

Zbigniew Siarkowski\*, Zofia Hanusz\*\*  
\*Katedra Maszyn i Urządzeń Rolniczych  
\*\*Katedra Zastosowań Matematyki  
Akademia Rolnicza w Lublinie

## UWAGI O WIELOKRYTERIALNYM DOBORZE MASZYN I URZĄDZEŃ DO REALIZACJI PROCESÓW PRODUKCJI ROLNICZEJ

### Streszczenie

Przedstawiono kilka uwag odnośnie metod doboru maszyn i urządzeń rolniczych. Wskazano na najczęściej popełniane błędy w trakcie ustalania kryteriów wyboru. Podano sugestie umożliwiające poprawne określenie równań regresji wielokrotnej.

**Słowa kluczowe:** kryterium, dobór maszyn, produkcja, rolnictwo

### Wprowadzenie

Zagadnieniem optymalnego doboru maszyn i urządzeń do mechanizacji prac w rolnictwie naukowcy zajmują się dopiero od około 100 lat. Jest to stosunkowo młoda dziedzina nauki i do chwili obecnej nie zawsze do końca i jednoznacznie wyjaśnione są podstawowe pojęcia i stosowane nazewnictwo. Problem ten często wraca na kolejnych Konferencjach Naukowych z cyklu „Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie”. W niniejszej pracy skoncentrowano się na dwóch pojęciach: „optymalizacja” i „wielokryterialna funkcja celu” czy raczej „wielowymiarowa funkcja celu”. Terminy te stosowane są często i nie zawsze zgodnie z ich właściwym znaczeniem jakie wypracowała matematyka. Brak jednoznacznej interpretacji tych pojęć prowadzi do wielu nieporozumień. Zdarza się, że autorzy prac mają potem pretensje do recenzentów, że ocena ich pracy była niesprawiedliwa. Najczęściej uważają, że recenzent nie zrozumiał istoty proponowanego podejścia do nowego sposobu rozwiązania problemu naukowego albo uznał, że recenzowana praca nie jest opracowaniem naukowym.

## **Cel pracy**

W pracy podjęto próbę usystematyzowania niektórych pojęć związanych z doborem maszyn i urządzeń możliwych do wykorzystania w produkcji rolniczej. Przedstawione zostały niektóre interpretacje i propozycje w odniesieniu do wielokryterialnego doboru maszyn i urządzeń rolniczych.

## **Problemy z określeniem postaci funkcji celu**

W matematyce problem optymalizacji sprowadza się do znalezienia optimum funkcji określanej jako funkcja celu lub kryterium wyboru. Nie ma tu znaczenia liczba wymiarów funkcji, gdyż opracowany aparat formalny znajdowania ekstremum funkcji jest niezależny od liczby zmiennych. Główne założenia dotyczą dziedziny, ciągłości i monotoniczności funkcji oraz istnienia jej pochodnych odpowiedniego rzędu.

W rolnictwie niestety nie ma tak komfortowej sytuacji. Różnice występują już na etapie określenia dziedziny funkcji. Najczęściej ze względu na koszty lub czas trwania, badania mają charakter wycinkowy i nie obejmują pełnej zmienności badanego zjawiska. Dlatego często poruszamy się tylko w pewnych fragmentach istnienia procesu. Zdarza się jednak, że badający podejmuje próbę uogólnienia uzyskanych wyników poza badany obszar. Takie działanie jest naturalne dla rozwoju wiedzy, wymaga jednak dalszego sprawdzenia stawianych hipotez. Czasami jednak jest to niemożliwe z uwagi na zbyt duże koszty czy też zbyt długi czas trwania eksperymenty. Zdarza się, że wtedy sprawdzanie poprawności hipotezy jest niesłusznie pomijane.

Druga trudność przy określaniu optimum funkcji w rolnictwie dotyczy postaci funkcji opisującej badany proces. Warunki w jakich funkcjonuje polskie rolnictwo nie są stabilne. Zmiany wynikają głównie z:

- dostosowania procesu produkcyjnego do wymagań UE,
- zmian w strukturze agrarnej gospodarstw rolnych,
- zmian w profilu i wielkości produkcji rolnej gospodarstw.

Wszystkie te czynniki decydują o niemożliwości określenia jednej wielowymiarowej funkcji optymalizującej dobór środków technicznych do mechanizacji prac w rolnictwie. Z tego też względu nie można bezpośrednio zastosować metod matematycznych do określania rozwiązań optymalnych.

### **Wielokryterialny wybór maszyn i urządzeń**

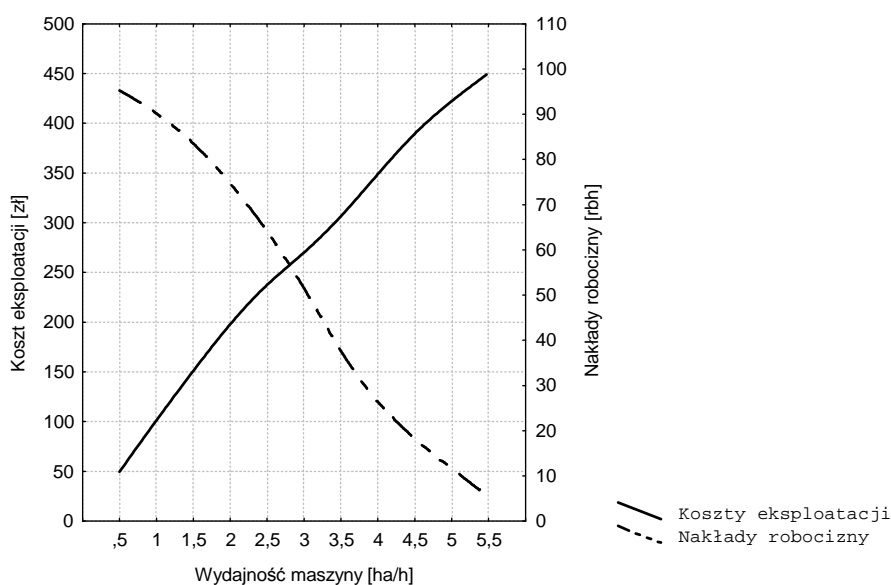
Trudności z bezpośrednim stosowaniem metod matematycznych spowodowały rozwój metod pełnego przeglądu wariantów rozwiązań dopuszczalnych i wyboru rozwiązania, które daje najmniejszą wartość funkcji celu. Uzyskiwane w ten sposób rozwiązania są optymalne w danym czasie, jednak jakakolwiek zmiana, np. wprowadzenie nowych maszyn czy nowych technologii produkcji, może spowodować powstanie nowego rozwiązania lepszego od uzyskanego wcześniej. W takim sensie należy więc mówić raczej o rozwiązaniach racjonalnych lub postoptymalnych. Brak jednoznacznej funkcji wielowymiarowej powoduje podejmowanie prób szukania rozwiązań pośrednich. Jedną z takich metod zaproponował Siarkowski [1998] w odniesieniu do doboru maszyn i urządzeń do mechanizacji prac w oborach oraz Adamski [2004] przy doborze maszyn i urządzeń do nawożenia mineralnego. Metoda składa się z następujących kroków:

1. Ustaleniu liczby pojedynczych kryteriów wyboru, np. minimalizacja nakładów robocizny, minimalizacja nakładów energetycznych czy minimalizacja kosztów produkcji,
2. Zawężenia zbioru rozwiązań dopuszczalnych do zbioru rozwiązań równoważnych z punktu widzenia poszczególnych kryteriów wyboru. Rozwiązania równoważne są definiowane jako rozwiązania, dla których wartości funkcji celu nie różnią się między sobą o więcej niż o pewną stałą wielkość, nazywaną stałą równoważności. Dla każdego kryterium wielkość ta może być inna i określana przez odbiorcę wyników optymalizacji. Przykładowo w odniesieniu do kosztów eksploatacji, w zależności od producenta rolnego, stała równoważności może wynosić 1 000 zł dla gospodarstw drobnotowarowych lub 10 000 zł lub więcej dla gospodarstw wielkotowarowych. Sposobem ułatwiającym podjęcie decyzji odnośnie wartości stałej równoważności mogą być wykresy określające liczbę rozwiązań równoważnych w zależności od procentowej różnicy pomiędzy uzyskanymi wartościami funkcji celu.
3. Ustalenie kolejności stosowania poszczególnych kryteriów i przeprowadzenie obliczeń optymalizacyjnych.
4. Określenie rozwiązań postoptymalnych dla każdej kombinacji stosowanych kryteriów.
5. Dokonanie jednoznacznego wyboru rozwiązania końcowego w zależności od potrzeb i preferencji przyszłego użytkownika maszyn, np. w krajach wysoko rozwiniętych najbardziej preferowane są rozwiązania zmniejszające nakłady pracy, a w krajach średnio rozwiniętych minimalizowane są koszty produkcji.

Przy takim sposobie dobierania maszyn i urządzeń często pada pytanie – jak to jest możliwe, że zmiana kolejności stosowanych kryteriów może dawać różne wyniki?,

przecież z punktu widzenia matematyki jest to niemożliwe i świadczy o błędnym rozwiązaniu problemu. W przypadku funkcji ciągłych i różniczkowalnych w całej dziedzinie powyższa sytuacja jest niemożliwa. Jednakże w opisanym postępowaniu, wielowymiarowa funkcja celu dla różnych kombinacji nakładania pojedynczych kryteriów wyboru ma różne dziedziny powstałe wskutek nałożenia ograniczeń wynikających ze stałej równoważności.

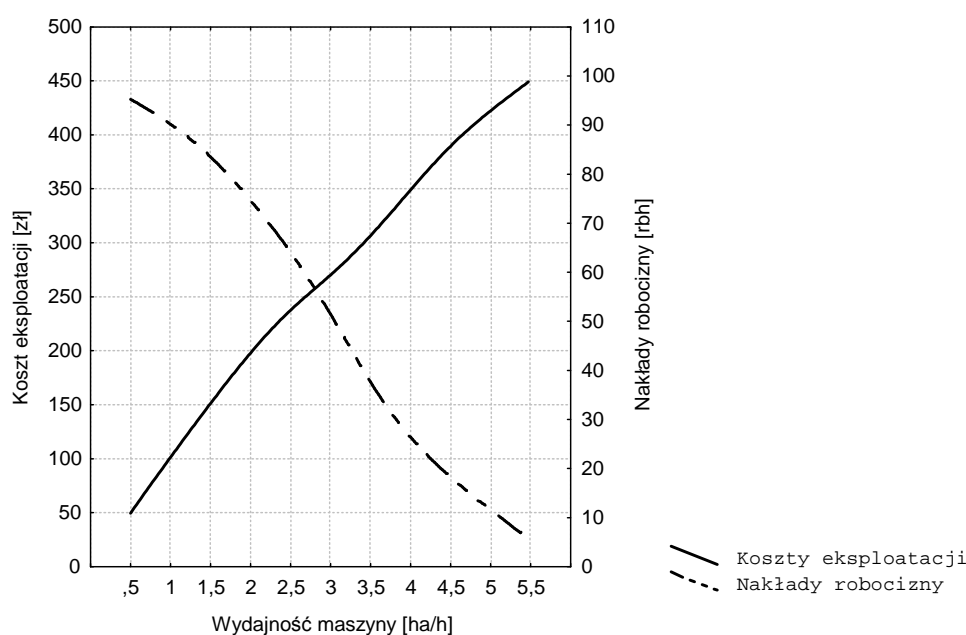
Prześledźmy przedstawiony tok rozumowania na następującym przykładzie. Załóżmy, że zadanie polega na optymalizacji doboru maszyny do wykonania określonego zadania produkcyjnego. Wiadomo, że wcześniej prowadzone były badania zależności pomiędzy kosztami eksploatacji i nakładami robocizny a wydajnością maszyn możliwych do zastosowania w rozważanym procesie produkcyjnym. Na rys. 1 przedstawiono uzyskane zależności pomiędzy kosztami eksploatacji maszyn i nakładami robocizny na wykonanie zabiegu produkcyjnego a wydajnością maszyn. Wydajności maszyn zmieniają się od 0,5 do 5,5  $ha \cdot h^{-1}$ , a odpowiednie dla tych wydajności koszty eksploatacji zmieniają się w zakresie od 50 do prawie 450 zł oraz nakłady robocizny wynoszą od 5 do 95 rbh.



Rys. 1. Przykładowa zależność pomiędzy kosztami eksploatacji maszyny i nakładami robocizny a wydajnością maszyn. Minimalizacja kosztów eksploatacji

Fig. 1. Example of dependency between machine running cost, expenditure on labour and machinery efficiency. Minimization of running cost

Zatem, jeśli kryterium wyboru będzie dotyczyło minimalizacji kosztów eksploatacji, zostanie wybrana maszyna o koszcie 50 zł, wydajności 0,5 ha/h i nakładach robocizny wynoszących 95 rbh. Dla kryterium minimalizacji nakładów robocizny (rys. 2), wybrana zostanie maszyna o nakładach robocizny wynoszących 5 rbh, wydajności 5,5 ha/h i kosztach eksploatacji wynoszących 450 zł.



Rys. 2. Przykładowa zależność pomiędzy kosztami eksploatacji maszyny i nakładami robocizny a wydajnością maszyn. Minimalizacja nakładów robocizny

Fig. 2. Example of dependency between machine running cost, expenditure on labour and machinery efficiency. Minimization of expenditure on labour

Użytkownik nie zawsze potrzebuje maszyny o najmniejszych kosztach czy najmniejszych nakładach robocizny. Powstaje zatem problem wyboru maszyny spełniającej jednocześnie obydwie kryteria w zakresie dopuszczalnych przez użytkownika tolerancji. Tu pojawia się kwestia kolejności nakładanych funkcji wyboru. I tak dla wariantu, w którym:

- Pierwsze kryterium dotyczy kosztów eksploatacji a drugie nakładów robocizny można uzyskać następujący wynik. Jeśli jako minimalny koszt eksploatacji przyjmujemy 100 zł, a rozwiązania równoważne mogą się zawierać w granicach <50:150>zł to minimalne nakłady robocizny możemy wybierać z przedziału <88:98>rbh, przy wydajnościach od <0,5:1,5> ha · h<sup>-1</sup> (patrz

rys. 1., obszary wyznaczone przez linie przerywane). W tym przypadku stała równoważności wynosi 50 zł, a rozwiązaniem postoptymalnym może być maszyna o wydajności  $1 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$ , koszcie eksploatacji równym 100 zł i nakładach robocizny wynoszących 94 rbh.

- Pierwsze kryterium dotyczy nakładów robocizny, a drugie kosztów eksploatacji. Jeśli jako minimum nakładów robocizny przyjmiemy 10 rbh, a nakłady równoważne mogą się zmieniać w granicach  $\langle 5,15 \rangle$  rbh, to optymalne koszty możemy wybierać z przedziału  $\langle 330, 440 \rangle$  zł przy wydajnościach do 3,75 do 5,1  $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$ . W tym przypadku stała równoważności wynosiła 5 rbh, a rozwiązaniem postoptymalnym może być maszyna o wydajności 4,5  $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$ , koszcie eksploatacji równym 385 zł i nakładach robocizny wynoszących 89 rbh.

### Uwagi dotyczące zagadnień regresji

Z powyższych rozważań wynika, jak bardzo istotne w zagadnieniach optymalizacyjnych jest podejście do rozwiązywania tego problemu. Można zauważyć, iż rozpatrując zagadnienie optymalizacji dla każdej cechy modelującej funkcję regresji (reakcji) oddzielnie uzyskujemy różne rozwiązania. Tego typu problemów można uniknąć, jeżeli wyznaczymy funkcję reakcji zależną od kilku czynników jednocześnie. Wówczas mamy do czynienia z zagadnieniem dopasowania funkcji regresji wielokrotnej zależnej od zmiennych, przyjmujących wartości z pewnych możliwych zakresów. W zagadnieniach rolniczych, poszukujących punktów optymalnych, należy w sposób przemyślany określić postać takiej funkcji uwzględniającej wszystkie istotne i interesujące eksperymentatora czynniki. W tym zagadnieniu bardzo istotne jest, aby liczba badanych wartości dla każdej ze zmiennych była wystarczająco duża. Liczba ta zależy od liczby zmiennych wpływających na funkcję reakcji, ale wpływających też na kształt powierzchni reakcji, czyli na uwzględnienie w funkcji elementów liniowych, interakcyjnych, kwadratowych czy nawet wyższego rzędu. Ponadto, przy wyborze postaci funkcji reakcji, niezmiernie ważne jest badanie istotności poszczególnych współczynników w funkcji reakcji lub pewnych wektorów, [Drwięga, Graboś 1981]. Zagadnienie regresji wielokrotnej, uwzględniające jednocześnie wiele czynników modelujących funkcję regresji, jest trudniejsze do rozwiązania, ale daje nam możliwość kompleksowej analizy zjawiska. Ponadto, poszukiwanie punktów optymalnych nie zależy wówczas od kolejności rozpatrywanych cech. Znajomość wielokrotnej funkcji reakcji daje także możliwość poszukiwania optymalnych rozwiązań szczegółowych, przy ustaleniu pewnych wartości niektórych ze zmiennych.

## **Podsumowanie**

Praktyka rolnicza wykazuje, że w zbadanym zakresie zmienności uzyskane zależności najczęściej dotyczą funkcji monotonicznych, dla których optimum znajduje się na brzegu obszaru określoności. Powoduje to konieczność dokładnego określania dziedziny funkcji, a wszystkie próby uogólniania wyników poza zbadany obszar są ryzykowne i wymagają ponownej weryfikacji. Optymalizacja wielofunkcyjna wymaga rozpatrzenia wszystkich kombinacji funkcji celu, gdyż zmiana kolejności nakładania poszczególnych kryteriów powoduje najczęściej zmianę uzyskiwanego rozwiązania optymalnego.

## **Bibliografia**

Adamski M. 2004. Założenia do określania typoszeregu maszyn do nawożenia mineralnego. IR 3 (58), Tom I, s. 53-60.

Drwięga T, Graboś Z. 1981. Zastosowanie procedury jednoczesnego testowania hipotez SANOVA w analizie regresji wielokrotnej, Listy Biometryczne 76, 1-14.

Siarkowski Z. 1995. Struktura banku danych komputerowego systemu doradztwa dla gospodarstw produkujących bydło. ZPPNR, nr 423. Warszawa.

Siarkowski Z. 1998. Metoda optymalizacji procesów technologicznych w chowie bydła. Rozprawa habilitacyjna. Wyd. Akademii Rolniczej. Lublin.

## **REMARKS ON MULTI-CRITERIAL SELECTION OF MACHINERY AND EQUIPMENT INTENDED FOR AGRICULTURAL PRODUCTION**

### **Summary**

Several considerations related to the methods of selection of farm machinery and equipment have been presented. The most common errors made while determining selection criteria have been pointed out. Suggestions allowing correct determination of multiple regression equations have been given.

**Key words:** criteria, selection of machinery, production, agriculture