

ROMAN WOJTKOWIAK

Próba opracowania modelu matematycznego do określenia ekonomicznej efektywności zrywki ciągnikowej drewna długiego

Попытка разработки математической модели для определения
экономической эффективности тракторной трелевки
долгомерной древесины

Trial of elaboration of a mathematical model for determination of the
economic effectivity of tractor skidding of logs

Zrywka drewna, jako jeden z bardziej pracochłonnych i energochłonnych (a więc kosztownych) elementów procesu technologicznego pozyskiwania drewna, stanowi nieustanne źródło poszukiwań rezerw siły roboczej, jak również zmniejszenia jej kosztów. Operacja zrywki stanowi również bardzo duże zagrożenie zdrowia dla pracujących. Wypadki, które następują podczas wykonywania tej operacji, należą do bardzo groźnych. Zrywka w wielu przypadkach powoduje również szkody w pozostającym drzewostanie.

Dla praktyki leśnej zawsze pozostaje trudność doboru odpowiedniego sposobu zrywki, a co za tym idzie, odpowiedniego ciągnika w zależności od warunków terenowych (ukształtowania i podłoża), wielkości pojedynczych ładunków i odległości zrywki. Te elementy mają znaczny wpływ na ekonomiczną efektywność zrywki (1, 2, 4). Te względy spowodowały podjęcie badań nad próbą opracowania modelu matematycznego, przy użyciu którego można by w prosty sposób określić przybliżoną wydajność oraz koszt zrywki dostępnymi ciągnikami, zależnie od warunków terenowych, wielkości jednorazowego ładunku oraz odległości zrywki.

ZAŁOŻENIA METODYCZNE

Podstawą do opracowania modelu matematycznego stanowiły szczegółowe pomiary operacji zrywki drewna tartaczego w rębnych drzewostanach sosnowych w wieku 95 lat, na typie siedliskowym Bśw w terenach płaskich, w normalnych warunkach pracy brygad roboczych. Z uwagi na trudności związane z wyborem powierzchni na terenie jednego nad-

leśnictwa doświadczenia zlokalizowano w kilku nadleśnictwach: Barlinek, Bytów, Podanin i Jastrowie.

Badania miały na celu określenia wydajności i kosztów zrywki ciągnikami najczęściej stosowanymi do tej pracy w pgl. Do analizy zrywki wybrano następujące typy ciągników:

— ciągnik rolniczy Ursus C-355, dokonujący zrywki przez wleczenie (bez urządzeń pomocniczych) oraz ten sam typ ciągnika, wykonujący tę operację sposobem półpodwieszonym przy użyciu kleszczy mechanicznych AH-1,

— ciągnik leśny KNL-451, produkcji polskiej,

— ciągnik leśny Tree Farmer C5D, produkcji kanadyjskiej,

— ciągnik leśny LKT-80, produkcji czechosłowackiej,

— ciągnik leśny gąsienicowy TDT-40M, produkcji radzieckiej.

Operacja zrywki drewna podzielona została na następujące zabiegi: jazda pusta, zaczepianie i formowanie ładunku, jazda ładowna, odczepianie ładunku oraz wyrównywanie czoł łącznie z mygłowaniem surowca drzewnego. Ciągnikami pracowano w tych samych wraunkach terenowych i drzewostanowych, w porze jesiennej. Zrywka odbywała się w trzech przedziałach odległościowych: do 200 m, od 201 m do 400 m oraz od 401 do 600 m. Do określenia wydajności i kosztów zrywki w badaniach terenowych zastosowano metodę fotografii zmiany roboczej całkowitej, natomiast metodę chronometrażu ciągłego — do badania czasu efektywnego pracy ciągnikami.

W badaniach mierzono poszczególne czasy, wskazania licznika, ilość zużytego paliwa, a także liczbę dłużyc w ładunku oraz ich miąższość i odległość każdej jazdy. Wyniki tych pomiarów posłużyły do wyliczenia wydajności efektywnej i kosztów każdej operacji zrywki drewna. Obliczenia te, jak również rachunek statystyczny, przeprowadzono za pomocą elektronicznej maszyny cyfrowej (EMC).

Przeprowadzono analizy regresji krzywoliniowej piątego stopnia (z równoczesną eliminacją nieistotnych efektów poszczególnych stopni) dla wydajności oraz kosztów zrywki, zależnie od jej poszczególnych zabiegów (3, 5, 6). Obliczono współczynniki korelacji liniowej między wszystkimi parametrami zrywki, to znaczy: między czasem jazdy po ładunek (t_1), czasem formowania ładunku (t_2), czasem jazdy z ładunkiem (t_3), czasem odczepiania ładunku (t_4), czasem mygłowania (t_5), odległością jazdy bez ładunku (L_1), odległością jazdy z ładunkiem (L_2) i wielkością ładunku (Q).

Aby uniknąć mało czytelnych zestawień tabelarycznych, dla każdego z „k” badanych ciągników zbudowano model graficzny wzajemnych powiązań między parametrami zrywki, na podstawie współczynników korelacji między nimi. Jako graficzną miarę współzależności między badanymi parametrami przyjęto tak zwaną odległość „d^k” równą:

$$d_{ij}^k = 1 - (r_{ij}^k)^2$$

to znaczy, że im wyższy współczynnik korelacji, tym mniejsza jest odległość „d”,

gdzie:

d — przyjęto umownie, że w przypadku kiedy współczynnik korelacji pomiędzy poszczególnymi parametrami zrywki równa się 0, wówczas odległość na załączonych rycinach między kręgami równa się 4 cm. W przypadku gdy zależność między parametrami zrywki równa się 1, wówczas kręgi nakładają się jeden na drugi,

r — współczynnik korelacji między „i”-tym oraz „j”-tym parametrem zrywki „k”-tego typu ciągnika,

k — typ ciągnika,

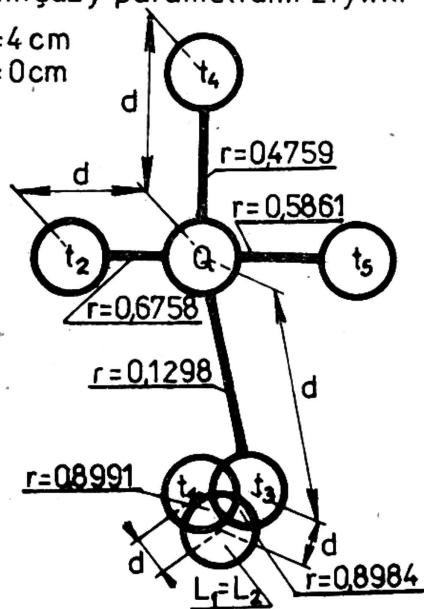
i, j — odpowiednie parametry zrywki.

Dla przykładu na ryc. 1 i 2 przedstawiono modele graficzne dwóch wybranych typów ciągników.

r -współczynnik korelacji
 d -odległość między parametrami zrywki

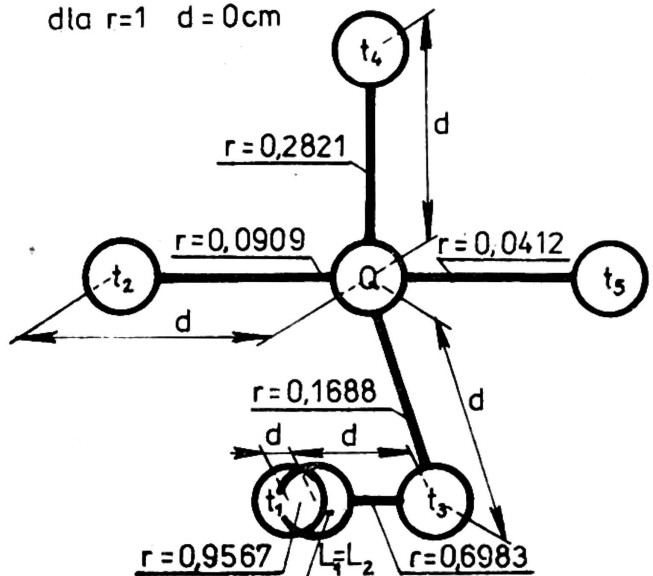
dla $r=0$ $d=4$ cm

dla $r=1$ $d=0$ cm



Ryc. 1. Wartość współczynników korelacji między niektórymi parametrami zrywki ciągnika Tree Farmer C-50

r -współczynnik korelacji
 d -odległość między parametrami zrywki
 dla $r=0$ $d=4$ cm
 dla $r=1$ $d=0$ cm



Ryc. 2. Wartość współczynników korelacji między niektórymi parametrami zrywki ciągnika LKT-80

Ponieważ osiem zmiennych (wszystkie parametry zrywki) utrudniałoby korzystanie w praktyce z równań regresji do określania wydajności i kosztów zrywki, zrezygnowano z niektórych zabiegów i zredukowano ich liczbę do trzech. Redukcja taka była w pełni uzasadniona, bowiem pomiędzy odległością a czasem jazdy pustej i ładownej, jak również między liczbą dłuźyc w ładunku a czasem formowania ładunku stwierdzono wysoce istotną zależność. Jako zmienne niezależne przyjęto:

- odległość jazdy (średnia odległość jazdy pustej i ładownej) — L ,
- liczbę dłuźyc w ładunku — n ,
- średnią miąższość jednej sztuki w ładunku — q .

Dla tak wybranych zmiennych przeprowadzono analizy regresji wielokrotnej drugiego stopnia wydajności $[y_k^{(1)}]$ oraz jednostkowych kosztów zrywki naliczanych w stosunku do wielkości produkcji $[y_k^{(2)}]$, z wyborem najlepszego podzbioru zmiennych niezależnych. Wyboru dokonano na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ dla każdego z sześciu badanych ciągników.

STRUKTURA MODELU MATEMATYCZNEGO

Podstawę opracowania modelu matematycznego stanowiły:

1) Badania terenowe, których wyniki posłużyły do opracowania równań regresji krzywoliniowej drugiego stopnia:

a) wydajności ciągników względem odległości (L), liczba dłuźyc w ładunku (n) i średniej miąższości jednej dłuźycy (q)

$$y_k^{(1)} = b_0^{(1)} + b_1^{(1)}x_L + b_2^{(1)}x_n + b_3^{(1)}x_q + b_4^{(1)}x_L^2 + b_5^{(1)}x_{n^2} + b_6^{(1)}x_q^2 + b_7^{(1)}x_{Ln} + b_8^{(1)}x_{Lq} + b_9^{(1)}x_{nq}$$

b) jednostkowych kosztów zrywki, zależnie od odległości zrywki (L), liczby dłuźyc w ładunku (n) i średniej miąższości jednej dłuźycy (q)

$$y_k^{(2)} = b_0^{(2)} + b_1^{(2)}x_L + b_2^{(2)}x_n + b_3^{(2)}x_q + b_4^{(2)}x_L^2 + b_5^{(2)}x_n^2 + b_6^{(2)}x_q^2 + b_7^{(2)}x_{Ln} + b_8^{(2)}x_{Lq} + b_9^{(2)}x_{nq}$$

gdzie $b_i^{(1)}$, $b_i^{(2)}$ (dla $i = 0, 1, 2 \dots \leftarrow 9$) są cząstkowymi współczynnikami regresji, odpowiednio dla wydajności i kosztów zrywki. Oceny cząstkowych współczynników regresji równań dla wybranych ciągników przedstawiono w tabeli.

2) Teoretyczna wielkość jednorazowego ładunku, wyliczona na podstawie mocy silnika, przyczepności kół, stateczności podłużnej ciągnika i równomiernego rozkładu obciążeń dynamicznych na obie osie napędowe (8). Z czterech wymienionych uwarunkowań wybrano do dalszych obliczeń wariant, według którego wyliczony jednorazowy ładunek był najmniejszy (a więc stanowił wielokrotność pozostałych). Do obliczeń modelowych przyjęto również, że wielkość ładunku stanowi 100% ładowności ciągnika, przy czym wartość ta wynosi 75% wielkości jednorazowego ładunku, wyliczonego za pomocą wyżej wymienionych wzorów.

W przypadku ciągników leśnych ładowność była ograniczona mocą silnika i wynosiła dla KNL — 4,8 m³, LKT — 4,8 m³, TDT — 8,4 m³ i Tree Farmera — 10,0 m³. Dla ciągnika Ursus C-355 wielkość jednorazowego ładunku była ograniczona statecznością podłużną w przypadku zrywki wleczonej $Q = 2,4$ m², a przy zrywce półpodwieszanej przy wyko-

**Analiza regresji wielokrotnej
drugiego stopnia wydajności ($y_k^{(1)} = W$) oraz kosztów
($y^{(2)} = K$)
względem odległości (L), liczby dłużyc (n),
średniej miąższości pojedynczej dłużycy (q).
Oceny cząstkowych współczynników regresji równań**

Współczynnik	Ciągnik Tree Farmer		Ciągnik LKT-80	
	Wydajność	Koszty	Wydajność	Koszty
b_0	15,234	16,949	8,450	24,030
b_1	0,044	0,085	0,020	0,065
b_2	0,727	0,872	1,921	4,994
b_3	2,810	20,956	2,578	22,829
b_4	0,000032	0,000067	0,000027	0,000029
b_5	0,004	0,029	0,019	0,182
b_6	0,970	7,344	4,064	39,618
b_7	0,0007	0,002	0,0001	0,002
b_8	0,003	0,005	0,019	0,027
b_9	2,226	2,257	4,801	6,169
determinacji	84,51	53,62	86,91	66,00

rzystaniu urządzenia pomocniczego wielkość ładunku była ograniczona udźwigiem hydraulicznego podnośnika narzędzi i wynosiła 1,8 m³ drewna sosnowego.

Wstawiając do równań regresji krzywoliniowej drugiego stopnia dowolne dane, wynikające z warunków terenowych (L) lub drzewostanowych (q oraz n), można wyliczyć wydajność i koszty zrywki dla każdego ciągnika. Umożliwia to wybranie optymalnego wariantu techniki oraz technologii zrywki, zależnie od warunków terenowych.

Ponieważ opracowany model matematyczny został sprawdzony przez autora w praktyce, podjęto decyzje nad kontynuowaniem dalszych doświadczeń nad jego usprawnieniem i powszechnym zastosowaniem w gospodarstwie leśnym.

UOGÓLNIENIA I WNIOSKI

1. Istnieje możliwość opracowania modelu matematycznego do określania wydajności i kosztów zrywki każdego ciągnika, zależnie od warunków terenowych i drzewostanowych.

2. Na podstawie modelu matematycznego można dokonać wyboru optymalnego wariantu techniki zrywki, zależnie od wielkości ładunku i odległości zrywki, przy minimalnych nakładach kosztów.

Z Katedry Mechanizacji Prac Leśnych
Akademii Rolniczej
w Poznaniu

LITERATURA

1. Ägren A.: Die Produktionsverluste in Durchforstungsbeständen als Folgen der modernen Rücketechnik. Allg. Forstz. 1969 Jg. 24 H. 39.
2. Bojanin S., Sever S.: Primjena zglobnog traktora Caterpillar 518 kod izvlačenja deblovine i duge oblovine. Mech. Šumarstva 1978 nr 7—8.
3. Koliczman I. L.: Algebra liniowa i programowanie. Warszawa: PWN 1971.
4. Kilander K.: Rationellere virkeskantering behövs. Skogen 1980 nr 8.
5. Malec E., Mejza S.: Badania efektów w regresji krzywoliniowej (ABS-37). Roczn. AR Poznań. Algorytmy Biometryczne i Statystyczne. 1979 T. 80 z. 4.
6. Oktaba W.: Elementy statystyki matematycznej i metodyka doświadczalnictwa. Warszawa: PWN 1974.
7. Szulc S.: Metody statystyczne. Warszawa: PWE 1968.
8. Wojtkowiak R.: Zmodyfikowana metoda obliczania wielkości jednorazowego ładunku przy zrywce ciągnikowej drewna długiego sposobem wleczonym. Pr. Komis. Nauk Les. Pozn. TPN 1984 T. 58.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 5 lipca 1983 r.

Краткое содержание

Трудности связанные с подбором соответствующей технологии и трактора для трелевки долгомерной древесины, зависящие от местных условий, величины отдельных грузов и расстояния трелевки, склонили автора для предпринятия исследований разработки математической модели при использовании которой, можно бы простым способом определить оптимальный технологический вариант трелевки древесины в определенных условиях насаждений.

Результаты проведенных исследований показали, что существует возможность разработки модели, при использовании которой можно практическим способом определить оптимальный вариант трелевки долгомерной древесины, в зависимости от местных условий, величины груза, расстояния трелевки, выбора соответствующего трактора при минимальных затратах. Поскольку модель была проверена автором на практике, предприняты дальнейшие исследования по упрощению ее и возможности повсеместного применения в практике лесного хозяйства.

Summary

Difficulties connected with the choice of suitable technology and tractor for skidding of logs, in dependence on ground conditions, size of particular loads and skidding distance, impelled the author to undertake studies aimed at elaboration of a mathematical model, rendering possible to determine in a simple way the optimum technological variant of wood skidding in concrete stand conditions.

Results of conducted studies showed that there is a possibility of elaboration of a model rendering possible the determination in a practical way of the optimum variant of skidding of logs, in dependence on ground conditions, size of loads, skidding distance, choice of suitable tractor at minimum costs. The model was verified by the author in the practice and therefore further studies on its simplification and the possibility of its routine application in the forest practice have been undertaken.