

PIOTR SYPUŁA

*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego — Akademia Rolnicza
w Warszawie*

ZAKRES ZASTOSOWANIA PRZEDNIEGO UZUPEŁNIAJĄCEGO NAPĘDU W CIĄGNIKACH ROLNICZYCH

Obserwując rozwój konstrukcji kołowych układów jezdnych ciągników rolniczych można stwierdzić, że dominującym od lat rozwiązaniem był ciągnik z napędzoną tylko tylną osią i mniejszymi kołami kierowanymi (4K2) charakteryzujący się łatwością manewrowania. Wraz ze wzrostem wielkości gospodarstw, szczególnie w USA, Kanadzie nabrało znaczenia rozwiązanie z napędem obydwóch osi o jednakowych kołach 4K4).

Ciągniki te wypierały rozwiązania klasyczne, głównie w energochłonnych pracach uprawowych. W końcu lat siedemdziesiątych coraz bardziej popularne stały się ciągniki z uzupełniającym przednim napędem (4K2A). Rozwiązanie takie oparte jest na konstrukcji układu 4K2, a więc z przednimi kołami o mniejszych wymiarach, dodatkowo wyposażonego w napęd osi przedniej. Włączanie i wyłączanie napędu uzupełniającego odbywa się z kabiny traktorzysty, także w czasie jazdy. Na kołach przednich napędzanych stosowane jest ogumienie o rzeźbie napędowej (takie jak dla kół tylnych).

Ciągniki 4K2A charakteryzują się więc połączeniem zalet dobrej manewrowalności ciągników 4K2 z możliwością uzyskiwania większych sił uciągu szczególnie w trudnych warunkach terenowych. Jest to rezultatem pełnego wykorzystania masy ciągnika, także obciążenia osi przedniej dla rozwijania siły uciągu.

Decydujące znaczenie dla właściwości trakcyjnych ciągnika ma właściwy dobór proporcji obciążania osi przedniej i tylnej. W rozwiązaniu 4K2 oś przednia obciążona jest zazwyczaj jak najmniej, tylko tak by zapewnić dostateczną stateczność i kierowalność. W rozwiązaniu 4K4 obciążenia dynamiczne obydwu osi podczas rozwijania przewidywanej siły uciągu są w przybliżeniu równe. Spełnienie tych założeń pozwala w obydwu konstrukcjach na uzyskanie optymalnych parametrów uciągu.

Problem doboru proporcji obciążenia osi w rozwiązaniu 4K2A jest bardziej złożony. Aktualnie w ciągnikach rolniczych tego typu występujących w świecie na osi przedniej spoczywa od 35 do 40% masy całko-

witej ciągnika. Obok optymalnego podziału masy pojawiają się także inne problemy związane z konstrukcją ciągnika 4K2A i tak np. zagadnienie podziału w układzie napędowym strumienia mocy pomiędzy oś przednią i tylną a także doboru prędkości obrotowych osi przedniej i tylnej.

Analizując rozwój konstrukcji ciągników rolniczych stwierdzamy jednak, że występuje w ostatnich latach ogólna tendencja zwiększania liczby ciągników wyposażonych w uzupełniający napęd przedniej osi, pomimo ich bardziej skomplikowanej i droższej konstrukcji w porównaniu z rozwiązaniem 4K2. Ciągniki z przednim napędem stanowią dziś około 50% dostępnych na rynkach typów. Wiele firm produkuje ciągniki o mocy większej od 100 kW tylko w wersji z napędem uzupełniającym. Zagadnienie zakresu zastosowania przedniego napędu uzupełniającego w ciągnikach jest problemem złożonym, szczególnie jeżeli uwzględnimy różnorodność warunków ich pracy w rolnictwie. Potencjalny użytkownik stojący przed problemem zakupu określonego typu i wersji ciągnika powinien uwzględnić możliwie jak najszerszy zakres czynników decydujących o przydatności i opłacalności zastosowania danego typu w warunkach jego gospodarstwa.

W celu zilustrowania potencjalnych korzyści wynikających z możliwości zastosowania przedniego napędu uzupełniającego prześledzimy następujący przykład. Przy porównywaniu właściwości eksploatacyjno-trakcyjnych ciągników możemy posługiwać się m. in. wartościami uzyskiwanej siły napędowej i oporu toczenia.

Zmienie poślizgu kół towarzyszą za każdym razem:

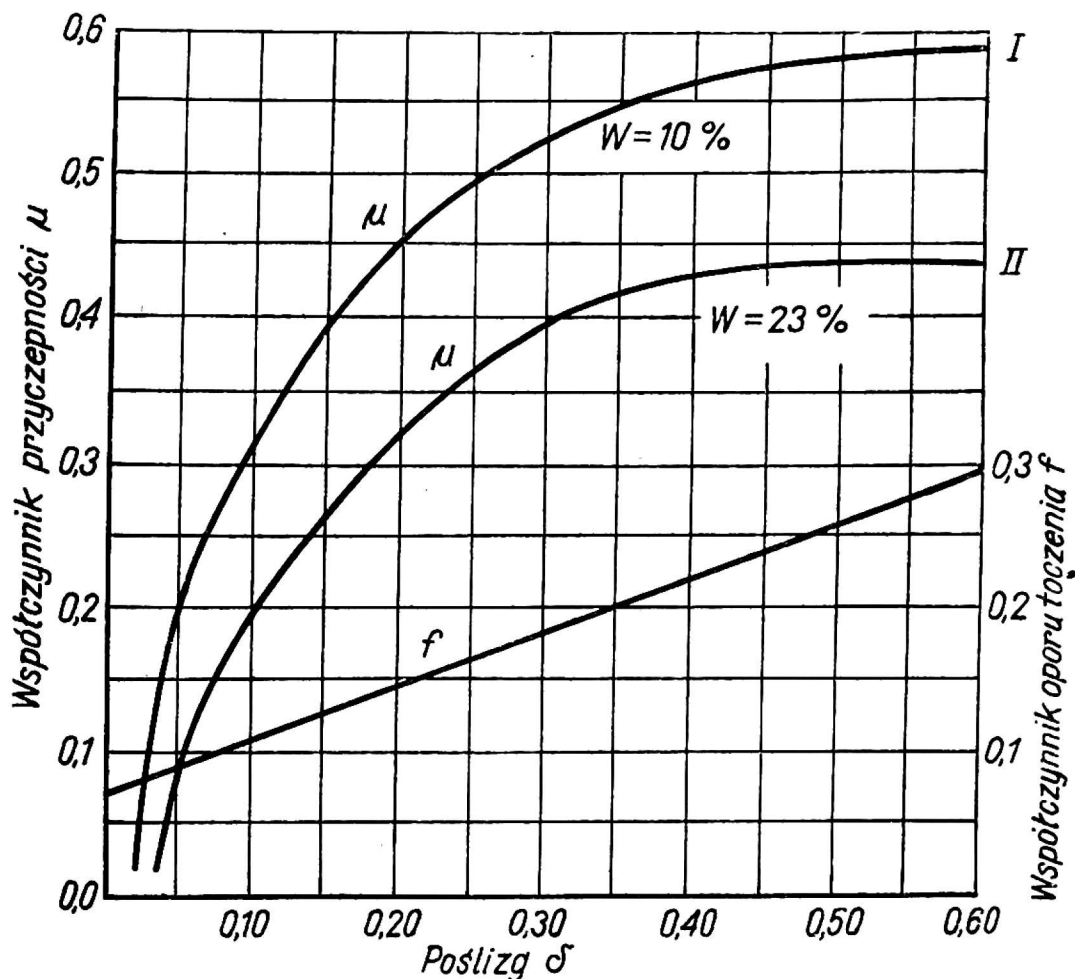
$$\begin{aligned} \text{— współczynnik przyczepności } \mu &= \frac{\text{siła napędowa}}{\text{obciążenie koła}} \\ \text{— współczynnik oporu toczenia } f &= \frac{\text{opór toczenia}}{\text{obciążenie koła}} \end{aligned}$$

W obliczeniach wartości siły napędowej o oporu toczenia dla ciągników z napędem wspomagającym (4K2A) obciążenie kół pochodzi od całkowitej masy ciągnika, a w ciągnikach z napędzaną tylko tylną osią (4K2) w czasie pracy następuje dociążenie tylnej osi zwiększające siłę napędową, którą można wyznaczyć ze wzoru:

$$\text{siła napędowa} = \frac{\text{obciążenie tylnej osi} \times \mu}{1 - 0,2 \mu}$$

co odpowiada wzrostowi siły napędowej o 10%.

Na rysunku przedstawiono zależności pomiędzy współczynnikiem przyczepności i współczynnikiem oporu toczenia w zależności od poślizgu, dla gleby średniozwięzłej o dwu różnych wilgotnościach.



Krzywa I przedstawia zmiany współczynnika przyczepności w korzystnych warunkach polowych, w których prace uprawowe można prowadzić bez trudności (wilgotność względna $w = 10\%$).

Krzywa II przedstawia współczynnik przyczepności w warunkach niekorzystnych, gdy rolnik decyduje się na wykonanie tylko niezbędnych ze względów agrotechnicznych prac ($w = 23\%$).

Rozważmy dla przykładu parametry pracy trzech ciągników: dwóch o mocy 50 kW — bez napędu (4K2) i z napędem (4K2A) uzupełniającym przedniej osi oraz ciągnika o mocy 65 kW bez napędu wspomagającego (4K2), których dane techniczne zamieszczono w tab. 1.

Na rynku europejskim cena ciągnika o mocy 65 kW bez napędu przedniego jest zbliżona do ceny ciągnika o mocy 50 kW z napędem wspomagającym. Różnice w cenie pomiędzy wersją 4K2 i 4K2A o tej samej mocy wynoszą dla ciągników o mocy ok. 50 kW — 25%. Można przyjąć, że:

- przebieg zmian współczynnika oporów toczenia i przyczepności w zależności od poślizgu dla wszystkich ciągników jest ten sam,
- straty w układach napędowych dla ciągników 4K2 wynoszą około 10% a dla ciągników 4K2A około 12%,
- ciągniki pracowały na przełożeniu na którym uzyskiwane były teoretyczne prędkości jazdy 8 km/h.

W takim przypadku uzyskamy parametry pracy agregatów odpowied-

nio dla warunków opisanych krzywymi I i II zmian współczynnika przyczepności (rys.), co przedstawiono w tab. 2 i 3.

Dla warunków opisanych krzywą I przyjęto najmniejszą wartość $\mu = 0,32$, gdyż przy mniejszych wartościach tego współczynnika poślizg byłby zbyt mały. W ciężkich pracach polowych powinien on zawierać się pomiędzy 10—15%, gdyż optymalne jest wtedy wykorzystanie przyczepności kół.

Tabela 1

| Wersja ciągnika | Moc | Masa | Rozkład masy | | | Masa jednostkowa |
|-----------------|-----|------|--------------|------|-------|------------------|
| | | | przód | tył | przód | |
| — | kW | kg | kg | kg | % | kg/kW |
| 4K2 | 50 | 3300 | 1100 | 2200 | 33,3 | 66 |
| 4K2A | 50 | 3960 | 1760 | 2200 | 44,5 | 79 |
| 4K2 | 65 | 4200 | 1400 | 2800 | 33,3 | 65 |

Tabela 2

Parametry pracy porównywanych ciągników dla krzywej I (rys. 1)

| Wersja ciągnika | Moc znamionowa ciągn. | Współcz. przyczepności | Siła napędowa | Siła oporów toczenia | Straty w układzie napędowym | Moc rozwijana | Procent wykorzystania mocy |
|-----------------|-----------------------|------------------------|---------------|----------------------|-----------------------------|---------------|----------------------------|
| — | kW | — | kN | kN | kW | kW | % |
| 4K2 | 50 | 0,50 | 12,22 | 5,12 | 2,94 | 32,29 | 64,4 |
| 4K2A | 50 | 0,50 | 19,80 | 6,14 | 5,12 | 47,78 | 95,6 |
| 4K2A | 50 | 0,32 | 12,67 | 4,16 | 4,05 | 37,83 | 75,7 |
| 4K2 | 50 | 0,35 | 8,28 | 3,63 | 2,39 | 26,27 | 52,4 |
| 4K2A | 50 | 0,35 | 13,86 | 4,36 | 4,25 | 39,69 | 79,4 |
| K42 | 65 | 0,35 | 10,54 | 4,62 | 3,04 | 33,48 | 51,5 |
| 4K2A | 50 | 0,35 | 13,86 | 4,36 | 4,25 | 39,69 | 79,4 |

Tabela 3

Parametry pracy porównywanych ciągników dla krzywej II (rys. 1)

| Wersja ciągnika | Moc znamionowa ciągn. | Współcz. przyczepności | Siła napędowa | Siła oporów toczenia | Straty w układzie napędowym | Moc rozwijana | Procent wykorzystania mocy |
|-----------------|-----------------------|------------------------|---------------|----------------------|-----------------------------|---------------|----------------------------|
| — | kW | — | kN | kN | kW | kW | % |
| 4K2 | 50 | 0,35 | 8,28 | 4,79 | 2,29 | 25,24 | 50,5 |
| 4K2A | 50 | 0,35 | 13,86 | 5,74 | 4,02 | 37,56 | 75,1 |
| 4K2A | 50 | 0,22 | 8,62 | 4,36 | 3,08 | 28,75 | 57,5 |
| 4K2 | 50 | 0,20 | 4,58 | 3,47 | 1,64 | 18,02 | 36,0 |
| 4K2A | 50 | 0,20 | 7,92 | 4,16 | 2,90 | 27,05 | 54,1 |

Podobnie dla krzywej II przyjęto największą wartość $\mu = 0,35$, gdyż dla większych wartości poślizg staje się zbyt duży osiągając 60% dla $\mu = 0,43$.

Ten prosty przykład pozwala na sformułowanie następujących wniosków o charakterze ogólnym:

- dla równych wartości współczynników przyczepności $\mu = 0,5$ w warunkach opisanych krzywą I ciągnik 4K2A ma potencjalną możliwość rozwinięcia o 55% większej siły napędowej od ciągnika 4K2 o tej samej mocy 50 kW,
- przy jednakowej sile napędowej w warunkach określonych krzywą I ciągnik 4K2A porusza się z prędkością o 22% większą niż ciągnik 4K2 o tej samej mocy 50 kW, rozwijając przy tym moc większą o 17%,
- w warunkach określonych krzywą I dla mniejszej wartości $\mu = 0,35$ siła napędowa dla ciągnika 4K2A jest większa o 63% od siły rozwijanej przez ciągnik 4K2 o tej samej mocy,
- w warunkach określonych krzywą I dla $\mu = 0,35$ ciągnik 4K2A o mocy 50 kW rozwija o 28% większą siłę napędową. Wykorzystanie mocy wynosi 79% i jest większe niż dla ciągnika 4K2 o mocy 65 kW, który pracuje z 51% wykorzystaniem mocy.

W warunkach określonych przebiegiem krzywej II:

- przy współczynniku przyczepności $\mu = 0,35$ ciągnik 4K2A uzyskuje o 61% większą siłę napędową od ciągnika 4K2 o tej samej mocy 50 kW,
- przy jednakowej sile napędowej ciągnik 4K2A o mocy 50 kW porusza się o 16% szybciej od ciągnika 4K2 o tej samej mocy przy większym o 7% wykorzystaniu mocy.

Można więc stwierdzić, że we wszystkich porównywanych przypadkach ciągniki z napędem uzupełniającym przedniej osi uzyskują znacznie lepsze parametry pracy i tak np. siła napędowa jest od 5 do 12% większa od siły ciągnika 4K2 przy tej samej rozwijanej mocy.

Rozważając całoroczną strukturę wykorzystania ciągnika o mocy 50 kW można w przybliżeniu szacować, że 60—70% ogólnego czasu ciągnik pracuje w pracach lekkich, pozostały czas to prace uprawowe i ciężki transport, przy czym warunki opisane krzywą II (rys. 1) stanowią najwyżej 5% ogólnego czasu pracy.

Często o doborze ciągnika decyduje nie tylko możliwość rozwijania maksymalnej siły uciągu, ale także wymagana rezerwa mocy silnika. Ma to miejsce przy przewidywanej współpracy ciągnika z maszynami pobierającymi dużą moc z wałka odbioru mocy (np. sieczkarnie do zielonki, kombajny zawieszane). Wtedy to rolnik dysponując określoną kwotą decyduje się zazwyczaj na zakup tańszego rozwiązania ciągnika 4K2 o więk-

szej mocy. Można wtedy, w przypadku powstania takiej konieczności, dążyć do zwiększenia siły uciągu poprzez stosowanie kół bliźniaczych (uzyskujemy wzrost siły uciągu maksymalnie o 15—20%), jednak kłopotliwy jest ich demontaż i montaż. Trzeba również podkreślić, że w ciągnikach z napędem uzupełniającym (4K2A) ograniczona jest możliwość zmiany rozstawu kół przednich, co może stanowić poważną niedogodność w uprawach rzędowych.

Ważnym czynnikiem decydującym o wyborze ciągnika stają się zwiększone koszty zakupu i eksploatacji (takie jak np. zużycie opon przednich, wymiana oleju w przednim moście, naprawy układu przeniesienia napędu itp.). Prowadzone w Danii porównawcze analizy tych kosztów wskazują, że dodatkowy wydatek roczny ma utrzymanie ciągnika 4K2A o mocy 50 kW stanowi ok. 5% ceny ciągnika przy 15-letniej amortyzacji.

Praktyka wskazuje, że potencjalne możliwości ciągników z napędem uzupełniającym są rzadko w pełni wykorzystywane. Wynika to ze wspomnianej struktury czasu wykorzystania ciągnika, ale także z powszechnej wśród rolników nieumiejętności użytkowania tej wersji. Nie przestrzegają oni dwóch reguł wynikających ze specyfiki konstrukcyjnej układu 4K2A:

- ze względu na to, że przednie koła obracają się z prędkością większą niż tylne napęd uzupełniający powinien być zawsze wyłączony na podłożu utwardzonym,
- ze względu a duże opory toczenia kół przednich i opory ich układu napędowego napęd uzupełniający powinien być zawsze włączony przy pracach polowych.

Należy zwrócić również uwagę na optymalne obciążenie osi przedniej poprzez stosowanie przewidywanych obciążników przednich oraz właściwe ustawienie elementów trójpunktowego układu zawieszenia.

Upowszechnienie prawidłowych zasad doboru ciągników i ich prawidłowej eksploatacji staje się sprawą o istotnym znaczeniu dla rolnictwa polskiego, które otrzymuje wzrastającą liczbę ciągników z napędem uzupełniającym osi przedniej.

LITERATURA

1. Bashford L.: How much does Front wheel assist really help? Agricultural Engineering. April 1984.
2. Nielsen V.: Energiforbrubets afhaengighed af redskabsstroørrtelse og kø-
reteknik ved tractorkorsel. SJF. 1986.
3. Podersen D.: Land teknik, 1986.
4. Scott N.: Implement & Tractor 7/84.
5. Scott N.: Implement & Tractor 6/84.
6. Praca zb.: z 1983 r. SGGW-AR Zakład Motoryzacji Rolnictwa.

Materiały nadesłano do Redakcji w maju 1988 r.