

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA PARAMETRÓW AKTYWNEJ MASZYNY UPRAWOWEJ. CZĘŚĆ II – GEOMETRIA NOŻA

Krzysztof Lejman

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Wiesław Szulczewski

Katedra Matematyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Przedstawiono program symulacyjny służący do wyznaczania optymalnych parametrów geometrycznych układu skrawającego aktywnej maszyny uprawowej. Program umożliwia animację ruchu noża oraz wizualizację przebiegu wartości podstawowych parametrów geometrycznych determinujących poprawność procesu skrawania.

Słowa kluczowe: gleba, skrawanie, aktywna maszyna uprawowa, geometria noża

Wstęp i cel pracy

Pomimo zarysowującej się w ostatnich latach tendencji do ograniczania zabiegów uprawy i doprawiania gleby można stwierdzić, że ich całkowita eliminacja jest niemożliwa. Wiąże się to z koniecznością przywracania optymalnych dla rozwoju roślin parametrów gleby. Fakt ten w powiązaniu z wprowadzaniem do produkcji polowej ciągników o coraz większych mocach skłania do stwierdzenia, że stosowanie aktywnych maszyn uprawowych i doprawiających jest zabiegiem przyszłościowym, przynoszącym wymierne korzyści agrotechniczne i ekonomiczne [Miszczak 1998].

W większości przypadków zasada działania aktywnej maszyny uprawowej opiera się na złożeniu ruchu obrotowego elementów skrawających i ruchu postępowego maszyny. Stwarza to konieczność prawidłowego doboru parametrów kinematycznych [Lejman, Szulczewski 2007], którego następstwem jest optymalizacja geometrii układu skrawającego.

Celem prezentowanej pracy jest analiza zmienności parametrów geometrycznych aktywnej maszyny uprawowej z wykorzystaniem programu symulacyjnego napisanego w języku programowania DELPHI.

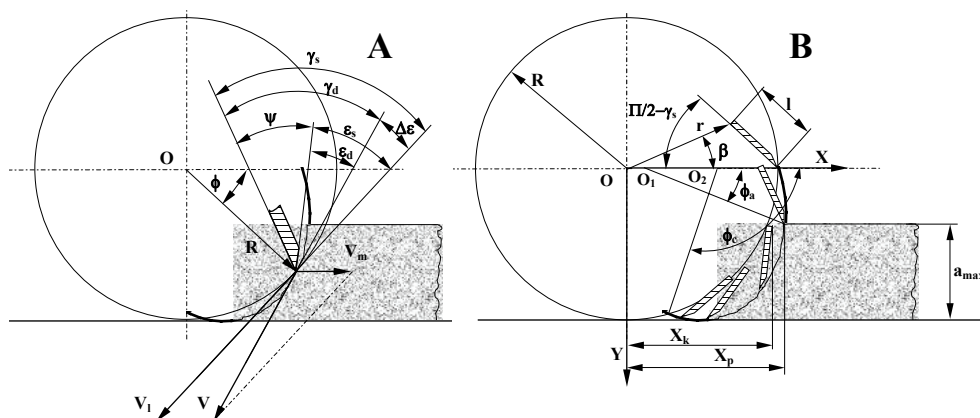
Analiza teoretyczna

Realizację przyjętego celu pracy oparto na założeniu, że czynnikami decyzyjnymi są: liczba noży, maksymalna głębokość skrawania i grzebienistość pola, której wartość wynika z minimalnej głębokości roboczej. Wyznaczone w oparciu o te wielkości parametry kine-

matyczne [Lejman, Szulczewski 2007] będą podstawą do analizy geometrii układu skrawającego dla następujących założeń wstępnych i upraszczających:

- wartości kątów ostrza i minimalnego kąta przyłożenia są narzucone wymaganiami agrotechnicznymi i konstrukcyjnymi [Bernacki 1981; Hendrick i Gill 1974],
- w trakcie skrawania wartość kąta przyłożenia nie może być mniejsza od założonej, granicznej wartości,
- długość noża nie może przekraczać wartości granicznej wynikającej z warunku przemieszczania cząstek glebowych w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu maszyny,
- grubość noża skrawającego jest pomijalna.

Przyjęte założenia i przeprowadzona na ich podstawie matematyczna analiza zmienności parametrów geometrycznych będą podstawą do napisania programu symulacyjnego. Program napisany w języku programowania DELPHI będzie umożliwiał wyznaczanie optymalnych parametrów geometrycznych, animację ruchu noża i graficzną weryfikację przyjętych założeń.



Rys. 1. Geometria noża skrawającego: A – podstawowe kąty, B – długość noża
 Fig 1. Geometry of cutting knife: A – basic angles, B – knife length

Parametry kinematyczne aktywnej maszyny uprawowej wpływają bezpośrednio na geometrię jej układu skrawającego, co przedstawiono na rys. 1A. Zmiany krzywizny calizny wzdłuż jej styku z trajektorią końca noża oraz zmiany chwilowego kierunku prędkości wypadkowej powodują, że wartość dynamicznego kąta skrawania (γ_d) ulega ciągłym zmianom. Aby nie następowało ugniatanie gleby płaszczyzną przyłożenia, co powoduje wzrost oporów skrawania i pogorszenie jakości uprawy, wartość dynamicznego kąta przyłożenia (ϵ_d) musi być większa od zera. W praktyce kąt ten nie powinien być mniejszy od $3^\circ \div 5^\circ$. Zmiany kąta przyłożenia ($\Delta\epsilon$) w funkcji kąta obrotu ostrza noża (ϕ) można opisać wzorem [Bernacki 1981]:

$$\text{arctg } \Delta\epsilon = \frac{\cos \phi}{\lambda - \sin \phi} \quad (1)$$

Dla przyjętej wartości kąta ostrza (ψ), który nie powinien być mniejszy od $10^\circ \div 15^\circ$, otrzymujemy warunek $\gamma_d \geq \psi + \varepsilon_d$, co po uwzględnieniu, że $\gamma_s \geq \gamma_d + \Delta\varepsilon$ umożliwia wyznaczenie minimalnej wartości kąta (γ_s) zawartego między płaszczyzną skrawania i styczną do obwodu wirnika:

$$\gamma_s = \gamma_d + \max_{\phi_a \leq \phi \leq \phi_c} \operatorname{arctg} \frac{\cos \phi}{\lambda - \sin \phi} \quad (2)$$

Rozwiązanie tego równania wymaga wyznaczenia takiego kąta obrotu (ϕ), dla którego wartość kąta ($\Delta\varepsilon$) osiąga swoje maksimum:

$$\frac{d}{d\phi} \left[\operatorname{arctg} \frac{\cos \phi}{\lambda - \sin \phi} \right] = \frac{1 - \lambda \times \sin \phi}{(\lambda - \sin \phi)^2 + \cos^2 \phi} = 0 \Rightarrow \sin \phi = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

Ponieważ, jak wynika z wcześniejszej analizy [Lejman, Szulczewski 2007], odwrotność wskaźnika kinematycznego równa jest wartości sinusa kąta (ϕ_a) to można stwierdzić, że kąt ($\Delta\varepsilon$) osiąga swoje maksimum przy kącie obrotu, który odpowiada momentowi zetknięcia noża z powierzchnią pola dla maksymalnej głębokości roboczej (a_{max}). Po uwzględnieniu tego faktu i warunków zawartych w zależności (2) minimalny kąt skrawania (γ_s) można wyznaczyć z równania:

$$\gamma_s = \psi + \varepsilon_d + \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{1}{\lambda^2 - 1}} \right) \quad (4)$$

W praktyce należy przyjmować graniczną wartość statycznego kąta skrawania (γ_s), ponieważ wzrost wartości tego kąta powoduje zwiększenie oporów skrawania [McKyes 1978]. Przyjęta wartość statycznego kąta skrawania umożliwia symulowanie zmian chwilowej wartości kąta skrawania (γ_d) w funkcji kąta obrotu (ϕ):

$$\gamma_d = \gamma_s - \operatorname{arctg} \frac{\cos \phi}{\lambda - \sin \phi}, \quad (5)$$

co ma podstawowe znaczenie w prognozowaniu chwilowych obciążeń układu napędowego aktywnej maszyny uprawowej determinujących energochłonność wykonywanego zabiegu [Miszczak 1998]. Konsekwencją powiązania algorytmów obliczania parametrów geometrycznych i kinematycznych jest fakt, że dynamiczny kąt skrawania osiąga minimum przy kącie obrotu wirnika odpowiadającemu momentowi zetknięcia noża z płaszczyzną pola. Jak wynika ze wzoru (5), dalszy wzrost kąta obrotu powoduje wzrost wartości kąta skrawania, co zapobiega oddalaniu się powierzchni noża od skrawanego kęsa. Zauważyć również można, że intensywność wzrostu kąta skrawania rośnie wraz ze spadkiem wartości współczynnika kinematycznego.

Analizując kolejne położenia noża w trakcie skrawania (rys. 1B) można zauważyć, że jego końcowy punkt przemieszcza się po trajektorii, której najmniejsza odległość ($x_p - x_k$) od trajektorii ostrza znajduje się w płaszczyźnie powierzchni pola. Warunkiem koniecznym dla zachowania prawidłowego procesu skrawania jest taki dobór długości noża (l), przy

którym spełniony będzie warunek: $x_p \geq x_k$. Według Friedmana i in. [1973] warunek ten będzie spełniony dla $\gamma_s > \pi/2$. Przedstawiona wcześniej analiza [Lejman, Szulczewski 2007] wskazuje jednak, że w zależności od przyjętych parametrów decyzyjnych zmianie ulegają takie parametry jak współczynnik kinematyczny (λ), promień bębna (R) i minimalny kąt skrawania (γ_s). Konsekwencją tego jest geometryczne powiązanie długości noża (l) z wyznaczonymi wcześniej wielkościami:

$$r = \sqrt{l^2 + R^2 - 2 \times R \times l \times \sin \gamma_s} \quad i \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{l \times \cos \gamma_s}{R - l \times \sin \gamma_s} \quad (6)$$

gdzie:

- r – promień wodzący końcowego punktu noża,
- β – kąt pomiędzy promieniami wodzącymi ostrza i końcowego punktu noża.

Ponieważ najmniejsza odległość pomiędzy trajektoriami ostrza i końcowego punktu noża przypada w płaszczyźnie powierzchni pola, to w celu wyznaczenia maksymalnej długości noża konieczne jest uwzględnienie zależności geometrycznych (6) i rozwiązanie równania nieliniowego $x_p = x_k$ dla $y_p = y_k = R - a_{max}$, w którym:

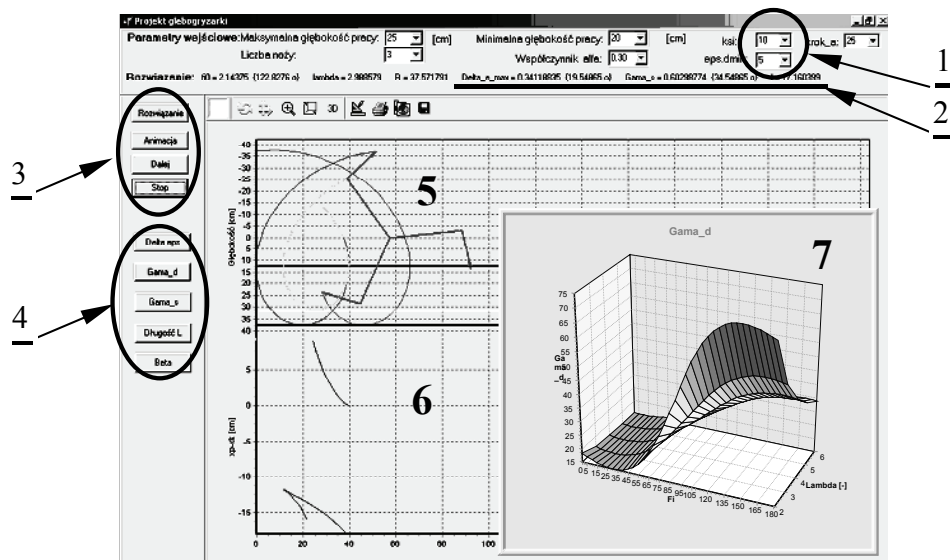
$$\begin{cases} x_p = R \left(\frac{\phi_a}{\lambda} + \cos \phi_a \right) \\ x_k = \frac{\phi' \times R}{\lambda} + r \times \cos \phi' \end{cases} \quad (7)$$

gdzie: ϕ' – kąt obrotu wirnika, przy którym $y_k = R - a_{max}$.

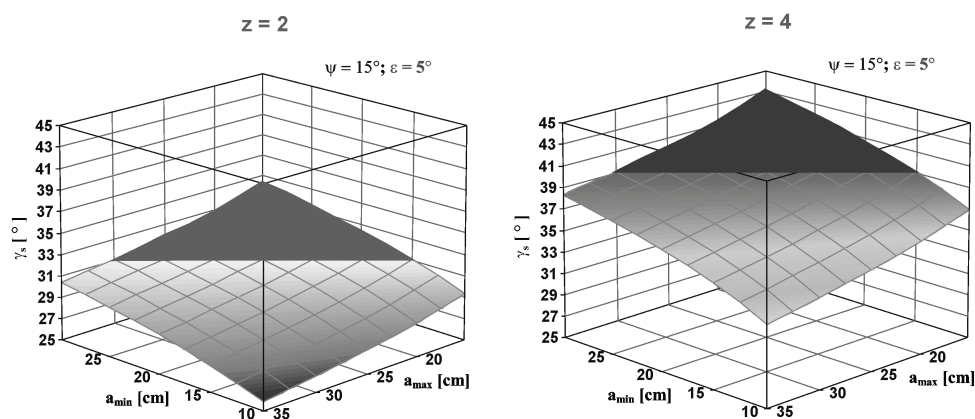
Wyznaczenia maksymalnej długości noża wynikającej z równań (6) i (7) w zależności od wartości przyjętych parametrów decyzyjnych (a_{max} , a_{min} i z) dokonano metodami numerycznymi, przy wykorzystaniu wspomnianego wcześniej programu symulacyjnego.

Wyniki symulacji komputerowej

Okno programu symulacyjnego (moduł geometrii noża) przedstawiono na rys. 2. W porównaniu z modułem kinematycznym w polu parametrów decyzyjnych (1) dodano możliwość wpisywania lub wyboru z listy wartości kątów ostrza i przyłożenia. Na podstawie podanych wartości kątów, wartości głębokości skrawania (a_{min} , a_{max}) i liczby noży, po wcześniejszym wyznaczeniu współczynnika kinematycznego i promienia bębna, zostają obliczone optymalne wartości pozostałych kątów i maksymalna długość noża. Zoptymalizowane wartości tych parametrów zostają podane w polu (2). Przyciski umieszczone w polu (3) umożliwiają uruchomienie animacji ruchu noża dla wyznaczonych parametrów. W trakcie animacji w polu (6) wizualizowany jest przebieg zmian wartości parametrów determinujących poprawność przebiegu skrawania. Na prezentowanym rysunku przedstawiono zmiany odległości końcowego punktu noża od krawędzi calizny w funkcji poziomego przesunięcia ostrza. Pole (7) zaprojektowane jako nakładka na okno umożliwi obserwację przebiegów parametrów wybranych w polu (4) w zależności od parametrów decyzyjnych lub w funkcji kąta obrotu wirnika.



Rys. 2. Okno programu symulacyjnego – moduł geometrii noża
 Fig. 2. Window of simulation program – knife geometry module

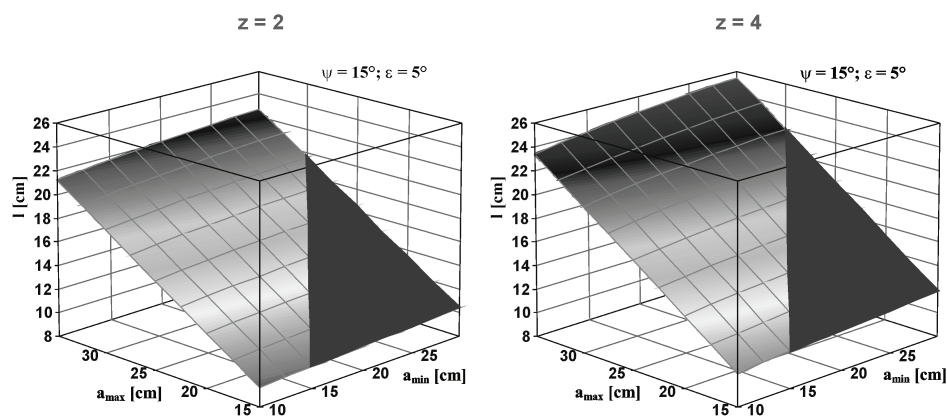


Rys. 3. Wpływ głębokości minimalnej (a_{min}) i maksymalnej (a_{max}) na wartość statycznego kąta skrawania (γ_s) przy zmiennej liczbie noży (z)
 Fig. 3. Influence of minimum depth (a_{min}) and maximum depth (a_{max}) on value of static cutting angle (γ_s) under varied knives number (z)

Zmiany statycznego kąta skrawania w funkcji maksymalnej i minimalnej głębokości roboczych przedstawiono na rys. 3. Obszarami o większej intensywności cieniowania zaznaczono wartości rozwiązań niespełniających warunku $a_{max} \geq a_{min}$. Statyczny kąt skrawania rośnie wraz ze wzrostem minimalnej głębokości roboczej i liczby noży, maleje

natomiast przy wzroście głębokości maksymalnej. Dla analogicznych wartości a_{min} i a_{max} , co ilustruje linia przebiegająca na styku płaszczyzn, wartość tego kąta nie ulega zmianie i zależy tylko od liczby noży.

Graniczna długość noża rośnie liniowo przy wzroście głębokości minimalnej i maksymalnej (rys. 4), przy czym zdecydowanie większy wpływ na tę długość można zaobserwować przy wzroście głębokości maksymalnej. Wzrost tej głębokości z 15 do 35 cm skutkuje ponad dwukrotnym wzrostem długości noża przy zaledwie kilkucentymetrowym przyroście, jaki jest spowodowany wzrostem głębokości minimalnej z 10 do 30 cm. Zwiększenie liczby noży powoduje wzrost długości noża, przy czym nie wpływa na gradienty długości przy wzroście głębokości minimalnej i maksymalnej.



Rys. 4. Wpływ głębokości minimalnej (a_{min}) i maksymalnej (a_{max}) na wartość maksymalnej długości noża (l) przy zmiennej liczbie noży (z)

Fig. 4. Influence of minimum depth (a_{min}) and maximum depth (a_{max}) on value of maximum knife length (l) under varied knives number (z)

Podsumowanie i wnioski

Przedstawiony algorytm obliczeniowy i napisany na jego podstawie w języku programowania DELPHI program symulacyjny umożliwiają prawidłowy dobór parametrów geometrycznych układu skrawającego z uwzględnieniem istotnych warunków wynikających z analizy kinematycznej. Program umożliwia również animację ruchu noża dla zoptymalizowanych parametrów oraz wizualizację przebiegu zmian parametrów determinujących poprawność procesu skrawania. Na podstawie obliczeń stwierdzono następujące zależności pomiędzy parametrami założonymi i symulowanymi:

- Statyczna (konstrukcyjna) wartość kąta skrawania, który jest zawarty pomiędzy płaszczyzną noża i styczną do okręgu, po którym porusza się ostrze nożyka, rośnie wraz ze wzrostem minimalnej głębokości roboczej i liczby noży, maleje natomiast przy wzroście głębokości maksymalnej; dla analogicznych wartości a_{min} i a_{max} wartość tego kąta zależy tylko od liczby noży.

- Maksymalna długość noża rośnie wraz ze wzrostem kątów ostrza i przyłożenia oraz liczby noży i maksymalnej głębokości skrawania, nie stwierdzono natomiast wyraźnego wpływu na tę długość głębokości minimalnej.
- Dynamiczny kąt skrawania osiąga minimum przy kącie obrotu wirnika odpowiadajacemu momentowi zetknięcia noża z płaszczyzną pola; dalszy wzrost kąta obrotu powoduje wzrost wartości kąta skrawania, przy czym gradient wzrostu rośnie wraz ze spadkiem wartości współczynnika kinematycznego.

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.
- Lejman K. Szulczewski W.** 2007. Komputerowe wspomaganie projektowania parametrów aktywnej maszyny uprawowej. Część I – kinematyka. Inżynieria Rolnicza 2(90). s. 135-142.
- McKyes E.** 1978. The calculation of draft forces and soil failure boundaries of narrow cutting blades, Transactions of the ASAE. s. 20-24.
- 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 II – KNIFE GEOMETRY

Summary. The paper presents the simulation program for determination of optimum geometric parameters of rotary tiller cutting arrangement. Program enables knife motion animation and visualisation of course of basic geometrical parameters, which determine of cutting process correctness.

Key words: soil, cutting, rotary tillage machine, knife geometry

Adres do korespondencji:

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