

MODEL OPTIMALIZACJI WYBORU POMIĘDZY ZAKUPEM MASZYNY A NAJMEM USŁUGI

Aleksander Muzalewski

Institut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie

Streszczenie. W pracy przedstawiono zmodyfikowaną analityczną metodę wyznaczania granicznego wykorzystania maszyn, czyli takiej sezonowej ilości pracy maszyny, dla której koszt jej eksploatacji jest równy cenie alternatywnego najmu usługi. W analizie powyższego zagadnienia uwzględniono także koszty wynikające z ryzyka nieterminowego wykonania usługi oraz niższej jej jakości. Utylitarnym rezultatem pracy jest implementacja powyższej metody do postaci interaktywnego algorytmu obliczeniowego „Wykorzystanie graniczne”, opracowanego w arkuszu kalkulacyjnym Excel.

Słowa kluczowe: model optymalizacyjny, maszyna rolnicza, usługa, wykorzystanie maszyny

Wstęp

Jednym z czynników decydujących o zdolnościach konkurencyjnych polskiego rolnictwa jest stosowanie efektywnych technologii produkcji. Wynika stąd konieczność ciągłej modernizacji techniki rolniczej, zwłaszcza w gospodarstwach towarowych. Trzeba przy tym pamiętać, że zakup maszyn i ciągników rolniczych wiąże zainwestowany w nie kapitał na wiele lat ich użytkowania, a konsekwencją nierozważnej inwestycji może być pogorszenie wyniku finansowego gospodarstwa. Powyższe wybrane uwarunkowania determinują potrzebę racjonalnego planowania inwestycji maszynowych, z uwzględnieniem odpowiedniej intensywności i form użytkowania maszyn. Jest to szczególnie istotne w warunkach rozdrobnionego rolnictwa polskiego, charakteryzującego się niewielkimi zdolnościami inwestycyjnymi, a z drugiej strony brakiem możliwości intensywnego wykorzystania maszyn na ograniczonym obszarze poszczególnych gospodarstw. W tych warunkach szczególnego znaczenia nabiera właściwe zarządzanie parkiem maszynowo-ciągnikowym.

Temu celowi służy opracowanie odpowiednich narzędzi optymalizacyjnych z zakresu organizacji i ekonomiki eksploatacji środków mechanizacji. Jednym ze sposobów racjonalizacji wyposażenia gospodarstwa w sprzęt rolniczy jest zastosowanie metody wyznaczania granicznego wykorzystania maszyny [Muzalewski 2001].

Cel i zakres pracy

Celem pracy jest opracowanie zmodyfikowanej metody oraz interaktywnego algorytmu obliczeniowego do wyznaczania granicznego wykorzystania maszyn rolniczych. Wykorzystanie graniczne określa taką ilość pracy maszyny w skali roku (czyli powierzchnię rocznego wykorzystania maszyny), przy której koszt jej eksploatacji jest równy cenie dostępnych usług. W opracowanym modelu modyfikacji podlegać będzie standardowy sposób obliczania wykorzystania granicznego (wg wzoru 1) z uwzględnieniem takich dodatkowych aspektów jak: kontrola wykorzystania potencjału eksploatacyjnego maszyny oraz koszty nieterminowego wykonania usługi lub gorszej jej jakości. Celem optymalizacji jest minimalizacja kosztów wykonania prac maszynowych w gospodarstwie.

Graniczne wykorzystanie maszyny

Metodę wyznaczania wykorzystania granicznego stosuje się na etapie planowania zakupu maszyny, porównując koszty jej eksploatacji z kosztem najmu usługi. Koszty usług są zwykle stałe w przeliczeniu na jednostkę pracy (np. ha lub h), podczas gdy koszty eksploatacji posiadanej maszyn zmniejszają się wraz ze wzrostem jej rocznego wykorzystania. Zakup maszyny jest uzasadniony wówczas, gdy można zagwarantować jej wykorzystanie nie mniejsze niż graniczne. W przeciwnym przypadku tańszym rozwiązaniem, z uwagi na poziom kosztów mechanizacji zabiegu, będzie skorzystanie z usługi.

Powszechnie stosowany wzór na obliczanie wykorzystania granicznego maszyny ma postać:

$$W_{GR} = K_{UTRZ} \cdot (k_{US} - k_{ZM})^{-1} \quad [\text{ha} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

- W_{GR} – graniczne wykorzystanie maszyny [$\text{ha} \cdot \text{rok}^{-1}$],
- K_{UTRZ} – koszty utrzymania maszyny dla przewidywanego okresu jej trwania [$\text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}$],
- k_{US} – koszt alternatywnej usługi [$\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$],
- k_{ZM} – koszty zmienne zabiegu wykonywanego własną maszyną [$\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$].

Elementami składowymi kosztów utrzymania maszyn są między innymi koszty: amortyzacji, garażowania i konserwacji, ubezpieczenia, a także prowizja i odsetki od kredytu. Natomiast do kosztów zmiennych zabiegu wykonywanego własną maszyną zaliczamy koszty użytkowania maszyny, a także koszt eksploatacji współpracującego z maszyną ciągnika [Muzalewski 2005]. W przypadku maszyny samobieżnej kosztami zmiennymi zabiegu są wyłącznie koszty jej użytkowania, w tym np. koszt napraw oraz paliwa i smarów.

Umiejętne stosowanie powyższej formuły obliczeniowej wymaga bieżącej kontroli wzajemnej zależności pomiędzy otrzymanym wynikiem (W_{GR}), a przyjętym do obliczeń kosztów utrzymania maszyny okresem jej trwania oraz ograniczonym potencjałem eksploatacyjnym maszyny [Muzalewski 2001]. Wynika stąd, że jednym z warunków uzyskania rozwiązania według wzoru 1 jest spełnienie nierówności:

$$W_{GR} \leq T_H \cdot W_{07} \cdot T^{-1} \quad [\text{ha} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (2)$$

gdzie:

- T_H – zdolność przerobowa maszyny (normatywny potencjał eksploatacyjny) [h],
- W_{07} – wydajność eksploatacyjna agregatu ciągnikowo-maszynowego lub maszyny samobieżnej [$ha \cdot h^{-1}$],
- T – przewidywany okres trwania maszyny przyjęty do obliczeń kosztu jej amortyzacji [lata].

W przypadku, gdy powyższy warunek (wg wzoru 2) nie jest spełniony należy wówczas zastosować zmodyfikowaną metodę wyznaczania wykorzystania granicznego maszyny. Polega ona na:

a) założeniu pełnego wykorzystania potencjału eksploatacyjnego maszyny w okresie trwania:

$$T \cdot W_{GR} = T_H \cdot W_{07} \text{ [ha]} \quad (3)$$

w wyniku czego jej jednostkowy koszt amortyzacji osiąga wartość minimum:

$$ka^{MIN} = Cm \cdot T_H^{-1} \text{ [zł} \cdot h^{-1}] \quad (4)$$

gdzie:

- ka^{MIN} – minimalny jednostkowy koszt amortyzacji [$zł \cdot h^{-1}$],
- Cm – koszt zakupu maszyny, tj. cena maszyny razem z łącznym kosztem uzyskania kredytu (odsetki, prowizja i inne opłaty) [zł].

b) oraz na próbie równoczesnego wyznaczenia wg wzoru 5 i 7 pary wielkości: wykorzystania granicznego W_{GR} i granicznego okresu trwania maszyny T_{GR} .

Dodatkowym elementem uwzględnionym w modelu są koszty wynikające z ryzyka niedotrzymania optymalnego terminu wykonania usługi oraz z ryzyka niższej jej jakości. Najczęstszym argumentem uzasadniającym zakup własnej maszyny jest niepewność co do terminowości i jakości usługi. Z badań różnych autorów wynika, że opóźnienie o 1 dzień terminu siewu lub zbioru może powodować straty w wysokości od 0,2 do 1,2% plonu, w zależności od gatunku uprawianych roślin [Kay i in. 2004; Toro 2005]. Różnica w jakości wykonania zabiegu, np. kombajnowego zbioru zbóż, może wynosić nawet kilka procent plonu zbieranego ziarna, co także należy wziąć pod rozwagę w analizie kosztów [Sorensen 2003].

Po uwzględnieniu powyższych założeń wzór 1 możemy przekształcić do postaci:

$$W_{GR} = \frac{K_G + K_K + K_{UB}}{k_{US} + k_T + k_J - k_{ZM} - ka^{MIN} \cdot W_{07}^{-1}} \text{ (ha} \cdot \text{rok}^{-1}) \quad (5)$$

gdzie:

- K_G – koszt garażowania [$zł \cdot rok^{-1}$],
- K_K – koszt konserwacji [$zł \cdot rok^{-1}$],
- K_{UB} – koszt ubezpieczenia [$zł \cdot rok^{-1}$],

- k_T – koszty nieterminowego wykonania usługi (np. straty z tytułu osypywania się ziarna, koszt dosuszania ziarna, obniżka plonu ze względu na opóźniony siew itp.) [$\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$],
- k_J – koszty różnicy jakości wykonania pracy maszynowej pomiędzy zastosowaniem maszyn własnej a usługowej [$\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$] (koszty k_T i k_J należy przyjmować ze znakiem „+”, gdy dotyczą one najmu usługi, natomiast ze znakiem „-”, gdy wiążą się z użytkowaniem własnej maszyny).

Szczegółowe wyprowadzenie powyższej formuły zawarto w pracy autora [Muzalewski 2005].

Warunkiem uzyskania rozwiązania wg wzoru 5 jest spełnienie nierówności:

$$k_{US} + k_T + k_J - k_{ZM} - Cm \cdot (T_H \times W_{07})^{-1} > 0 \quad (6)$$

Odpowiadający wykorzystaniu granicznemu tzw. graniczny okres trwania maszyny wynosi:

$$T_{GR} = T_H \cdot W_{07} \cdot W_{GR}^{-1} \text{ [lata]} \quad (7)$$

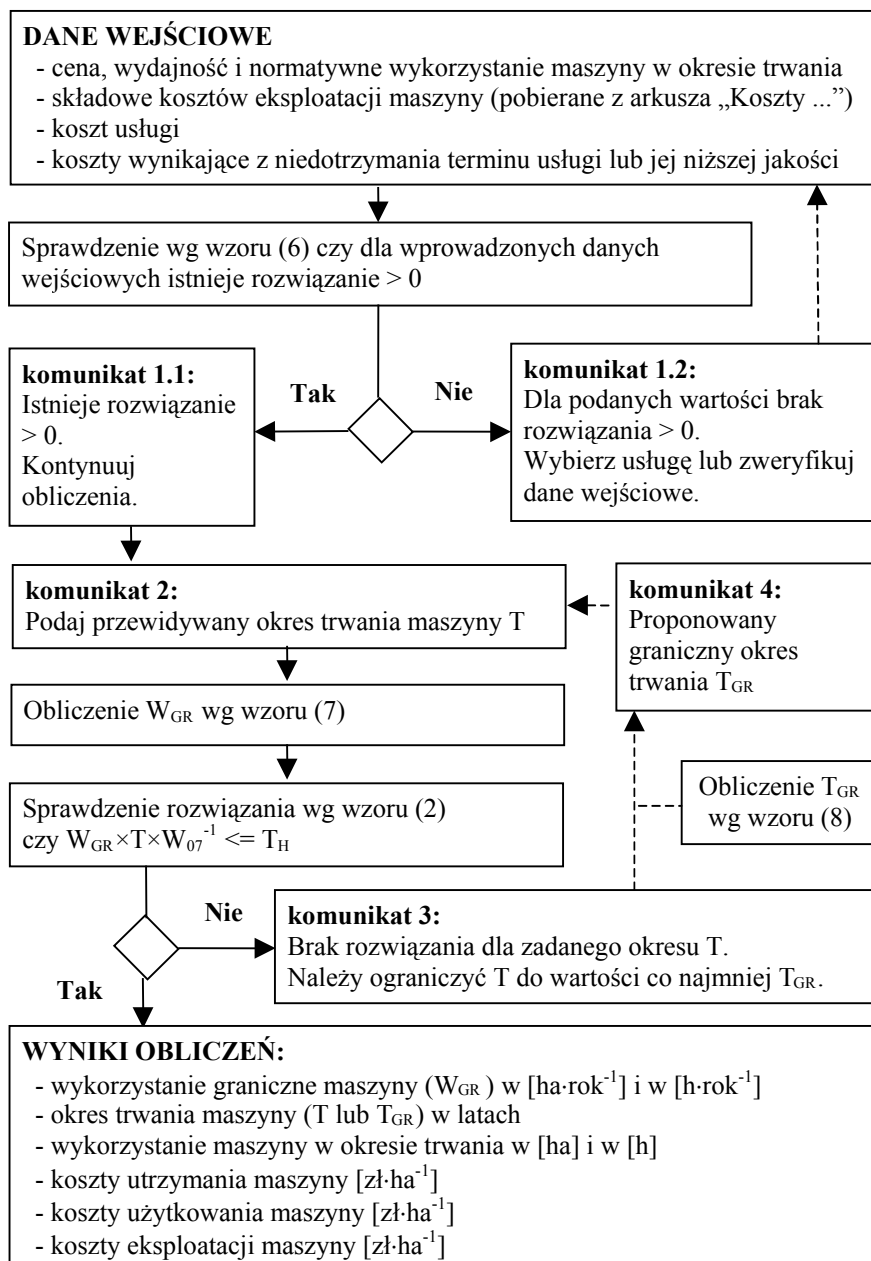
Zagadnienie granicznego wykorzystania maszyny można także rozwiązać w odwrotnej, do wyżej przedstawionej, kolejności. W tym przypadku, z pary wielkości W_{GR} i T_{GR} , w pierwszej kolejności oblicza się graniczny okres trwania maszyny:

$$T_{GR} = \frac{(k_{US} + k_T + k_J - k_{ZM}) \cdot T_H \cdot W_{07} - Cm}{K_G + K_K + K_{UB}} \text{ [lata]} \quad (8)$$

Odpowiadające temu okresowi graniczne wykorzystanie maszyny wynosi:

$$W_{GR} = T_H \cdot W_{07} \cdot T_{GR}^{-1} \text{ [lata]} \quad (9)$$

Rozwiązaniem zagadnienia granicznego wykorzystania maszyny jest więc para wielkości: wykorzystanie graniczne maszyny W_{GR} (w $\text{ha}\cdot\text{rok}^{-1}$) oraz odpowiadający temu wykorzystaniu graniczny okres trwania maszyny T_{GR} (w latach). Z rozwiązania tego wynika, że dla wyznaczonej pary wielkości W_{GR} oraz T_{GR} łączne wykorzystanie maszyny w całym okresie trwania będzie równe jej zdolności przerobowej T_H , a przeciętne jednostkowe koszty eksploatacji maszyny będą równe co do wartości kosztom najmu usługi. Uzasadnieniem dla zakupu maszyny jest więc zagwarantowanie takiej intensywności jej użytkowania, które zapewni wykorzystanie roczne nie niższe od granicznego w okresie trwania maszyny. Utylitarnym rezultatem pracy jest implementacja powyższej metody do postaci modelu optymalizacyjnego - interaktywnego algorytmu „Wykorzystanie graniczne” (rys. 1), opracowanego w arkuszu kalkulacyjnym Excel. Uzupełnieniem tego algorytmu są użytkowe arkusze kalkulacyjne „Koszty eksploatacji maszyn” oraz „Opłacalność użytkowania maszyn” zastosowane do ekonomicznej oceny opłacalności użytkowania własnej maszyny w porównaniu do najmu usługi, w zależności od wykorzystania maszyny [Muzalewski 2005].



Rys. 1. Algorytm wyznaczania wykorzystania granicznego maszyny
 Fig. 1. Algorithms of machine utilization limit

Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że dla określonych wartości zamiennych decyzyjnych wyznaczony według formuły 7 lub 8 graniczny okres trwania maszyny może znacznie przekraczać wartości uznawane za racjonalne - tabela 1 (zwykle z uwagi na tempo postępu techniczno-technologicznego w rolnictwie, wiedące w technologiach maszyny powinny być wymieniane nie rzadziej niż co 15 do 20 lat). W tych przypadkach użytkownik powyższego algorytmu może wprowadzić do obliczeń krótszy od granicznego, a uznany przez niego za optymalny, okres trwania maszyny. Dla skorygowanego okresu trwania maszyny ($T < T_{GR}$) program wyznaczy nowe wykorzystanie graniczne. Wartość tego wykorzystania wzrasta w tym przypadku na tyle, aby koszt eksploatacji maszyny zrównał się z kosztem najmu usługi, nie gwarantując jednak pełnego wykorzystania potencjału eksploatacyjnego maszyn w całym okresie jej trwania.

Tabela 1. Wykorzystanie graniczne W_{GR} [$ha \cdot rok^{-1}$] i graniczny okres trwania T_{GR} [lata] kombajnu zbożowego w zależności od kosztu najmu usługi oraz od kosztu ryzyka jej nieterminowego wykonania k_T lub ryzyka niższej jej jakości k_J

Table 1. Machine utilization limit W_{GR} [$ha \cdot rok^{-1}$] and lifetime limit T_{GR} [lata] of combine harvester in dependence of custom service cost as well timeliness costs k_T or costs of inadequate service execution k_J

Koszt usługi [$zł \cdot ha^{-1}$]	$k_T + k_J = 20 \text{ zł} \cdot ha^{-1}$		$k_T + k_J = 30 \text{ zł} \cdot ha^{-1}$		$k_T + k_J = 40 \text{ zł} \cdot ha^{-1}$	
	W_{GR}	T_{GR}	W_{GR}	T_{GR}	W_{GR}	T_{GR}
210	brak rozw.	brak rozw.	brak rozw.	brak rozw.	123,5	29,2
220	brak rozw.	brak rozw.	123,5	29,2	53,9	66,8
230	123,5	29,2	53,9	66,8	34,5	104,4
240	53,9	66,8	34,5	104,4	25,4	141,2
Obliczenia wykorzystania granicznego W_{GR} dla okresu trwania kombajnu $T_{GR} = T = 20$ lat						
210	brak rozw.	20	brak rozw.	20	176,0	20
220	brak rozw.		176,0		161,2	
230	176,0		161,2		148,7	
240	161,2		148,7		138,0	

Obliczenia dla: $C_m = 365 \text{ tys.} \cdot \text{zł}$, $W_{07} = 1,2 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$, $k_{ZM} = 141 \text{ zł} \cdot \text{ha}^{-1}$, $k_G + k_K + k_{UB} = 957 \text{ zł} \cdot \text{rok}^{-1}$

Źródło: obliczenia własne

Podsumowanie i wnioski

- Opracowana metoda i algorytm obliczeniowy umożliwiają wielowariantową analizę opłacalności wyboru pomiędzy zakupem maszyny a najmem usługi, z uwzględnieniem m.in. takich zmiennych decyzyjnych jak: intensywność i koszty użytkowania maszyny, koszt usługi, koszty niedotrzymania terminu lub jakości usługi.
- Wyniki badań z zastosowaniem opracowanej metody wskazują, że uwzględnienie w modelu kosztów związanych z ryzykiem nieterminowego wykonania usługi, względnie niższej jej jakości, ma istotny wpływ na racjonalność decyzji inwestycyjnych w zakresie wyposażania gospodarstw w sprzęt rolniczy.
- W analizowanym przykładzie (problem decyzyjny zakupu kombajnu zbożowego użytkowanego przez okres 20 lat - tabela 1) wzrost łącznych kosztów usługi o $20 \text{ zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ (najem usługi oraz koszt ryzyka niedotrzymania jej terminu lub jakości) powoduje zmniejszenie wykorzystania granicznego maszyny średnio o $25 \text{ ha} \cdot \text{rok}^{-1}$, tj. o 15%.

4. Jedną z zalet opracowanego algorytmu (rys. 1) jest jego interaktywna formuła, która umożliwia bieżącą korektę zmiennych decyzyjnych odpowiednio do lokalnych uwarunkowań i preferencji użytkownika.

Bibliografia

- Kay R., Edwards W., Duffy P.** 2004. Farm management. Wyd. McGraw-Hill Inc. ISBN 0-07-242868-6.
- Muzalewski A.** 2001. Techniki informatyczne w badaniach ekonomiki i optymalizacji mechanizacji gospodarstw rolniczych. Inżynieria Rolnicza Nr 11(31), s. 227-233.
- Muzalewski A.** 2005. Koszty eksploatacji maszyn (nr 20). IBMER Warszawa.
- Toro A.** 2005. Influences on timeliness costs and their variability on arable farms. Biosystems Engineering, vol. 92, n^o1, s. 1-13.
- Sorensen C.** 2003. Workability and machinery sizing for combine harvesting. CIGR Ejournal [online]. Manuscript PM 03 003. Vol. V. Dostępny w internecie (<http://cigr-ejournal.tamu.edu/volume5.html>).

MODEL OF OPTIMIZED METHOD OF MAKING A CHOICE BETWEEN PURCHASING A MACHINE AND CUSTOM SERVICE

Summary. In the paper there was shown the modified analytical method of assessment of machine utilization limit. Machine utilization limit means the quantity of seasonal machine work which exploitation cost is equal to the cost of alternative hired service. The analysis of the above problem also includes timeliness costs and costs of inadequate service as well. The useful result of the studies consists in implementation of the above method into the algorithm called "Limiting utilization" presented in a form of Excel calculation sheet.

Key words: optimization model, agricultural machine, machine service, machine utilization

Adres do korespondencji:

Aleksander Muzalewski; e-mail: muzal@ibmer.waw.pl
Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
ul. Rakowiecka 32
02-532 Warszawa