

*Adam Koniuszy, Jacek Dobrzycki*  
*Zakład Podstaw Techniki*  
*Akademia Rolnicza w Szczecinie*

## **METODA TWORZENIA ZASTĘPCZYCH CYKLI OBCIĄŻEŃ SILNIKÓW SPALINOWYCH POJAZDÓW ROLNICZYCH NA PRZYKŁADZIE CIĄGNIKA U 912**

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono metodykę tworzenia zastępczego cyklu obciążeń ciągnika U 912 na przykładzie regionu Pomorza Zachodniego. Na podstawie analizy statycznych stanów pracy silnika występujących podczas wykonywania elementarnych zabiegów agrotechnicznych odtworzono profil obciążeń silnika w roku. W rezultacie uzyskano uproszczony pięciofazowy cykl obciążeń silnika, który odzwierciedla najbardziej prawdopodobne warunki pracy badanego silnika ciągnikowego w danym regionie.

**Słowa kluczowe:** ciągnik rolniczy, przeciętne gospodarstwo rolne, model eksploatacji, cykl obciążeń silnika

### **Wstęp**

Modelowanie procesu eksploatacji ciągnika rolniczego wynika z potrzeby oceny i optymalizacji pracy silnika zależnie od warunków środowiskowych użytkownika. W krajach Europy Zachodniej oraz USA opracowano wiele modeli symulujących proces eksploatacji pojazdów. Dotyczą one jednak silników pojazdów drogowych i są wykorzystywane przede wszystkim do wyznaczania ekologicznych charakterystyk silników pojazdów poruszających się w ruchu komunikacyjnym nie uwzględniając ciągników rolniczych. W opisywanych testach jezdnych (modelach eksploatacji) pojazdów drogowych wykorzystywany jest zbiór danych statystycznych zgromadzonych w określonym przedziale czasowym. Zbiór ten powstaje m.in. w wyniku rejestracji takich parametrów jak: prędkość pojazdu, stopień przełożenia, chwilowe zużycie paliwa. Ze względu na cele użytkowe samochodowe testy jezdne obejmują uproszczone i schematyczne warunki eksploatacji pojazdów, np. uzależniając emisje toksycznych składników spalin co najwyżej od średnich prędkości jazdy [Chłopek 1999; Merkisz 1993].

Zastosowanie już istniejących modeli ruchu w grupie pojazdów jakimi są ciągniki rolnicze może prowadzić do dużych nieścisłości, a w warunkach polskich bez uwzględnienia poziomu krajowej czy regionalnej mechanizacji prac wykonywanych w rolnictwie może być praktycznie niemożliwe. Niezbędna zatem jest bardzo dokładna znajomość prac wykonywanych przez ciągnik rolniczy. Modele symulacyjne opracowywane na podstawie analizy poszczególnych zabiegów agrotechnicznych wymagają zarazem szeregu założeń upraszczających, chociażby ze względu na różnorodność warunków (np. klimatycznych, glebowych) występujących w gospodarstwie oraz oddziaływaniem człowieka na przebieg wykonywanych prac [Skrobcki 1986]. Zatem jednym z istotnych czynników jest położenie geograficzne i środowiskowe gospodarstw rolnych stanowiących podstawę do modelowania procesu eksploatacji ciągnika, stąd też opisana w badaniach metoda jest wykonana na przykładzie określonego obszaru.

### Metodyka badań

Zakres badań dotyczy metodologii tworzenia zastępczego cyklu obciążeń silnika ciągnikowego na przykładzie Pomorza Zachodniego i opiera się w głównej mierze na informacjach zaczerpniętych z danych ankietowych przeprowadzonych w gospodarstwach rolnych tego makroobszaru. Przedmiotem bilansowania informacji charakteryzujących pracę ciągnika są następujące dane o stanie obciążenia i sterowania silnika: moment obrotowy silnika, prędkość obrotowa silnika, zebrane i uśrednione w dostatecznie długim czasie. W przypadku tworzenia modeli eksploatacji silników ciągnikowych z obszarów makroregionów, jak ma to miejsce w niniejszej pracy, najkorzystniejsze jest bilansowanie informacji w okresie co najmniej jednego roku, co odpowiada pełnemu cyklowi produkcji w rolnictwie.

Praca ciągnika podczas wykonywania pojedynczego zabiegu agrotechnicznego, np. orki, jest najbardziej zbliżona do warunków statycznych stanu pracy silnika. Najczęściej ciągnik porusza się wtedy na jednym przełożeniu i przy stałej prędkości obrotowej silnika. Odtworzenie statycznych stanów pracy silnika odpowiadających rzeczywistej eksploatacji może być dokonane dla każdego przebiegu prędkości  $v(t)$  oraz wielkości charakteryzujących opory ruchu i przełożenia w układzie napędowym ciągnika. Z bilansu energetycznego ciągnika oraz założenia o zachowaniu więzi kinematycznej w układzie napędowym można wyznaczyć statyczne stany pracy silnika (1), (2):

$$M_e(t) = \frac{r_d}{i(t) \cdot \eta_{mn}(t)} \sum_j F_{(j)}(t) + \frac{\sum_j M_{wOM(j)}(t)}{i_{wOM}(t) \cdot \eta_{mn}(t)} \quad (1)$$

$$n(t) = \frac{v(t)}{r_d} \cdot \frac{30}{\pi} i(t) \quad (2)$$

gdzie:

- $F_{(j)}(t)$  – siły oporu jazdy,
- $r_d$  – promień dynamiczny kół napędowych,
- $i(t)$  – przełożenie w układzie napędowym,
- $i_{WOM}(t)$  – przełożenie w układzie napędowym WOM,
- $\eta_{mn}(t)$  – sprawność mechaniczna układu napędowego,
- $v(t)$  – prędkość ciągnika,
- $M_e(t)$  – moment obrotowy silnika,
- $M_{WOM}(t)$  – moment obrotowy WOM,
- $n(t)$  – prędkość obrotowa silnika.

Zależności (1) i (2) stanowią parametryczną postać zależności (3):

$$M_e = t(n) \quad (3)$$

która jest zbiorem punktów na charakterystyce prędkościowej momentu obrotowego silnika, oznaczających statyczne stany pracy silnika odpowiadające zgodnie z kryterium (1) – (2) stanom w jego rzeczywistej eksploatacji. Analiza przebiegów momentu obrotowego i prędkości obrotowej umożliwi wyznaczenie dwuwymiarowych rozkładów prawdopodobieństwa stanów pracy silnika. Stan pracy silnika podczas eksploatacji uzależniony jest m.in. od: prędkości jazdy ciągnika, oporów ruchu (własnych i narzędzia), masy ciągnika lub ciągnika i agregatu, przełożeń w układzie napędowym, promienia dynamicznego kół napędowych oraz konstrukcji układu napędowego ciągnika. Przy znacznym ujednoczeniu konstrukcji układów napędowych ciągników w porównywalnych klasach uciążu, decydującymi czynnikami są: prędkość obrotowa silnika i jego obciążenie momentem obrotowym [Chłopek 1999].

Proces eksploatacji ciągnika zależy od oporów jakie stawiają maszyny współpracujące przy uwzględnieniu ich parametrów roboczych (głębokość i szerokość pracy). W prostych modelach podział stanów eksploatacji ciągnika może sprowadzać się do analizy oporów wywieranych na ciągnik przez agregat podczas zabiegów uprawowych, zaplanowanych w kartach technologicznych uprawy konkretnej rośliny. W modelach bardziej złożonych zakładany proces eksploatacji może odpowiadać dość precyzyjnym stanom pracy ciągnika, np. z uwzględnieniem czynności potrzebnych na wykonanie uwroci, agregatowania i przygotowania sprzętu do pracy, itp.

Uzyskane w badaniach ankietowych informacje dotyczyły przede wszystkim: położenia i areалу gospodarstwa, profilu produkcji, struktury zasiewów, rodzaju gleb, parku ciągnikowo-maszynowego. Badaniami ankietowymi objęto obszar wynoszący około 0,5% użytków rolnych Pomorza Zachodniego. Ankiety prowadzono w gospodarstwach rolnych różnej wielkości, od 6 ha do 620 ha i o różnym profilu produkcji. Po wykonaniu analiz statystycznych, polegających m.in. na wyznaczeniu wartości średnich i wykonaniu rozkładów prawdopodobieństw analizowanych czynników, takich jak: powierzchni upraw, rodzaju gleb, ilości i rodzaju ciągników i maszyn, itp. uzyskano charakterystykę przeciętnego (statystycznie średniego) gospodarstwa rolnego na Pomorzu Zachodnim [Koniuszy 2005]. Dalsza analiza danych potrzebnych do stworzenia zastępczego cyklu obciążeń silnika polegała m.in. na określeniu poszczególnych upraw polowych oraz czynności wykonywanych przez ciągnik U 912 z uwzględnieniem najczęściej użytkowanych w badanych gospodarstwach maszyn współpracujących. Następnie, zgodnie z ogólnym bilansem mocy ciągnika (4), wyznaczono wartości poszczególnych składników bilansu z uwzględnieniem takich parametrów jak: rodzaj podłoża, szerokość, głębokość oraz prędkość robocza narzędzia, itp. [Kuczewski 1974; Dajniak 1985].

$$N_s = M_s \cdot \omega_s \cdot (1 - \eta) + W_{tc} \cdot v + P_n \cdot v_s + P_u \cdot v \quad (4)$$

gdzie:

- $N_s$  – moc użyteczna silnika,
- $M_s$  – moment obrotowy silnika,
- $\omega_s$  – prędkość obrotowa silnika,
- $\eta$  – sprawność układu przeniesienia napędu,
- $W_{tc}$  – siła oporu toczenia ciągnika,
- $v$  – prędkość ciągnika,
- $P_n$  – siła tracona wskutek poślizgu kół napędowych,
- $v_s$  – prędkość poślizgu kół napędowych,
- $P_u$  – siła uciągu, użyteczna ciągnika.

Jednym z najistotniejszych czynników rozpatrywanych w bilansie mocy jest rodzaj podłoża, po jakim porusza się ciągnik. Związane jest to nie tylko z siłą oporu toczenia samego ciągnika  $W_{tc}$  oraz mocą traconą na pokonanie poślizgu  $P_n \cdot v_s$ , ale przede wszystkim z siłą uciągu  $P_u$  wynikającą z oporu zastosowanych narzędzi uprawowych. Dlatego też, w celu wyznaczenia jednostkowego oporu narzędzi, przyporządkowano kompleksom przydatności rolniczej gleb występujących w badanych gospodarstwach właściwe opory jednostkowe przy optymalnym stanie uwilgotnienia gleby. W ten sposób obliczono zapotrzebowanie mocy efektywnej dla każdej z maszyn rolniczych współpracującej z ciągnikiem U 912.

## Wyniki i dyskusja

Zabiegi uprawowe zaplanowane w kartach technologicznych przeciętnego gospodarstwa rolnego na Pomorzu Zachodnim, z udziałem ciągnika U 912 oraz maszyn współpracujących, zestawiono w postaci profilu obciążenia silnika ciągnikowego w skali roku zależnie od rodzaju gleb i uprawianych roślin (tab. 1) [Dobrzycki, Koniuszy 2005].

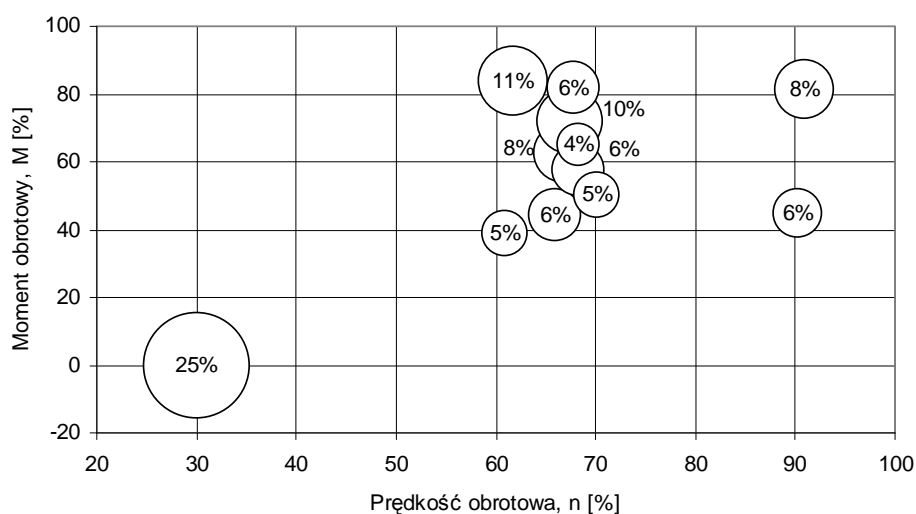
*Tabela. 1. Profil obciążenia silnika Z 8401.12 w roku*

*Table. 1. The years engine Z 8401.12 load*

Zabieg agrotechniczny (maszyna)	Zapotrzebowanie na moc, $N_e$ [kW]	Względny udział czasu trwania zabiegu, t [%]
Podorywka (U 043/1)	31,50	6,07
	23,20	5,80
Orka (U 024)	45,00	4,53
	33,80	3,62
	25,50	4,71
	28,20	4,35
Doprawianie gleby (U 708/2)	27,70	2,27
	21,40	2,99
	43,80	3,63
	28,20	1,45
Siew i sadzenie (S 045/2, S 211/1)	22,00	4,80
	28,70	1,36
	24,00	3,62
	17,70	3,62
	14,40	2,99
	44,20	7,25
Nawożenie (N 218/2)	29,50	5,53
	34,90	9,52
	48,70	1,08
	16,50	2,96
Zbiór plonów (Z 643)	24,80	14,50
Transport (PS 2-09.07)	24,70	3,35
Suma		100

Adam Koniuszy, Jacek Dobrzycki

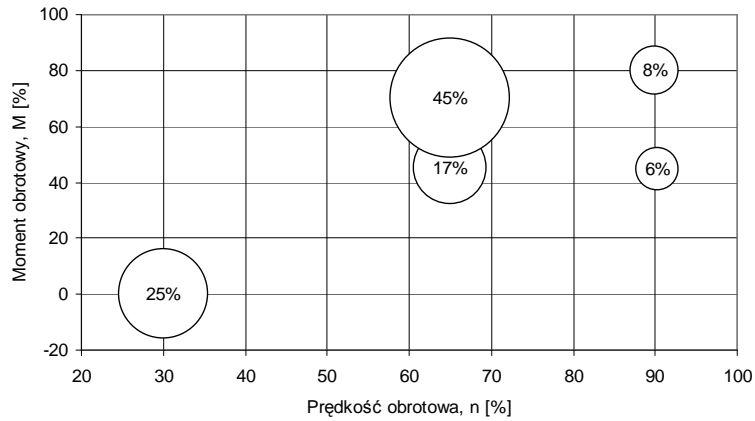
Korzystając z opracowanych wcześniej metod optymalizacji pracy silnika ciągnikowego [Wang, Zoerb 1989; Souza, Santa Catarina 1999] dokonano wyboru przełożeń dla każdego zabiegu agrotechnicznego z tab. 1 i wyznaczono optymalne prędkości obrotowe i momenty obciążające silnik ciągnika U 912 [Koniuszy 2004]. Na tej podstawie utworzono cykl obciążeń badanego ciągnika charakterystyczny dla przeciętnego gospodarstwa rolnego na Pomorzu Zachodnim (rys. 1).



Rys. 1. Wielofazowy cykl obciążeń badanego silnika (pola powierzchni kół proporcjonalne do udziału poszczególnych faz)

Fig. 1. Multiphase engine load cycle (field of circle proportionally to phase)

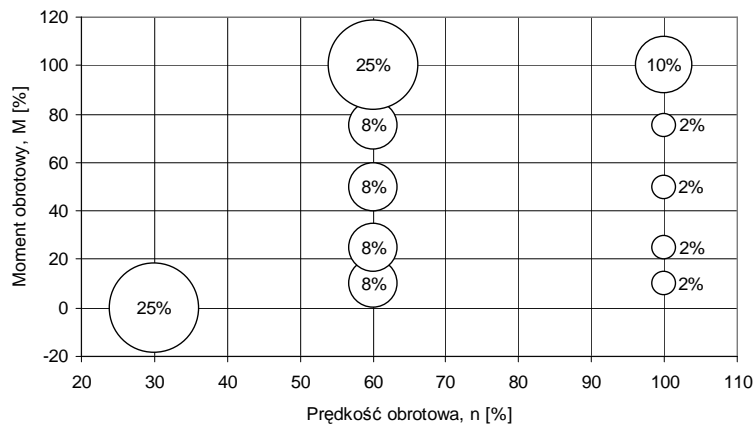
Pierwszą fazę cyklu (bieg jałowy) dobrano na podstawie testu jedenastofazowego [PN-EN ISO 8178-4], gdyż w przedstawionym modelu nie analizowano stanów pracy silnika podczas czynności pomocniczych takich jak: agregatowanie, uwrocia, itp. Przyjmując założenia upraszczające, polegające na zsumowaniu i uśrednieniu pól powierzchni obszarów pracy silnika oddalonych od siebie o mniej niż 10%, otrzymano pięć najczęściej występujących obszarów obciążeń silnika eksploatowanego w przeciętnym gospodarstwie rolnym na Pomorzu Zachodnim, rys. 2.



Rys. 2. Pięciofazowy cykl obciążeń badanego silnika (pola powierzchni kół proporcjonalne do udziału poszczególnych faz)

Fig. 2. 5-phase engine load cycle (field of circle proportionally to phase)

Zmienną niezależną w opracowanym cyklu jest względny udział czasu trwania poszczególnych zabiegów agrotechnicznych w skali roku. Dla porównania przedstawiono również obecnie obowiązujący w Europie, m.in. dla ciągników rolniczych, cykl badawczy pojazdów typu B (rys. 3) [PN-EN ISO 8178-4].



Rys. 3. Jedenastofazowy, uniwersalny test europejski (pola powierzchni kół proporcjonalne do udziału poszczególnych faz)

Fig. 3. 11-phase European test (field of circle proportionally to phase)

*Adam Koniuszy, Jacek Dobrzycki*

Realizacja w warunkach hamownianych przedstawionych na rys. 2 i 3 sekwencji faz pracy badanego silnika, z których każda jest określona prędkością obrotową, momentem obrotowym oraz współczynnikiem wagi proporcjonalnym do pola powierzchni pojedynczego koła, powinna trwać co najmniej 10 min dla każdego wyznaczonego w teście stanu pracy silnika [PN-EN ISO 8178-4].

## **Wnioski**

1. Modelowanie procesu eksploatacji ciągnika wymaga zbudowania modelu gospodarstwa rolnego reprezentatywnego dla określonego regionu. Model gospodarstwa jest podstawą do odwzorowania stanów eksploatacji ciągnika zachodzących w procesie produkcji rolnej.
2. Obciążenie silnika ciągnikowego występujące w regionie Pomorza Zachodniego, przedstawione w formie wielofazowego cyklu, rys. 1, różni się znacznie od obciążenia wynikającego z obowiązującej normy cyklu europejskiego, rys. 3.
3. Reprezentatywny dla regionu Pomorza Zachodniego jest pięciofazowy cykl obciążeń silnika ciągnikowego, rys. 2. Największy udział czasu pracy silnika w tym cyklu, tj. 45% odpowiada obciążeniu 70% znamionowego momentu obrotowego przy 65% znamionowej prędkości obrotowej silnika.

## **Bibliografia**

Chłopek Z. 1999. Modelowanie procesów emisji spalin w warunkach eksploatacji trakcyjnej silników spalinowych. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej*, z. 173, Mechanika, Warszawa.

Dajniak H. 1985. *Ciągniki. Teoria ruchu i konstruowanie*. WKiŁ, Warszawa.

Dobrzycki J., Koniuszy A. 2005. Modelowanie procesu eksploatacji ciągnika rolniczego w warunkach województwa zachodniopomorskiego. *Inżynieria Rolnicza*, nr 3(63), s. 141-147.

Koniuszy A. 2004. Optymalizacja wyboru przełożeń ciągnika U 912. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, nr 4(46), s. 13-20.

Koniuszy A. 2005. Proces eksploatacji ciągników w gospodarstwach rolnych Pomorza Zachodniego. *Motrol, Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*, t. 7, s. 105-113.

Kuczewski J. 1974. *Podstawy eksploatacji agregatów rolniczych*. PWRiL, Warszawa.



Merkisz J. 1993. Wpływ motoryzacji na skażenie środowiska naturalnego. Wyd. Politech. Pozn., Poznań.

PN-EN ISO 8178-4. 1999. Silniki spalinowe tłokowe. Pomiar emisji spalin. Cykle badawcze silników o różnym zastosowaniu. PKN.

Skrobacki A. 1986. Wpływ czynników przyrodniczych i organizacyjnych na zużycie paliw silnikowych w procesach trakcyjnych w gospodarstwie rolnym. Rozprawy Naukowe i Monografie. SGGW, Warszawa.

Souza E. G., Santa Catarina A. 1999. Optimum Working Curve for Diesel Engines. Trans. ASAE, vol. 42(3), s. 559-563.

Wang G., Zoerb G. C. 1989. Determination of Optimum Working Points for Diesel Engines. Trans. ASAE, vol. 32(5), s. 1519-1522.

## **THE METHOD OF CREATING A REPLACING CYCLE OF THE ENGINE LOAD IN FARM VEHICLES THE EXAMPLE ON THE FARM TRACTOR U 912**

### **Summary**

The aim of this article is to show a methodology of creating a replacing cycle of the power load for the farm tractor U 912 in the conditions of Western Pomerania Region. According to the analysis of the smooth running of engine during the basis agricultural operations, the profile of the engine load in a year was created. The result was a simplified, 5 – phase power load cycle, which can be a representative for the conditions in this region.

**Key words:** farm tractor, agricultural farm, use model, engine load cycle