Lindgren M., Noren O.** 2001. A Comparison between Different of calculating Average Engine Emissions for Agricultural Tractors. *Journal Agricultural Engineering Research* 1(80). s. 37-43.
- Hansson P.-A., Noren O., Bohm M.** 1999. Effects of Specific Operational Weighting Factors on Standardized Measurements of Tractor Engine Emissions. *Journal Agricultural Engineering Research* 74. s. 347-353.
- Harris H.D.** 1992. Prediction of the Torque and Optimum Operating Point of Diesel Engines using Engine Speed and Fuel Consumption. *Journal Agricultural Engineering Research* 53, 93-101.
- Kim J.H., Kim K.U., Wu Y.G.** 2000. Analysis of transmission load of agricultural tractors. *Journal of Terramechanics* 37. s. 113-125.
- Koniuszy A., Nadolny R.** 2007. Sposób monitoringu pracy ciągnika oraz urządzenie do jego realizacji. Zgłoszenie Patentowe nr: P 381892.
- PN-EN ISO 8178-4. 1999. Silniki spalinowe tłokowe. Pomiar emisji spalin. Cykle badawcze o różnym zastosowaniu.

TIME DENSITY CHARACTERISTIC AS A SIMPLE LOAD CYCLE FOR RESEARCH AGRICULTURAL TRACTORS

Summary. The article describes a method of creating time density characteristic of an engine for example of evaluation of average emission of exhausts from agricultural tractors. The data being the effect of two month exploitation research of agricultural tractor U 912 on an agricultural farm in Pomorze Zachodnie, were collected, handled, averaged and presented. Range of the most frequent loads occurring in the agricultural tractor's engine under research shows, that it was not optimally exploited. It was ascertained that on the grounds of time density characteristics simplified cycles of loads can be made for the purpose of evaluation of exploitation properties of the group of vehicles under research.

Key words: tractor engine, time density characteristic, simple load cycle

Adres do korespondencji:

Adam Koniuszy; e-mail: adamkoniuszy@agro.ar.szczecin.pl
Zakład Podstaw Techniki
Akademia Rolnicza w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI nr 1
71-459 Szczecin