

---

KOMITET TECHNIKI ROLNICZEJ PAN  
POLSKIE TOWARZYSTWO INŻYNIERII ROLNICZEJ

---

# INŻYNIERIA ROLNICZA

Rok **XII**

**3**(101)

---

Warszawa 2008

## RADA PROGRAMOWA

czł. rzecz. PAN prof. dr hab. inż. Janusz Haman – przewodniczący  
czł. rzecz. PAN prof. dr hab. inż. Rudolf Michałek – wiceprzewodniczący  
prof. dr hab. inż. Małgorzata Bzowska-Bakalarz  
prof. dr hab. inż. Stanisław Pabis  
prof. dr hab. inż. Tadeusz Rawa  
prof. dr hab. inż. Józef Szlachta  
prof. dr hab. inż. Zdzisław Wójcicki  
prof. dr hab. inż. Jan Dawidowski  
prof. dr hab. inż. Jerzy Weres

### *CZŁONKOWIE ZAGRANICZNI*

prof. Gerard Wiliam Isaacs (USA) – czł. zagr. PAN  
prof. Stefan Cenkowski (Kanada)  
prof. Jürgen Hahn (Niemcy)  
prof. Radomir Adamovsky (Rep. Czeska)  
prof. Oleg Sidorczuk (Ukraina)

### *KOMITET REDAKCYJNY*

czł. rzecz. PAN prof. dr hab. inż. Rudolf Michałek – redaktor naczelny  
czł. rzecz. PAN prof. dr hab. inż. Janusz Haman  
prof. dr hab. inż. Janusz Laskowski  
dr inż. Maciej Kuboń – sekretarz

### *RECENZENCI*

prof. dr hab. inż. Edmund Kamiński - SGGW w Warszawie  
prof. dr hab. inż. Zbigniew Siarkowski - Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

### *Wydawca*

Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej

### *Praca wykonana*

w Instytucie Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie

### *Druk i oprawa*

Zakład Promocji IBMER, ul. Rakowiecka 32, tel. 0-22 5421170, fax 0-22 5421181

Nakład 150 egzemplarzy

---

**Rozprawy habilitacyjne**

**Nr 27**

---

Zbigniew Kogut

**Dobór parametrów procesu siewu  
w aspekcie głębokości pracy redlic**

(rozprawa habilitacyjna)



## SPIS TREŚCI

|  |            |
|--|------------|
| Streszczenie.....  | 6          |
| Ważniejsze oznaczenia .....  | 7          |
| <b>1. Wstęp i geneza podjęcia tematu.....</b>  | <b>9</b>   |
| 1.1. Wstęp.....  | 9          |
| 1.2. Wpływ głębokości siewu na plon roślin.....                                      | 10         |
| 1.3. Stan badań w zakresie oceny jakości głębokości siewu.....                       | 12         |
| 1.3.1. Stosowane wskaźniki i metody oceny.....                                       | 12         |
| 1.3.2. Głębokość w aspekcie warunków eksploatacyjnych.....                           | 14         |
| 1.3.3. Związek głębokości z parametrami procesu.....                                 | 18         |
| 1.4. Ocena rozwiązań konstrukcyjnych układów redlicowych.....                        | 22         |
| 1.5. Podsumowanie.....   | 28         |
| <b>2. Cel, zakres i metodyka badań.....</b>  | <b>30</b>  |
| 2.1. Cel badań.....  | 30         |
| 2.2. Zakres badań.....   | 31         |
| 2.3. Metodyka badań.....   | 34         |
| <b>3. Analiza teoretyczna procesu siewu w aspekcie głębokości pracy redlic .....</b> | <b>35</b>  |
| 3.1. Zdefiniowanie kryterium doboru.....   | 35         |
| 3.2. Model matematyczny nacisku redlic.....  | 39         |
| 3.2.1. Dynamika układów redlicowych.....   | 40         |
| 3.2.2. Kinematyka redlic.....  | 43         |
| 3.2.3. Kinematyka układów zawieszenia .....  | 70         |
| 3.3. Model matematyczny składowych oporu pracy redlic.....                           | 78         |
| 3.3.1. Określenie struktury ogólnej modelu.....                                      | 78         |
| 3.3.2. Określenie funkcji podcałkowych.....  | 81         |
| 3.3.3. Określenie granic całkowania.....   | 83         |
| 3.4. Model matematyczny głębokości pracy redlic .....                                | 92         |
| <b>4. Weryfikacja opracowanych modeli matematycznych .....</b>                       | <b>97</b>  |
| 4.1. Charakterystyka metod weryfikacji .....   | 97         |
| 4.2. Weryfikacja symulacyjna .....   | 98         |
| 4.3. Weryfikacja empiryczna.....   | 102        |
| <b>5. Dobór parametrów procesu redlicowej techniki siewu .....</b>                   | <b>105</b> |
| 5.1. Zakres zastosowania.....  | 105        |
| 5.2. Wpływ parametrów eksploatacyjnych na nierównomierność.....                      | 106        |
| 5.3. Wpływ systemu układu zawieszenia na nierównomierność.....                       | 113        |
| 5.4. Wpływ typu i kształtu redlicy na nierównomierność.....                          | 118        |
| 5.5. Ilustracja wpływu wybranych parametrów procesu na głębokość pracy redlic.....   | 126        |
| 5.6. Ocena wyników doboru.....   | 135        |
| <b>6. Wnioski i stwierdzenia.....</b>  | <b>139</b> |
| <b>Bibliografia .....</b>  | <b>141</b> |
| <b>Summary.....</b>  | <b>145</b> |

## STRESZCZENIE

Opracowano oryginalną metodę doboru parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych procesu redlicowej techniki siewu, minimalizującego nierównomierność głębokości pracy redlic. Użytkano ją w oparciu o zdefiniowane kryteria doboru w aspekcie jakości głębokości pracy redlic, wiążące głębokość chwilową i jej zmienność (rozrzut w stosunku do głębokości zadanej przez użytkownika) z parametrami eksploatacyjnymi i konstrukcyjnymi siewników uniwersalnych. W wyniku analizy teoretycznej procesu redlicowej techniki siewu sformułowano zależności między głębokością (chwilową i zadaną) pracy redlic a parametrami tego procesu, opracowując w tym celu analityczne modele matematyczne siły nacisku redlic i składowych oporu ich pracy. Uwzględniono wybrane, najistotniejsze w praktyce, rozwiązania układów redlicowych: typy i kształt redlic oraz układy ich zawieszenia. Opracowane modele zweryfikowano pozytywnie dostępnymi metodami (symulacyjnie i empirycznie). Dynamiczny (w czasie trwania procesu siewu) charakter głębokości uzyskano w wyniku równowagi momentu zagłębiającego redlicę z ich momentem wypychającym z gleby, wykorzystując równocześnie ogólnie znane zasady teorii mechanizmów i mechaniki gleby. Z teorii mechanizmów zastosowano głównie kinematykę i dynamikę odniesioną do układu redlicowego (tj. redlic i układu ich zawieszenia), natomiast z mechaniki gleby teorię jej skrawania trójściennym klinem wykorzystującą wersory chwilowej prędkości podczas ruchu redlicy w glebie do określenia kierunku i zwrotu sił oporu. Warunkiem pozytywnego efektu jest równoczesne stosowanie tych teorii.

Na podstawie opracowanych analitycznych modeli matematycznych siły nacisku redlic i składowych oporu ich pracy zdefiniowano zbiór parametrów procesu redlicowej techniki siewu, wpływających na głębokość pracy redlic i jej nierównomierność, z uwzględnieniem typu i kształtu redlic oraz systemu układu ich zawieszenia.

Zaprezentowano przykłady wykorzystania opracowanych modeli matematycznych do symulacji komputerowej, analizującej przebieg procesu siewu w aspekcie jakości głębokości pracy redlic.

Przedstawiono przykładowy dobór parametrów procesu redlicowej techniki siewu, ilustrując go wynikami oceny wpływu na głębokość pracy redlic i jej nierównomierność: parametrów eksploatacji, systemu układu zawieszenia oraz typu i kształtu redlic.

Opracowana metoda doboru pozwala określać zarówno optymalne warunki wykorzystania siewników w procesie siewu jak też uzasadniać nowe rozwiązania konstrukcyjne układów redlicowych, bez potrzeby prowadzenia długotrwałych i kosztownych badań empirycznych.

**Ważniejsze oznaczenia**

Wybrane wielkości pomocnicze z analizy parametrów procesu siewu:

- $a_b, a_o, a_{ob}, a_{on}, a_w, a_c$  – przyspieszenie liniowe w punkcie  $P_n$  styku redlicy z podłożem: bezwzględne, w ruchu obrotowym redlicy (w prostokątnym układzie współrzędnych  $Oxy$  związanym z siewnikiem) i jego składowe (styczne i normalne), względne (w prostokątnym układzie  $Ox_0y_0$  związanym tylko z redlicą), Coriolisa,  $m \cdot s^{-2}$ ,
- $a_{sp}, a_{so}$  – przyspieszenie liniowe środka masy redlicy: unoszenia w ruchu postępowym i całkowite w wyniku obrotu,  $m \cdot s^{-2}$ ,
- $b_h$  – nierównomierność głębokości określana współczynnikiem zmienności, %,
- $E$  – standardowy błąd estymacji,
- $F_{Bp}$  – siła bezwładności w ruchu postępowym redlicy, N,
- $F_{Bo}$  – całkowita siła bezwładności w ruchu obrotowym redlicy, N,
- $F_s$  – siła dociskowa sprężyny, N,
- $k_{on}, k_{otb}, k_{otc}$  – jednostkowy opór gleby: normalny, tarcia na powierzchniach bocznych i tarcia na powierzchniach czołowych redlic, MPa,
- $K, K_{tb}, K_{tc}, K_{nc}; K_x, K_y, K_{tbx}, K_{tby}, K_{tcx}, K_{tcy}, K_{ncx}, K_{ncy}$  – całkowita siła oporu pracy redlicy i jej składowe: oporu tarcia na bocznych ściankach i oporu tarcia na czołowych powierzchniach oraz oporu normalnego na czołowych powierzchniach; a także odpowiednio składowe poziome i pionowe (w prostokątnym układzie współrzędnych  $OXY$  związanym z glebą), N,
- $l$  – długość łuku czołowej powierzchni redlicy, zagłębionej w glebie, mm,
- $L_R$  – rozciągnięcie sprężyny dociskowej redlic, mm,
- $m, m_T, m_N$  – wersory prędkości: bezwzględnej i jej składowej stycznej oraz normalnej,
- $N, N_A, N_k, N_s$  – siła nacisku redlicy: na powierzchni ustawienia kół, w punkcie  $P_A$ , kinetostyczna i statyczna, N,
- $P_a, P_b, P_c, P_d, P_n$  – charakterystyczne punkty na powierzchni redlicy: kształtu jej powierzchni roboczej i styku z płaszczyzną podłoża,
- $P_l, P_2, P_r$  – punkty mocowania sprężyny: na ramieniu redlicy i obrotowym ramieniu oraz obrotowej rurze,
- $r$  – promień bezwładności redlicy, mm,
- $r_0, \dots, r_6$  – promienie wodzące sił, mm,
- $R^2$  – współczynnik determinacji, %,
- $V_b, V_{uo}, V_w, V_{bx}, V_{by}, V_{uox}, V_{uoy}, V_{wx}, V_{wy}$  – prędkość liniowa redlicy w punkcie  $P_n$  jej styku z podłożem: bezwzględna, unoszenia w ruchu obrotowym względem siewnika (w układzie  $x,y$ ), względna w układzie  $x_0,y_0$  związanym z redlicą, ich składowe poziome i pionowe,  $m \cdot s^{-1}$ ,
- $x_{0a}, \dots, x_{0d}, y_{0a}, \dots, y_{0d}, x_a, \dots, x_d, y_a, \dots, y_d$  – współrzędne (poziome i pionowe) punktów opisujących zarys powierzchni redlicy stopkowej i radełkowej we współrzędnych  $x_0,y_0$  i  $x,y$ ,
- $x_{0n}, y_{0n}, x_n, y_n, x_{0nt}, y_{0nt}, x_{nt}, y_{nt}$  – współrzędne (poziome i pionowe) charakterystycznego punktu  $P_n$  na powierzchni redlicy we współrzędnych  $x_0,y_0$  i  $x,y$ , w ujęciu statycznym i dynamicznym (tj. zależnym od czasu  $t$ ),
- $x_0,y_0, x,y, X,Y$  – poziome i pionowe współrzędne odniesienia: obrotowego układu związanego z redlicą, ruchomego układu związanego z siewnikiem i układu związanego z glebą,
- $\omega_1, \omega_2$  – prędkość kątowna redlicy: ramienia i tarczy,  $rad \cdot s^{-1}$ ,
- $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – przyspieszenie kątowe redlicy: ramienia i tarczy,  $rad \cdot s^{-2}$ ,
- $X_E$  – **zbiór zmiennych parametrów eksploatacyjnych**, wynikających z warunków eksploatacji:
- $h, h_z, h_{zmin} \neq h_{zmax}$  – głębokość pracy redlic: chwilowa (rzeczywista), zadana (oczekiwana) i przedział jej zmienności od wartości minimalnych do maksymalnych, mm,

$P, P_z, P_{min} \div P_{max}$  – wyrównanie powierzchni gleby w postaci odległości od powierzchni gleby do płaszczyzny ustawienia kół agregatu: chwilowe, zadane i przedział zmienności, mm,

$V_m, V_{mśr}, V_{mmin} \div V_{mmax}$  – prędkość robocza siewnika, jej średnia i przedział zmienności od wartości minimalnych do maksymalnych,  $m \cdot s^{-1}$ ,

$\Delta V$  – przyrost prędkości roboczej siewnika w wyniku przyśpieszenia ciągnika,  $m \cdot s^{-1}$ ,

$Z, Z_{śr}, Z_{min} \div Z_{max}$  – zwięzłość gleby w warstwie siewnej, jej średnia i przedział zmienności od wartości minimalnych do maksymalnych, MPa,

$\Delta S$  – przyjęty (oczekiwany) odcinek kopiowania nierówności na powierzchni, mm,

$X_{Ks}$  – **zbiór parametrów konstrukcyjnych stałych** układu redlicowego siewnika:  
**dotyczących redlicy:**

$a_0, a_1, a_2$  i  $b_0, b_1$  i  $b_2$  – współczynniki kształtu powierzchni czołowej redlicy stopkowej i radełkowej; mm, -,  $mm^{-1}$ ,

$b$  – grubość redlicy, mm,

$F_Q$  – ciężar redlicy, N,

$R_0$  – promień powierzchni czołowej redlicy w płaszczyźnie równoległej do ruchu, mm,

$R_2$  – promień punktu  $P_1$  mocowania sprężyny na ramieniu redlicy, mm,

$R_3$  – promień położenia środka masy redlicy, mm,

$R_4$  – długość ramienia redlicy, mm,

$\alpha_0$  – kąt punktu mocowania sprężyny na ramieniu redlicy, rad,

$\lambda$  – kąt położenia środka masy redlicy, rad,

$\tau$  – pochylenie klina redlicy (tj. 1/2 jej kąta cięcia), -

$\mu$  – współczynnik tarcia kinetycznego gleba-powierzchnia redlicy, -

$f$  – współczynnik zmniejszenia nacisku normalnego na powierzchni bocznej redlic, -

**dotyczących układu zawieszenia redlic:**

$A$  – promień środka obrotu elementu centralnej regulacji docisku (w stosunku do osi obrotu redlic), mm,

$H$  – wysokość osi obrotu redlic, mm,

$H_p$  – wysokość mocowania środka obrotu elementu docisku, mm,

$R_1$  – promień punktu  $P_2$  mocowania sprężyny w układzie zawieszenia, mm,

$L_o$  – długość łącznika spinającego sprężynę (do indywidualnej nastawy regulacyjnej), mm,

$L_s$  – długość sprężyny w stanie spoczynku, mm,

$\alpha_{1p}$  – kąt początkowego położenia punktu mocowania sprężyny, rad,

$\beta_o$  – kąt stały położenia środka obrotu elementu centralnej regulacji docisku, rad,

$\beta_{op}$  – kąt początkowy położenia środka obrotu elementu centralnej regulacji docisku, rad,

$X_{Kz}$  – **zbiór parametrów konstrukcyjnych zmiennych** układu redlicznego siewnika:

$c$  – współczynnik siły sprężystości sprężyn dociskających redlice,  $N \cdot mm^{-1}$ ,

$L_{rc}$  – długość (wartość) centralnej nastawy regulacyjnej, mm,

$L_{rn}$  – długość (wartość) indywidualnej nastawy regulacyjnej, mm,

**Wyjaśnienie:** stosowane w pracy formuły matematyczne edytowane są bezpośrednio z angielskiej wersji programu matematycznego MATHCAD, wykorzystywanego przez autora przy realizacji pracy, dlatego zapis funkcji trygonometrycznych oraz poleceń programowania występuje w notacji angielskiej i przy zachowaniu reguł programu MATHCAD. Ponadto, ze względu na dużą ilość formuł matematycznych, często bardzo rozbudowanych, zrezygnowano w ich opisie ze stosowania jednostek miar, zamieszczając je głównie w spisie ważniejszych oznaczeń i prezentowanych wynikach.



## **SELECTION OF THE PARAMETERS FOR DRILL-SEEDER COULTER SYSTEM IN ASPECT OF COULTERS' WORKING DEPTH**

### **Summary**

An original method was elaborated to select the construction and operation parameters of the coulters seeding technique, minimizing the non-uniformity of coulters working depth. It was obtained on the basis of defined selection criteria in aspect of the quality of coulters working depth, joining the momentary depth and its variability (dispersion in relation to the depth adjusted by the user) with operation and constructional parameters of the universal drill-seeders. As a result of theoretical analysis of the coulters seeding technique process, the relationships were formulated between the coulters working depth (momentary and adjusted by the user) and the parameters of this process; for such purpose the analytical mathematical models of the coulters' pressure force and the components of their working resistance were developed. Selected, most important in practice, coulters system solutions were considered: the types and shape of coulters and their mounting systems. Developed models were positively verified with the use of available methods (empirically and by simulation). Dynamic (during seeding process) character of the depth, was obtained as a result of balance between the coulters' penetrating moment and the moment pushing them out of soil, using simultaneously the general rules of machines' theory and soil mechanics. From the theory of machines, the kinematics and dynamics were mainly applied with reference to the coulters system (ie. the coulters and their mounting system), whereas from the soil mechanics - the theory of soil cutting with a trihedral wedge, using the versors of momentary speed during coulters motion in the soil to determine the direction and sense of resistance forces. Concurrent application of both these theories is a condition of getting positive effects. On the basis of mathematical models elaborated to analyse the coulters' pressure force and their working resistance components, the set of parameters was defined for the process of coulters seeding technique, affecting the coulters working depth and its non-uniformity, taking into account the type and shape of coulters as well as their mounting system. Paper gave the examples of using developed mathematical models to computer simulation, analysing the course of seeding process in aspect of coulters working depth quality. Exemplary selection of coulters seeding technique parameters was presented with its illustration by evaluation results concerning the coulters working depth and its non-uniformity, as affected by factors such as: operation parameters, mounting system, type and shape of the coulters. Elaborated selection method enables both, to determine the optimum conditions of drill-seeder usage in seeding process as well as to motivate the new construction solutions for coulters systems, without the necessity of conducting long-lasting and expensive empirical investigations.