

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA PARAMETRÓW AKTYWNEJ MASZYNY UPRAWOWEJ. CZĘŚĆ I - KINEMATYKA

Krzysztof Lejman

Institut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Wiesław Szulczewski

Katedra Matematyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Przedstawiono algorytm obliczeniowy i napisany na jego podstawie w języku programowania DELPHI program symulacyjny umożliwiający optymalny dobór parametrów kinematycznych układu skrawającego z uwzględnieniem istotnych warunków wynikających z wymagań agrotechnicznych stawianych aktywnym maszynom uprawowym i doprawiającym. Prezentowany program umożliwia również przeprowadzenie animacji komputerowej ruchu noża i graficznej weryfikacji poprawności przyjętych założeń i algorytmów obliczeniowych.

Słowa kluczowe: gleba, skrawanie, aktywna maszyna uprawowa, kinematyka

Wstęp i cel pracy

Obserwowany na przestrzeni ostatnich lat dynamiczny rozwój mechanizacji prac polowych jest przyczyną wprowadzania nowoczesnych konstrukcji ciągników rolniczych, które cechują się coraz większymi mocami silników przy stosunkowo niewielkiej masie. Prawidłowa eksploatacja takich ciągników stwarza konieczność stosowania aktywnych maszyn uprawowych, które w przeciwieństwie do narzędzi biernych umożliwiają lepsze wykorzystanie mocy silnika głównie poprzez napęd z wałka odbioru mocy.

Historia stosowania aktywnych maszyn uprawowych i doprawiających sięga początków dwudziestego wieku. Teoretyczne podstawy działania takich maszyn przedstawiono między innymi w pracach Bernackiego [1981], Hendricka i Gila [1974, 1978] i Miszczaka [1998]. Autorzy ci przedstawiają różne koncepcje analizy kinematycznej maszyn aktywnych, głównie jednak dla pojedynczych, wybranych założeń determinujących prawidłowe, zgodne z wymaganiami agrotechnicznymi, działanie maszyny.

Celem prezentowanej pracy jest analiza zmienności parametrów kinematycznych aktywnej maszyny uprawowej z wykorzystaniem programów symulacyjnych napisanych w języku programowania DELPHI.

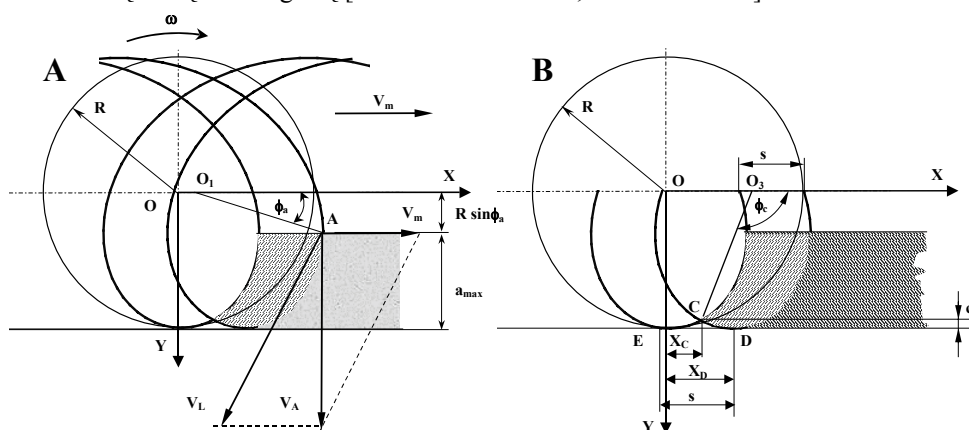
Analiza teoretyczna

Przy realizacji przyjętego celu pracy założono konieczność połączenia opisywanych w literaturze parametrów kinematycznych, które warunkują poprawność wykonywanego

zabiegu. Istniejące związki zostaną wykorzystane w symulacji komputerowej, której wyniki w postaci zbioru wartości parametrów będą podstawą do wizualizacji zależności i animacji ruchu elementu skrawającego.

W trakcie analizy teoretycznej przyjęto następujące założenia wstępne i upraszczające:

- wirnik obraca w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni pola i równoległej do kierunku ruchu maszyny przy obrotach współbieżnych,
- głębokość uprawy zawiera się w przyjętym zakresie od a_{min} do a_{max} ,
- w przyjętym przedziale głębokości skrawanie gleby może się odbywać bez konieczności zmian parametrów kinematycznych,
- grzebienistość dna bruzdy musi być utrzymana w granicach dopuszczalnych dla danej uprawy [Bernacki 1981],
- w trakcie odcinania kęsa konieczne jest ciągle wywieranie nacisku przez powierzchnię roboczą narzędzia na glebę [Hendrick i Gill 1978; Miszczak 1998].



Rys. 1. Warunki poprawnego przebiegu procesu skrawania: A – rozkład prędkości ostrza noża, B – grzebienistość pola

Fig 1. Conditions of corrected cutting course: A – distribution of knife-edge velocity, B – field combing

Przez analogię do pracy biernych narzędzi uprawowych, w których efekt kruszenia gleby uzyskuje się dzięki stałemu wywieraniu nacisku przez powierzchnię roboczą narzędzia na glebę, w maszynie rotacyjnej pozioma składowa prędkości wypadkowej powinna mieć zwrot przeciwny do ruchu maszyny w całym czasie działania na glebę. Graniczny warunek można uzyskać przyrównując do zera wypadkową prędkość noża w punkcie jego styku z powierzchnią pola. Współrzędna pozioma punktu (A) leżącego na powierzchni pola (rys. 1A) wynosi:

$$X_A = V_m \times t + R \times \cos(\varpi \times t) \quad (1)$$

gdzie:

- V_m – prędkość postępową maszyny,
- R – promień bębna (promień okręgu, po którym porusza się ostrze nożyka),
- ω – prędkość kątowa bębna,
- t – czas.

Różniczkując przedstawione równanie po czasie i przyrównując do zera otrzymujemy:

$$V_{X_A} = \frac{dX_A}{dt} = V_m - R \times \varpi \times \sin(\varpi \times t) = 0 \quad (2)$$

Po podstawieniu $\omega \times R = V_L$, $\omega \times t = \phi_a$ i $R \times \sin \phi_a = R - a_{max}$ (rys. 1A) uzyskujemy równanie zapewniające spełnienie warunku granicznego:

$$\frac{V_L}{V_m} = \frac{R}{R - a_{max}} = \frac{1}{\sin \phi_a} = \lambda \quad (3)$$

gdzie:

- V_L – prędkość obwodowa ostrza nożyka,
- a_{max} – maksymalna głębokość skrawania,
- λ – wskaźnik kinematyczny wyrażający proporcję prędkości obwodowej do prędkości postępowej.

Analizując trajektorie wykreślane kolejnymi nożami (rys. 1B) można stwierdzić, że na dnie bruzdy pozostają nieuprawione fragmenty pola (grzebienie). Występująca w trakcie pracy maszyn rotacyjnych grzebienistość (c) dna bruzdy musi być utrzymana w granicach dopuszczalnych dla danej uprawy. Oznacza to, że wysokość grzebieni nie powinna przekraczać przy uprawie i doprawianiu odpowiednio $0,3 a_{min}$ i $0,5 a_{min}$ [Friedman i in. 1973].

Z rysunku 1B wynika, że:

$$\cos\left(\phi_c - \frac{\pi}{2}\right) = \frac{R - c}{R} \Rightarrow R = \frac{c}{1 - \cos\left(\phi_c - \frac{\pi}{2}\right)} \quad (4)$$

Po przyrównaniu równań (3) i (4) względem (R) otrzymujemy równanie łączące warunki prawidłowego zwrotu prędkości wypadkowej i wymaganej grzebienistości:

$$\lambda = \frac{c}{c - a_{max} \times \left[1 - \cos\left(\phi_c - \frac{\pi}{2}\right)\right]} \quad (5)$$

Należy zwrócić uwagę na fakt, że grzebienistość (c) i maksymalna głębokość robocza (a_{max}) są parametrami decyzyjnymi, narzuconymi wymaganiami agrotechnicznymi. Liczba pozostałych zmiennych wymaga wprowadzenia do równania (5) innych zależności, które wynikają z rys. 1B:

$$X_C = X_D - \frac{s}{2}; \quad X_D = V_m \times t + R \times \cos \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

Po uwzględnieniu, że długość kęsa (s) można wyrazić za pomocą równania [Friedman i in. 1973]

$$s = \frac{2 \times \pi \times R}{\lambda \times z}, \quad (7)$$

w którym (z) jest liczbą noży pracujących w płaszczyźnie ruchu, równanie opisujące współrzędną poziomą punktu (C) przybiera postać:

$$X_C = \frac{V_m \times \pi}{2 \times \varpi} - \frac{\pi \times R}{\lambda \times z} = \frac{V_m \times \pi}{2 \times \varpi} - \frac{V_m \times \pi \times R}{\varpi \times R \times z} = \frac{V_m \times \pi}{\varpi} \times \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{z} \right) \quad (8)$$

Współrzędną tego punktu można również opisać równaniem parametrycznym

$$X_C = V_m \times t + R \times \cos(\varpi \times t) = \frac{V_m \times \phi_C}{\varpi} + R \times \cos \phi_C, \quad (9)$$

co po uwzględnieniu równania (8) umożliwia wyznaczenie zależności opisującej wskaźnik kinematyczny (λ):

$$\lambda = \frac{\pi \times \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{z} \right) - \phi_C}{\cos \phi_C} \quad (10)$$

Równanie to porównano z przedstawionym wcześniej równaniem (5) otrzymując:

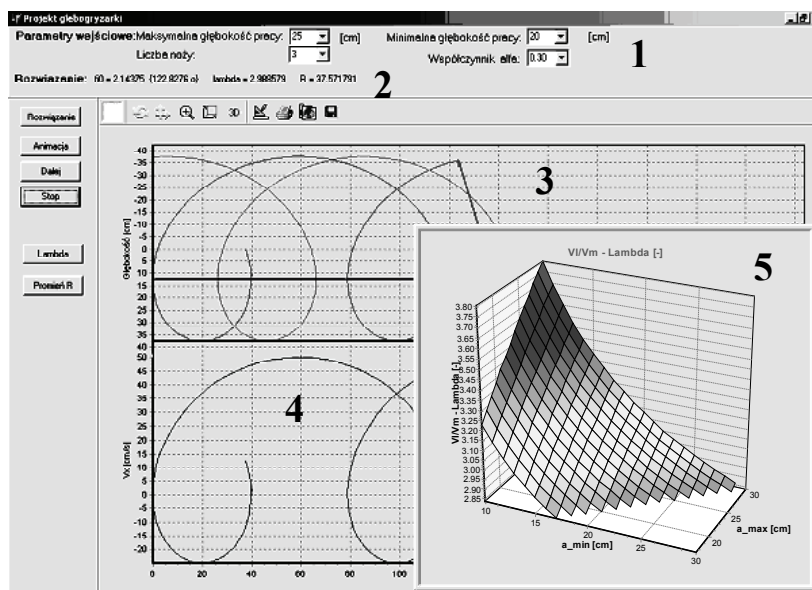
$$\pi \times \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{z} \right) = \phi_C + \frac{c \times \cos \phi_C}{c - a_{\max} \times \left[1 - \cos \left(\phi_C - \frac{\pi}{2} \right) \right]} \quad (11)$$

Po założeniu liczby noży (z) i przyjęciu parametrów agrotechnicznych (a_{\max} i a_{\min}) wartość kąta (ϕ_C) obliczono przy użyciu metod numerycznych, wykorzystując program symulacyjny napisany w języku DELPHI. Po przeprowadzeniu obliczeń, wartość tego kąta podstawiono do równania (5) obliczając wartość wskaźnika kinematycznego (λ) a następnie, stosując równanie (3), obliczono promień bębna (R). Z przedstawionej analizy wynika, że przy założonych parametrach agrotechnicznych, wartości współczynnika kinematycznego mogą być wyższe od tego, który uzyskuje się dla warunków granicznych. Trzeba jednak zwrócić uwagę na fakt, że wzrost wartości tego współczynnika będzie pociągał za sobą wzrost energochłonności uprawy i nadmierne rozdrobnienie gleby, które może powodować przyspieszenie jej erozji.

Wyniki symulacji komputerowej

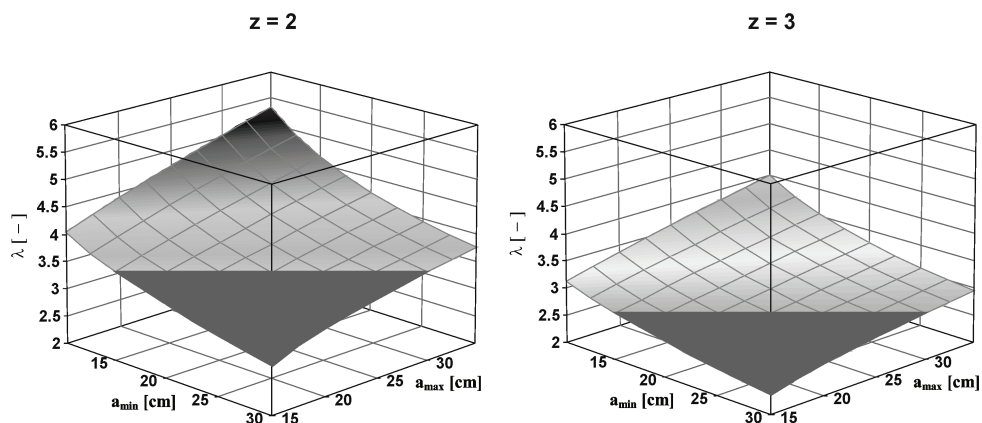
Program umożliwiający symulację parametrów, ich wizualizację i animację ruchu elementu skrawającego składa się z kilku oddzielnych modułów. Okno pierwszego modułu programu symulacyjnego przedstawiono na rys. 2. Okno składa się z pięciu podstawowych pól. Pole pierwsze (1) przeznaczone jest do wprowadzania lub wyboru z listy parametrów decyzyjnych. Po naciśnięciu przycisku „Rozwiązanie” w polu drugim (2) zostają wyświetlone wartości parametrów obliczonych metodami iteracyjnymi. Animację ruchu ostrza noża dla zoptymalizowanych parametrów można zobaczyć w polu (3) po naciśnięciu przycisku „Animacja”. Równoległe z animacją można także obserwować zmiany wartości wybranych parametrów warunkujących poprawność procesu (pole czwarte). Na prezentowanym rysunku w polu tym przedstawiono zmiany wartości składowej poziomej prędkości ostrza.

Nakładkę na okno programu stanowi pole piąte, w którym wizualizowane są wszystkie możliwe warianty rozwiązań parametrów symulowanych w funkcji parametrów decyzyjnych. Dostęp do tego pola uzyskuje się po naciśnięciu przycisku z nazwą symulowanego parametru.



Rys. 2. Okno programu symulacyjnego – moduł kinematyczny

Fig. 2. Window of simulation program – kinematics module

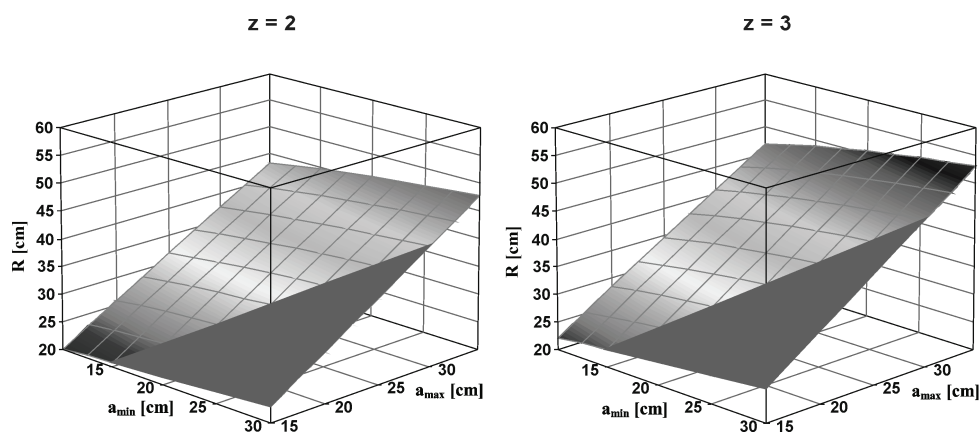


Rys. 3. Wpływ głębokości minimalnej (a_{min}) i maksymalnej (a_{max}) na wartość współczynnika kinematycznego (λ) przy zmiennej liczbie noży (z)

Fig. 3. Influence of minimum depth (a_{min}) and maximum depth (a_{max}) on value of kinematics coefficient (λ) under varied knives number (z)

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych stwierdzono, że wzrost liczby noży, wzrost minimalnej głębokości skrawania oraz spadek głębokości maksymalnej powodują spadek wartości współczynnika kinematycznego (rys. 3). Gradienty współczynnika kinematycznego przy zmianie minimalnej i maksymalnej głębokości rosną wraz ze spadkiem liczby noży. Można również zaobserwować różny charakter wpływu obu głębokości. Prezentowane na rys. 3 powierzchnie zawierają również obszary rozwiązań sprzecznych z podstawowym założeniem, zgodnie z którym $a_{max} \geq a_{min}$. Obszary te zostały zaznaczone ciemniejszym cieniowaniem. Na styku obszarów znajdują się wartości rozwiązań dla $a_{max} = a_{min}$, w przypadku których można zaobserwować, że wartość współczynnika kinematycznego nie zmienia się przy zmianie głębokości i zależy jedynie od liczby noży i wartości współczynnika określającego proporcję pomiędzy grzebienistością i głębokością roboczą.

Wzrost minimalnej i maksymalnej głębokości roboczej powoduje liniowy wzrost promienia bębna (rys. 4), przy czym zdecydowanie większą intensywność tego wzrostu obserwuje się w przy wzroście głębokości maksymalnej. Wymagany dla zachowania poprawności procesu skrawania promień bębna rośnie również nieznacznie przy wzroście liczby noży. Stwierdzono także, że liczba noży nie wpływa znacząco na gradienty promienia przy zmianie głębokości roboczych.



Rys. 4. Wpływ głębokości minimalnej (a_{min}) i maksymalnej (a_{max}) na wartość promienia bębna (R) przy zmiennej liczbie noży (z)

Fig. 4. Influence of minimum depth (a_{min}) and maximum depth (a_{max}) on value of rotor radius (R) under varied knives number (z)

Wnioski

1. Przedstawiony algorytm obliczeniowy i napisany na jego podstawie w języku programowania DELPHI program symulacyjny umożliwia optymalny dobór parametrów kinematycznych układu skrawającego z uwzględnieniem istotnych warunków wynikających z wymagań agrotechnicznych stawianych aktywnym maszynom uprawowym i doprawiającym.
2. Obliczone w wyniku symulacji komputerowej parametry kinematyczne stanowią podstawę do animacji komputerowej ruchu noża i umożliwiają graficzną weryfikację poprawności przyjętych założeń i algorytmów obliczeniowych.
3. Na podstawie obliczeń symulacyjnych stwierdzono następujące zależności pomiędzy parametrami założonymi (decyzyjnymi) i obliczonymi:
 - zmniejszenie liczby noży, wzrost maksymalnej głębokości roboczej i spadek głębokości minimalnej powodują wzrost wartości współczynnika kinematycznego, przy czym gradienty tego współczynnika przy zmianie głębokości maleją wraz ze wzrostem liczby noży,
 - dla analogicznych wartości głębokości minimalnej i maksymalnej wartość współczynnika kinematycznego zależy tylko od liczby noży skrawających,
 - promień bębna aktywnej maszyny uprawowej rośnie przy wzroście liczby noży oraz wzroście głębokości maksymalnej i minimalnej, przy czym zdecydowanie większy wpływ na ten promień ma głębokość maksymalna,

Bibliografia

- Bernacki H.** 1981. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych, t. I, cz. 1 i 2, PWRiL Warszawa. s. 310-318.
- Friedman M.** i in. 1973. Zamědělské stroje, cz. I, Teorie a výpočet, Státní Zamědělské Nakladatelství, Praha. s. 133-158.
- Hendrick J.G., Gill W.R.** 1974. Rotary tiller design parameters, part IV – blade clearance angle, Transaction of the ASAE vol. 1. s. 97-106.
- Hendrick J.G., Gill W.R.** 1978. Rotary tiller design parameters, part V – kinematics, Transactions of the ASAE vol. 4. s. 321-338.
- Miszczak M.** 1998. Analiza pracy spulchniacza obrotowego w glebie, Wydawnictwo SGGW Warszawa. ISBN 83-00-03122-7.

COMPUTER AID DESIGN OF ROTARY TILLER PARAMETERS. PART I - KINEMATICS

Summary. The paper presents analytical algorithm and simulating program, which was written in DELPHI program language. This program enables selection of kinematics parameters of cutting system including agrotechnic requirements, which are complied with rotary cultivator and tillage machines. Presented program enables also computer animation of knife motion and graphical verification of correctness of assumptions and analytical algorithms.

Key words: soil, cutting, rotary tillage machine, kinematics

Adres do korespondencji:

Krzysztof Lejman; e-mail lejman@imr.ar.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chelmońskiego 37/41
51-630 Wrocław