

Jan Szczepaniak  
Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu

## SYMULACJA RUCHU AGREGATU ROLNICZEGO CIĄGNIK - SADZARKA DO ZIEMNIAKÓW

### Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję modelu matematycznego, który może posłużyć do analiz ruchu agregatu ciągnik – maszyna rolnicza. Jest to płaski model trzykołowy. Dzięki zastosowanym uproszczeniom jest stosunkowo prosty. W dostatecznym stopniu uzależnia jednak parametry ruchu agregatu od jego parametrów geometrycznych i masowych oraz od oddziaływań opona–gleba. Do jego implementacji zastosowano moduł Simulink środowiska Matlab.

**Słowa kluczowe:** modelowanie, symulacja, maszyny rolnicze

### Wprowadzenie

Rozwój maszyn rolniczych i coraz większe wymagania ich użytkowników sprawiają, że podczas projektowania stosowane są coraz nowocześniejsze metody i narzędzia. Należą do nich modelowanie i komputerowe metody symulacji. Często są one przejmowane z innych, bardziej zasobnych i nowoczesnych, gałęzi przemysłu i adaptowane do specyficznych warunków, w których pracują maszyny rolnicze.

Jednym z problemów spotykanych w trakcie projektowania i badań maszyn rolniczych jest przewidywanie zachowania agregatu składającego się z ciągnika i połączonej z nim maszyny, szczególnie podczas jazdy po nierównym, miękkim, często rozmokłym polu.

W artykule przedstawiono koncepcję modelu matematycznego, który może posłużyć do takich analiz. Jest to płaski model trzykołowy (rys. 2). W prezentowanej wersji początkowej model opisuje zachowanie agregatu poruszającego się ze stałą prędkością po płaskim podłożu. Dzięki zastosowanemu uproszczeniu jest stosunkowo nieskomplikowany. W dostatecznym stopniu uzależnia jednak parametry

ruchu agregatu od jego parametrów geometrycznych i masowych oraz od oddziaływań opona – gleba. Do jego implementacji zastosowano moduł Simulink środowiska Matlab.

Model zastosowano do zestawu ciągnik – sadzarka do ziemniaków. Półzawieszana sadzarka połączona jest z ciągnikiem za pomocą dolnych cięgien TUZ (rys. 1).



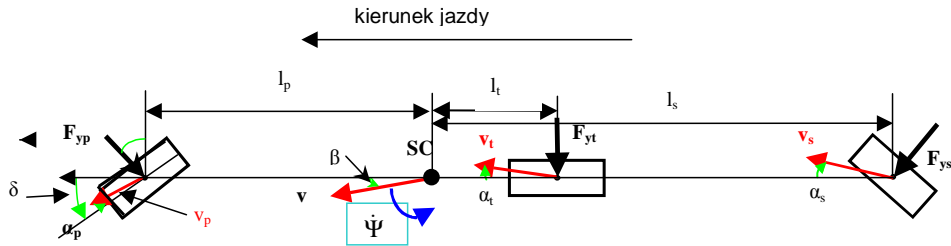
Rys. 1. Agregat ciągnik - sadzarka do ziemniaków – widok ogólny

Fig. 1. Tractor - potato planter unit – general view

### Charakterystyka modelu

Dynamika agregatu ciągnik – sadzarka jest reprezentowana przez płaski model o dwóch stopniach swobody, przedstawiony na rys. 2. Przyjęto tam następujące oznaczenia:  $v$  - wektor prędkości środka ciężkości agregatu,  $v_p$ ,  $v_t$ ,  $v_s$  - wektory prędkości kół przedniej osi ciągnika, tylnej osi ciągnika i osi sadzarki. Kąty  $\alpha_p$ ,  $\alpha_t$ ,  $\alpha_s$  oznaczają kąty znoszenia odpowiednio dla przedniego koła ciągnika, tylnego koła ciągnika oraz koła sadzarki. Masa agregatu została oznaczona jako  $m$ ;  $\theta$  oznacza moment bezwładności agregatu;  $\Psi$  oznacza kąt skręcenia pojazdu;  $\beta$  oznacza kąt znoszenia pojazdu. Model uwzględnia wymiary geometryczne agregatu:  $l_p$ ,  $l_t$ ,  $l_s$

oznaczają odległość odpowiednio osi przedniej, osi tylnej ciągnika oraz osi sadzarki od środka ciężkości agregatu. Siły poprzeczne działające na koła agregatu oznaczone są  $F_{yp}$ ,  $F_{yt}$ ,  $F_{ys}$ .  $\delta$  oznacza kąt skrętu koła przedniego.



Rys. 2. Trzykołowy płaski model agregatu ciągnik - sadzarki do ziemniaków  
 Fig. 2. Three wheel 2D model of tractor – potato planter combination

Równania ruchu uzyskujemy sumując siły i momenty w środku ciężkości agregatu. Wychodząc z zależności (1) i (2), po przekształceniach otrzymujemy układ równań (4)

$$mv(\dot{\Psi} + \dot{\beta}) = F_{yp} + F_{yt} + F_{ys} \quad (1)$$

$$\theta\ddot{\Psi} = F_{yp}l_p - F_{yt}l_t + F_{ys}l_s \quad (2)$$

Przyjmujemy przy tym, że siły poprzeczne  $F_{yx}$  można opisać za pomocą zależności [Anderson i in.]:

$$F_{yx} = c_x \alpha_x \quad (3)$$

gdzie

- $x$  – indeks  $p, t$  lub  $s$
- $\alpha_x$  – kąt znoszenia dla kół odpowiedniej osi agregatu [rad]
- $c_x$  – współczynnik sztywności poprzecznej kół agregatu (cornering stiffness) [N/rad].

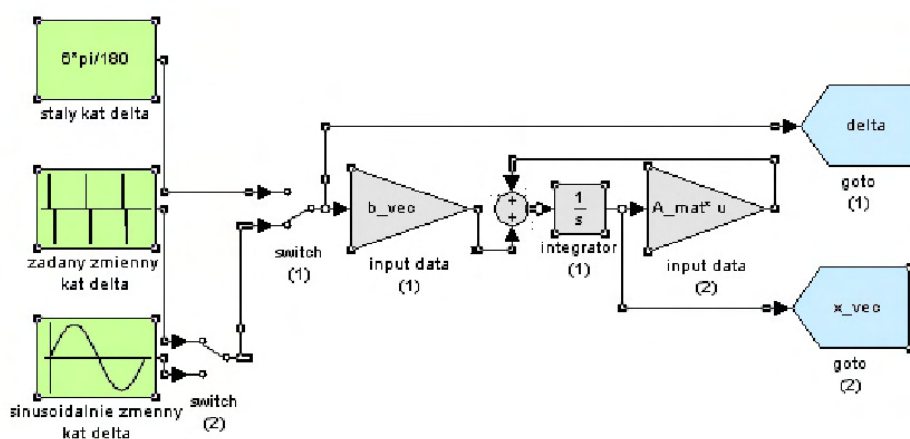
$$\begin{bmatrix} \ddot{\Psi} \\ \dot{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-c_p l_p^2 + c_t l_t^2 + c_s l_s^2}{\theta v} & \frac{-c_p l_p - c_t l_t + c_s l_s}{\theta} \\ \frac{-c_p l_p - c_t l_t + c_s l_s + mv^2}{mv^2} & \frac{-c_p + c_t - c_s}{mv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\Psi} \\ \beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{c_p l_p}{\theta} \\ \frac{c_p}{mv} \end{bmatrix} \delta \quad (4)$$

## Implementacja modelu

Opisany powyżej, w zarysie, model został zaimplementowany w module Simulink środowiska Matlab. Składa się z pięciu zasadniczych części:

- na podstawie informacji o zmianach kąta skrętu koła kierowanego  $\delta$ , prędkości jazdy i zapisanych w pamięci danych o parametrach geometrycznych agregatu rozwiązywany jest układ równań (4),
- obliczenia kąta skrętu agregatu  $\Psi$ ,
- obliczane jest przyspieszenie poprzeczne środka ciężkości agregatu,
- obliczane są kąty znoszenia dla kół obu osi ciągnika i kół sadzarki,
- obliczana jest trajektoria ruchu środka ciężkości agregatu.

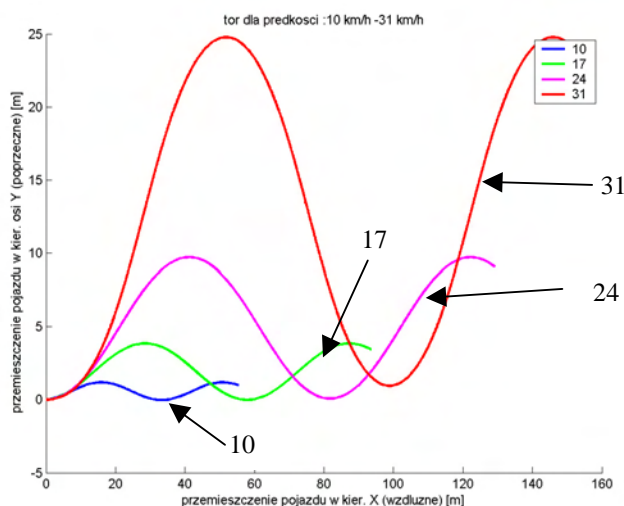
Wyniki obliczeń prezentowane są w postaci graficznej, na wykresach raz w postaci zbiorów liczbowych, które mogą być wykorzystywane do dalszych obliczeń. Na rys. 3 przedstawiono, dla przykładu, pierwszy z głównych bloków implementacji modelu.



Rys. 3. Schemat fragmentu implementacji modelu agregatu w programie Simulink  
 Fig. 3. Partial implementation diagram for the unit model in the Simulink application

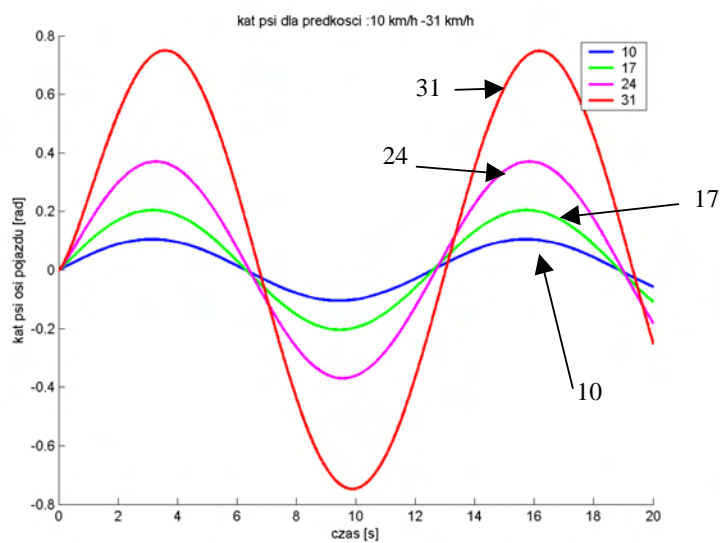
## Obliczenia sprawdzające

Dla wstępnego sprawdzenia własności zaproponowanego modelu przeprowadzono szereg symulacji dla różnych wartości parametrów modelu. Istotne dla uzyskanych wyników wartości współczynnika poprzecznej sztywności kół agregatu dla ciągnika i dla różnych prędkości jazdy zaczerpnięto z pracy [Feng i in. 2005].



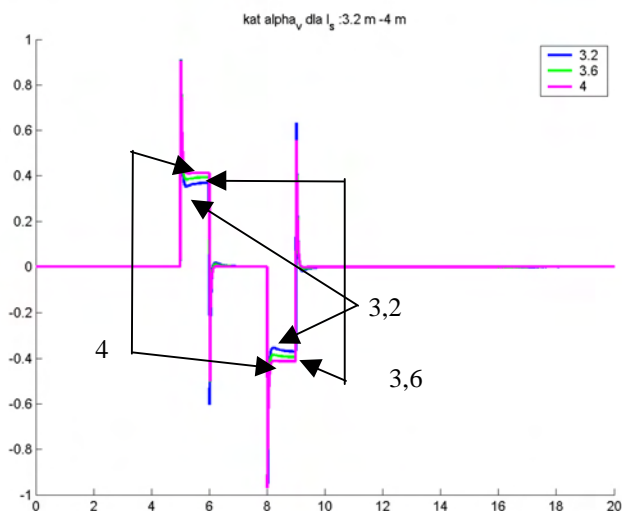
Rys. 4. Trajektorie środka ciężkości modelu agregatu przy sinusoidalnie zmien-  
nym kącie  $\delta$  skrętu koła dla różnych prędkości [km/h]

Fig. 4. Trajectories of combination CG for sinusoidal various steering angle  $\delta$   
for various velocity [km/h]



Rys. 5. Wartości kąta  $\Psi$  nachylenia osi podłużnej agregatu podczas sinusoidal-  
nie zmiennego skrętu koła dla różnych prędkości [km/h]

Fig. 5. Values of the unit longitudinal axis inclination angle  $\Psi$  while making  
sinusoidally variable wheel turn for various speeds [km/h]



Rys. 6. Zmiany kąta znoszenia kół osi przedniej podczas zmiany pasa ruchu dla różnych odległości osi kół sadzarki od środka ciężkości agregatu [m]

Fig. 6. Drift angle changes for front axle wheels when changing traffic lane for various distances between the planter wheel axis and the model gravity centre [m]

## Podsumowanie

Przeprowadzone testy wykazały, że model reaguje właściwie na zmiany parametrów i dostarcza wyniki zgodne z oczekiwaniami. Wymaga jednak dalszych prac związanych z identyfikacją parametrów. Jednym z, głównych zagadnień jest opracowanie odpowiedniego modelu oddziaływań opona–gleba uwzględniającego różnorodność rodzajów gleby i warunków, w których odbywa się transport (głównie nierówności powierzchni pola oraz stopnia wilgotności gleby, zn. wywołanych przez nią zmian w konsystencji i własnościach gleby).

W wyniku prowadzonych prac (uszczegółowienie modelu i identyfikacja parametrów na podstawie badań eksperymentalnych) opracowane zostanie narzędzie, które będzie można skutecznie wykorzystać do przewidywania własności trakcyjnych zestawów ciągnik–maszyna rolnicza dla różnych maszyn przed budową prototypów.

## **Bibliografia**

Feng L., He Y. 2005. Study on Dynamic Model of Tractor System for automated navigation applications, Journal of Zhejiang University Science 6A(4), s. 270-275.

Anderson R., Bevly D.M. Estimation of Tire Cornering Stiffness Using GPS to Improve Model Based Estimation of Vehicle States, Auburn University.

## **RUN SIMULATION FOR THE TRACTOR - POTATO PLANTER FARM UNIT**

### **Summary**

The article presents a concept of mathematical model, which may be used to analyse the tractor - potato planter farm unit run/movement. It is a flat three-wheel model. It is relatively simple owing to simplifications used in it. However, it is sufficient to make the unit run parameters conditional on its geometry and weight, and on the tyre – soil interaction. The Simulink module of the Matlab environment was employed to implement the model.

**Key words:** modelling, simulation, agricultural machine