

Robert PIETRUSZEWSKI, Rafał DYCHTO

ANALIZA PRZEPŁYWU MOCY NA PRZYKŁADZIE CIĄGNIKA ROLNICZEGO FARMTRAC 7110DT

W artykule omówiony został aspekt zapotrzebowania na moc przy wykonywaniu przez ciągniki rolnicze stawianych im zadań polowych i transportowych w oparciu o szczegółową analizę przepływu mocy dokonaną na przykładzie ciągnika rolniczego Farmtrac 7110DT. Wskazano na przyczyny dyskomfortu użytkownika ciągnika przy wykonywaniu prac polowych spowodowanego zbyt dużym zapotrzebowaniem mocy, przewyższającym maksymalną moc silnika

WSTĘP

Współczesny ciągnik rolniczy należy uznać za konstrukcję, której poza sferą zaspokajania podstawowych potrzeb transportowych stawiane są dodatkowe zadania. Uniwersalność zastosowania tego pojazdu w połączeniu z mnogością możliwości przyłączenia dodatkowego osprzętu powoduje rozbudowanie układu przeniesienia mocy, a tym samym zwiększenie stopnia komplikacji poszczególnych podzespołów ciągnika. Sposób w jaki dystrybuowana jest moc determinuje schemat przepływu mocy mający charakter układu równoległego z dużą ilością gałęzi, zależną od ilości odbiorników mocy.

- Do podstawowych odbiorników mocy ciągnika zaliczyć należy:
- koła napędowe
 - wałek odbioru mocy (WOM)

Oprócz tych dwóch podstawowych gałęzi, rozróżniamy wiele mniejszych, których liczba uzależniona jest od ilości dodatkowych odbiorników i uwarunkowana wyposażeniem ciągnika.

O uniwersalności ciągnika rolniczego świadczą możliwości osiągania stawianych mu celów, co niewątpliwie wiąże się z konsumpcją dużych ilości energii. Właściwy sposób transmisji mocy do odbiorników wyrażający się wysoką sprawnością przesyłu energii, jak i właściwy dobór odbiorników pod względem ich zapotrzebowania na moc przekłada się na jakość i wygodę użytkownika ciągnika. Niemniej jednak próby polowe dwóch ciągników o zbliżonej masie i mocy znamionowej silnika mogą budzić rozbieżne opinie wśród użytkowników. W większości tego typu przypadków o dyskomforcie użytkownika ciągnika rolniczego świadczyć mogą dysproporcje w przepływie mocy w poszczególnych gałęziach bilansu mocy.

1. STRATY MOCY

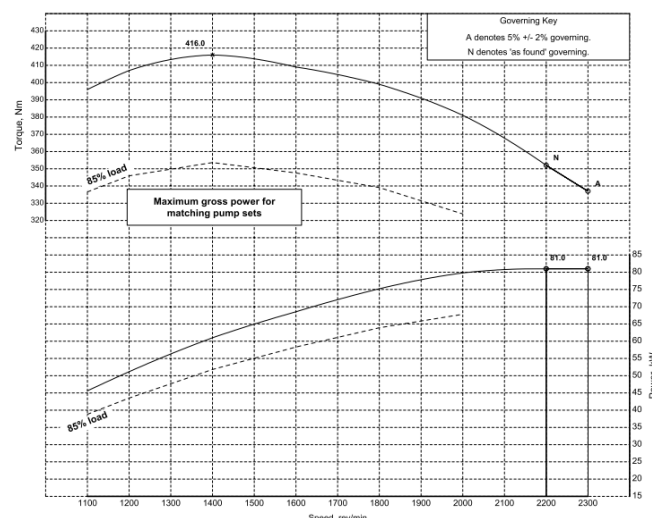
1.1. Przepływ mocy

Analizę strat mocy wykonano na przykładzie ciągnika rolniczego Farmtrac 7110DT. Poniżej przedstawiono widok ciągnika Farmtrac 7110DT.



Rys. 1. Ciągnik rolniczy Farmtrac7110DT

Ciągnik napędzany jest czterocylindrowym turbodoładowanym silnikiem o zapłonie samoczynnym oraz pojemności 4400 cm³ typu PERKINS 1104D-44T. Moc znamionowa silnika osiągana jest przy prędkości 2300 obr/min i wynosi 81 kW.



Rys. 2. Charakterystyka zewnętrzna silnika PERKINS 1104D-44T

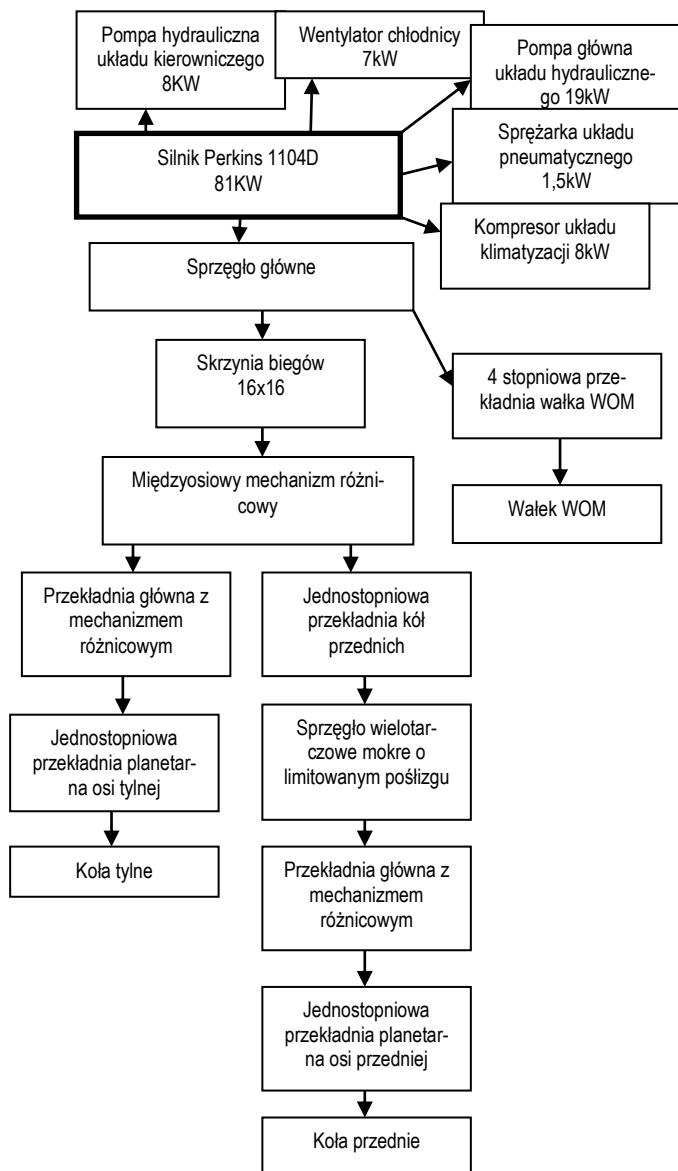
Moc na koła napędowe tylne przekazywana jest za pośrednictwem sprzęgła głównego, czterobiegowej zsynchronizowanej skrzyni biegów typu ZF T557 LS Power Shift, przekładni

głównej z mechanizmem różnicowym osi tylnej, jednostopniowej przekładni planetarnej.

Natomiast moc na koła przednie przekazywana jest za pomocą jednostopniowej przekładni, sprzęgła wielotarczowego mokrego o limitowanym poślizgu, wału napędowego kardana, przekładnię główną z mechanizmem różnicowym osi przedniej, jednostopniową przekładnię planetarną.

Napęd wałka odbioru mocy odbywa się za pomocą sprzęgła głównego oraz czterostopniowej przekładni WOM. Końcówka wałka WOM zakończona jest wielowypustem.

Poniżej przedstawiono schemat blokowy przepływu mocy w ciągniku rolniczym Farmtrac 7110 DT.



Rys. 3. Schemat blokowy przepływu mocy ciągnika Farmtrac 7110DT

Moc znamionowa podawana przez producenta pojazdu jest to moc silnika niewyposażonego. Po zabudowaniu silnika w pojeździe osprzęt napędzany jest od silnika i zabiera część jego mocy powodując tym samym zmniejszenie mocy przekazywanej do kół napędowych oraz na wałek odbioru mocy.

Do dodatkowych urządzeń napędzanych przez silnik spalinowy ciągnika zaliczamy:

- pompa hydrauliczna układu kierowniczego,
- wentylator chłodnicy silnika,

- pompa głównego układu hydraulicznego,
- sprężarka układu pneumatycznego,
- kompresor układu klimatyzacji.

1.2. Sprawność przesyłu mocy

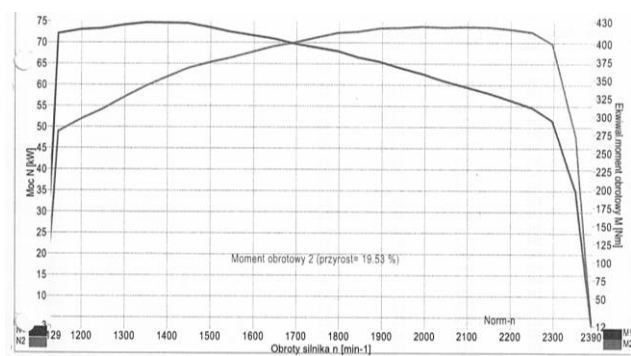
Jak wynika z danych podawanych przez producenta ciągnika Farmtrac 7110DT straty mocy w poszczególnych gałęziach wynoszą odpowiednio:

- sprawność dla gałęzi układu przeniesienia napędu 86%
- sprawność dla gałęzi wałka WOM 92%

Podane przez producenta wartości sprawności to maksymalne możliwe do uzyskania wartości przy założeniu najkorzystniejszego wariantu przesyłu mocy.

W warunkach rzeczywistej eksploatacji ciągnika można się spodziewać znacząco mniejszych wartości zważywszy chociażby na możliwość załączenia przedniego napędu w warunkach prac polowych.

Poniżej przedstawiono charakterystykę mocy uzyskanej na wałku WOM ciągnika Farmtrac 7110DT uzyskaną na mobilnym stanowisku hamownianym.



Rys. 4. Charakterystyka mocy i momentu na wałku WOM ciągnika Farmtrac 7110DT uzyskana na mobilnym stanowisku hamownianym.

2. EKSPLOATACYJNE TRYBY PRACY CIĄGNIKA

Głównym zadaniem ciągnika rolniczego jest realizacja zadań polowych wynikających ze specyfiki działalności rolniczej. Dodatkowo ciągnik rolniczy pełni funkcję transportową. Napęd maszyn rolniczych odbywa się poprzez dołączenie określonego urządzenia do wałka WOM. W przedstawionym przykładzie ciągnika rolniczego Farmtrac 7110DT jest to wał, do którego doprowadzana jest moc silnika za pośrednictwem czterobiegowej przekładni mechanicznej. Jest to układ sztywny kinematycznie, co oznacza zależność prędkości obrotowej wałka WOM od obrotów silnika.

Przedstawiona powyżej specyfika pracy ciągnika rolniczego umożliwia wyróżnienie trzech eksploatacyjnych trybów pracy ciągnika:

- tryb wykonywania zadań transportowych
- tryb napędu maszyn rolniczych bez możliwości ruchu ciągnika
- tryb realizacji zadań polowych

Pierwszy z przedstawionych trybów dotyczy sytuacji kiedy ciągnik porusza się bez możliwości przepływu mocy w gałęzi wałka WOM. Cała dostępna moc silnika doprowadzana jest do kół napędowych. Oznacza to, iż maksymalna wartość mocy na kołach dla analizowanego ciągnika nie powinna przekroczyć 69,5 kW, przy założeniu napędu osi tylnej pojazdu.

Drugi tryb pracy oznacza przepływ mocy jedynie w gałęzi napędu wałka WOM. Cała możliwa do uzyskania moc silnika przeka-

zywana jest na wałek odbioru mocy. W zależności od zapotrzebowania na moc podłączonej maszyny rolniczej, dla przedstawionego przykładu ciągnika uzyskamy na wałku WOM nie większą niż 74,5 kW.

Ostatni, trzeci z przedstawionych eksploatacyjnych trybów pracy jest charakterystyczny dla ciągnika realizującego typowe zadanie polowe. W tym trybie pracy moc do odbiorników przepływa przez obie wspomniane uprzednio gałęzie doprowadzając moc do kół napędowych i jednocześnie napędzając podłączoną maszynę rolniczą. Należy zaznaczyć, że w tym trybie pracy zapotrzebowanie na moc w obu gałęziach limitowane jest maksymalną mocą silnika, przy czym dysproporcje w przepływie mocy pomiędzy poszczególnymi gałęziami mogą znacząco wpłynąć na zmianę własności dynamicznych ciągnika jak i poprawną pracę maszyny rolniczej.

Należy wyróżnić dwa przypadki pracy charakteryzujące tryb realizacji zadań polowych w zakresie wykorzystania maksymalnej mocy silnika:

- zapotrzebowanie na moc w dwóch gałęziach układu przewyższa maksymalną moc silnika, przy czym przepływ mocy w gałęzi wałka mocy przewyższa moc doprowadzaną do kół napędowych pojazdu.
- zapotrzebowanie na moc w dwóch gałęziach układu przewyższa maksymalną moc silnika, przy czym przepływ mocy w gałęzi układu napędowego kół pojazdu przewyższa zapotrzebowanie na moc urządzenia podłączonego do wałka WOM ciągnika.

Opisane powyżej dwa warianty trybu realizacji zadań polowych z wykorzystaniem maksymalnej mocy silnika mogą stać się przyczyną dyskomfortu związanego z użytkowaniem ciągnika rolniczego podczas wykonywania typowych zadań polowych w gospodarstwie rolnym. Mogą one objawiać się mało wydajną pracą maszyny współpracującej z ciągnikiem, bądź też z brakiem wymaganych parametrów dynamiki ciągnika potrzebnych do realizacji zadań polowych.

Ponadto badania mocy silników spalinowych przeprowadzone zgodnie z normą ISO 14396:2002 zakładają odchyłki jaką może uzyskiwać nowy silnik na poziomie $\pm 5\%$. W odniesieniu do analizowanego silnika PERKINS 1104D-44T. oznacza to spadek mocy znamionowej o 4 kW.

Na uwagę zasługuje również fakt, iż norma określa warunki otoczenia w jakich powinien przebiegać pomiar tj. temperaturę powietrza, ciśnienie powietrza i wilgotność. Wszelkie odstępstwa od wartości znormalizowanych powinien uwzględniać współczynnik korekcji mocy, dzięki któremu istnieje możliwość porównywania mocy silników pracujących w odmiennych warunkach otoczenia.

Maksymalna moc zmierzona na wałku WOM analizowanego ciągnika to 73.8kW. Jest to moc z uwzględnieniem korekcji wartości mocy jak wskazuje arkusz pomiaru do warunków normalnych określonych normą ISO 3046. Warunki normalne rozumiane są według tej normy jako:

- Temperatura powietrza: 25 °C
- Ciśnienie: 1000hPa
- Wilgotność względna 30%
- Temperatura czynnika chłodzącego ładunek powietrza 25°C.

Zamontowany w pojeździe silnik, wykorzystywany jest również do napędu dodatkowych urządzeń, które nie są bezpośrednio związane z jego działaniem. Do tej grupy zaliczamy urządzenia zwiększające funkcjonalność pojazdu oraz podnoszące komfort jego

użytkowania przez operatora lub kierowcę. Podczas pracy pojazdu urządzenia te powodują zmniejszenie mocy przekazywanej do kół napędowych oraz na wałek odbioru mocy.

Poniżej przedstawiono dodatkowe urządzenia napędzane przez silnik w ciągniku Farmtarck 7110 DT oraz straty mocy podczas ich napędu:

- pompa hydrauliczna układu kierowniczego: do 8 kW przy 2300 rpm (zależnie od obciążenia osi kierowanej)
- wentylator chłodnicy silnika: 7 kW przy 2300 rpm
- pompa głównego układu hydraulicznego: do 19 kW przy 2300 rpm (zależnie od obciążenia układu hydraulicznego)
- sprężarka układu pneumatycznego: do 1,5 kW
- kompresor układu klimatyzacji: do 8 kW

Zgodnie z normą ISO 14396:2002, straty mocy podczas napędu powyższych urządzeń, nie są uwzględniane w bilansie mocy silnika.

PODSUMOWANIE

Główną przyczyną dyskomfortu użytkownika ciągnika rolniczego w większości przypadków okazuje się być niewłaściwe zestawienie współpracującej z ciągnikiem maszyny rolniczej w odniesieniu do mocy znamionowej silnika zainstalowanego w ciągniku. Zapotrzebowanie na moc w gałęzi wałka WOM i w gałęzi zasilającej koła napędowe przewyższające maksymalną moc silnika może doprowadzić do mało wydajnej pracy maszyny współpracującej z ciągnikiem, bądź też z brakiem wymaganych parametrów dynamiki ciągnika potrzebnych do realizacji zadań polowych.

Dodatkowo rzeczywista moc znamionowa silnika, powołując się na normę ISO 14396:2002 może być mniejsza o maksymalnie 5 % w stosunku do mocy deklarowanej przez producenta.

BIBLIOGRAFIA

1. Dębicki M., *Teoria samochodu, teoria napędu*, Warszawa 1971.
2. Norma ISO 14396:2002
3. Norma ISO 3046

Power flow analysis on the example of agricultural tractor Farmtrac 7110DT

Paper discussed the aspect of power demand when farm tractors perform their field and transport tasks based on a detailed power flow analysis made on the Farmtrac 7110DT farm tractor. Indication of the discomfort of using the tractor when performing field work due to excessive power requirements, exceeding the maximum engine power.

Autorzy:

dr inż. **Robert Pietruszewski** – Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn

dr inż. **Rafał Dychto** – Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn