

JAK TWORZYĆ I EFEKTYWNIIE UŻYTKOWAĆ AGREGATY ZRYWKOWE Z PRZYCZEPĄ NASIĘBIERNĄ.

CZĘŚĆ 1. OPIS PROCESU ZRYWKI NASIĘBIERNEJ I ZASADY TWORZENIA AGREGATU

Streszczenie

Część 1 opracowania zawiera opis procesu zrywki wykonywanego takim agregatem w formie modelu matematycznego. Proces zrywki ma charakter cykliczny. W cyklu realizowanym przez agregat wyróżniono cztery fazy: jazdę po ładunek, formowanie ładunku na przyczepie, jazdę z ładunkiem i wyładunek. W odpowiednich fazach uwzględniono czynniki mające wpływ na czas trwania procesu, jak odległości i prędkości przejazdów, wielkość zabieranego ładunku i drogę jego formowania, parametry techniczne i stopień wypełnienia pola powierzchni chwytaka. Analizę ekonomiczną pracy agregatu ograniczono do kosztów bezpośrednich.

Słowa kluczowe: agregat zrywkowy, przyczepa nasiębierna, model matematyczny, analiza ekonomiczna, koszty bezpośrednie

Uwagi wstępne

Rozpowszechniona w Polsce sortymentowa metoda pozyskiwania drewna, w której wyrabiane jest drewno krótkie i kłody, wymaga wykonania zrywki za pomocą pojazdów nasiębiernych. Do tego celu są wykorzystywane z reguły forwardery albo specjalne przyczepy agregatowane z ciągnikami rolniczymi wyposażone w żuraw hydrauliczny (nazywane samozaładowczymi - rys. 1) lub bez niego.



ródło: materiały promocyjne firmy FARMA

Source: FARMA promotional material

Rys. 1. Agregat zrywkowy z przyczepą samozaładowczą na zrębie

Fig. 1. Hauling aggregate with a self-loading trailer at the cutting block

W początkowym okresie wdrażania metody sortymentowej (lata 90. ub. wieku) przewidywano, iż w lasach polskich optymalnym środkiem do zrywki wyrabianego w tej metodzie drewna będzie forwarder. Podstawą tej opinii były badania porównawcze forwardera i agregatów z przyczepą samozaładowczą na zrębie zupełnym i w trzebieży, przy zastosowaniu szlaków technologicznych wykonanych w odstępnie 40 m, przeprowadzone przez Instytut Badawczy Leśnictwa [2].

W badaniu tym na zrębie forwarder o ładowności 11 t przy zrywce kłód tartacznych i grubizny stosowej na odległość 100 m uzyskiwał wydajność ok. $26 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, a na odległość 500 m i $17 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, natomiast agregaty z przyczepami o ładowności 7,2 i 8,5 t przy zrywce kłód odpowiednio 5 i $4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, a grubizny stosowej tylko ok. $1,25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ przy nieistotnym wpływie odległości. Na powierzchni trzebieżowej, gdzie wyrabiano tylko gru-

biznę stosową długości 2,4 m, wydajność forwardera wyniosła ok. $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na odległość 100 m i $14 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na odległość 500 m, natomiast agregatów z przyczepą ok. $2,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ przy nieistotnym wpływie odległości. Wydajność zrywki agregatami była więc 7-20 razy - zależnie od warunków - mniejsza niż forwardera, a koszty ok. dwukrotnie większe mimo znacznie mniejszej ich ceny.

A uzyskane w tych badaniach efekty wymaganiami osiągniętych w krajach skandynawskich, gdzie stanowiły one znaczne uzupełnienie forwarderów. Ich wydajność w tamtych warunkach była tylko nieco mniejsza od forwarderów, co sprawiało że przy dużej różnicy kosztów zakupu między nimi w niektórych przypadkach zrywka agregatami stawała się ekonomicznie uzasadniona.

Prywatyzacja prac leśnych na początku lat 90. ub. w. w Polsce i pojawienie się dużej ilości firm, na ogół słabych ekonomicznie, których głównym środkiem technicznym był najczęściej ciągnik rolniczy, by sprostać wymaganiom technologicznym spowodowały zapotrzebowanie na stosunkowo tanie przyczepy zrywkowe nasiębiernie, spełniające - podobnie jak forwardery - zwiększone wymagania ochrony środowiska leśnego. Zapewne lepsza organizacja pracy agregatów użytkowanych przez firmy prywatne, a także pojawienie się na rynku przyczep o zróżnicowanych parametrach ułatwiających dostosowanie właściwej do posiadanego ciągnika sprawiły, że zestawy zrywkowe z przyczepą stały się ekonomicznie uzasadnione.

Dokonana przez Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu w 2012 r. na podstawie ankiet inwentaryzacja wyposażenia technicznego 945 firm leśnych (ok. 1/3 wszystkich w kraju) wykonujących zadania dla Lasów Państwowych wykazała, że do zrywki drewna mają one 233 forwardery, 537 skiderów, przyczep zrywkowych do agregatowania z ciągnikami rolniczymi: 847 bez żurawia i 950 z żurawiem (samozaładowczych) oraz 2917 ciągników rolniczych [1]. Z moich badań firm leśnych wykonanych w 2014 r. wynika, że np. firma pozyskująca rocznie 200-300 tys. m^3 drewna posiada do zrywki nasiębierniej 5 forwarderów i 7 przyczep samozaładowczych możliwych do agregatowania z 16 ciągnikami rolniczymi. Inna firma pozyskująca rocznie ok. 85 tys. m^3 drewna do zrywki nasiębierniej posiada 2 forwardery i 12 przyczep samozaładowczych do agregatowania z 9 ciągnikami rolniczymi.

Z ustaleń tych wynika, że agregaty składające się z ciągnika rolniczego i przyczepy samozaładowczej stały się obecnie

podstawowymi środkami firm leśnych do nasiębniernej zrywki drewna. Jest więc uzasadniona potrzeba przedstawienia użytkownikom tych agregatów analizy wpływu różnych czynników na efekty zrywki w zmiennych warunkach, by mogli podejmować możliwie optymalne decyzje zarówno przy ich tworzeniu, jak i eksploatacji.

Charakterystyka procesu zrywki drewna agregatem z przyczepą samozaładowczą

Do oceny efektywności pracy urządzenia zrywkowego wykorzystuje się dwa wskaźniki: wydajność godzinową i koszt ponoszony na 1 m³ zerwanego drewna. Aby wskazać czynniki mające wpływ na ich wartość niezbędny jest taki opis procesu zrywki, który w dostatecznym stopniu odwzorowuje rzeczywiste warunki pracy.

Proces zrywki drewna na powierzchni leśnej składa się z cyklicznie powtarzających się czynności. W przypadku zrywki nasiębniernej można zgrupować je w czterech fazach: 1 - przejazd agregatu od składnicy do miejsca formowania ładunku, 2 - formowanie ładunku na przyczepie (załadunek), 3 - przejazd ze sformowanym ładunkiem do składnicy, 4 - wyładunek drewna z uformowaniem stosu lub mygły. Czas cyklu (t_c) jest sumą czasów trwania wyróżnionych faz:

$$t_c = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad [\text{s}] \quad (1)$$

Czasy trwania fazy pierwszej (t_1) i trzeciej (t_3) zależą od odległości przejazdów w odpowiednich kierunkach po ładunek (L_1) i z ładunkiem (L_3) oraz prędkości jazdy odpowiednio (ϑ_1 i ϑ_3), określają je zależności:

$$t_1 = \frac{L_1}{\vartheta_1}, \quad t_3 = \frac{L_3}{\vartheta_3} \quad [\text{s}] \quad (2)$$

gdzie: L_1 i L_3 w m oraz ϑ_1 i ϑ_3 w m·s⁻¹.

Na czas fazy drugiej składają się czasy cykli pracy żurawia, podczas których następuje uchwycenie porcji drewna i załadunek ich na ramę przyczepy oraz czas zmiany miejsca załadunku poszczególnych porcji drewna. Czas trwania tej fazy można opisać następującą zależnością:

$$t_2 = n_2 \cdot t_z + \frac{L_2}{\vartheta_2} \quad [\text{s}] \quad (3)$$

gdzie:

n_2 - liczba cykli żurawia pobierania drewna z ziemi i umieszczania go na przyczepie,

t_z - czas trwania jednego cyklu pracy żurawia podczas załadunku, s,

L_2 - długość drogi niezbędna do sformowania ładunku na przyczepie, m,

ϑ_2 - prędkość przemieszczania się agregatu w fazie formowania ładunku na przyczepie, m·s⁻¹.

Liczbę cykli żurawia niezbędną do wypełnienia ładunkiem skrzyni przyczepy określają ilość drewna stanowiąca jednorazowy ładunek i ilość drewna zabierana jednorazowo przez chwytak żurawia. Obliczamy ją z zależności:

$$n_2 = \frac{Q_d}{F_{ch} \cdot L_d \cdot k_2}, \quad (4)$$

gdzie:

Q_d - ilość drewna stanowiąca jednorazowy ładunek przyczepy, m³,

F_{ch} - pole powierzchni uchwytu chwytaka, m²,

L_d - długość drewna (wyrobionego sortymentu), m,

k_2 - współczynnik wypełnienia drewnem pola uchwytu chwytaka.

Długość drogi agregatu niezbędnej do sformowania ładunku na przyczepie zależy od rozłożenia drewna na powierzchni leśnej. Obliczamy ją z zależności:

$$L_2 = \frac{Q_d}{q_d} \quad [\text{m}], \quad (5)$$

gdzie: q_d jest wskaźnikiem obłożenia trasy agregatu pozyskanym drewnem w m³·m⁻¹ długości drogi (szlaku technologicznego).

Czas wyładunku drewna z przyczepy określa zależność:

$$t_4 = n_4 \cdot t_w \quad [\text{s}], \quad (6)$$

gdzie:

n_4 - liczba cykli pracy żurawia,

t_w - czas trwania jednego cyklu pracy żurawia podczas wyładunku drewna, s.

Liczbę cykli pracy żurawia podczas wyładunku drewna z przyczepy określa zależność następująca:

$$n_4 = \frac{Q_d}{F_{ch} \cdot L_d \cdot k_4}, \quad (7)$$

gdzie k_4 jest współczynnikiem wypełnienia drewnem pola uchwytu chwytaka podczas wyładunku drewna.

Uwzględniając podane wyżej zależności warunkujące czasy trwania poszczególnych faz, przy założeniu $L_1 = L_3 = L$ oraz $t_2 = t_w = t_0$, równanie (1) przedstawiające całkowity czas trwania cyklu zrywki po uporządkowaniu przyjmuje postać następującą:

$$t_c = \left(\frac{1}{\vartheta_1} + \frac{1}{\vartheta_2} \right) \cdot L + \left[\left(\frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_4} \right) \cdot \frac{t_0}{F_{ch} \cdot L_d} + \frac{1}{q_d \cdot \vartheta_2} \right] \cdot Q_d \quad [\text{s}]. \quad (8)$$

W tej postaci równanie (8) pozwala ustalić czynniki mające wpływ na czas cyklu i ich znaczenie dla generowania jego wartości. Głównymi czynnikami zwiększającymi proporcjonalnie czas trwania cyklu są odległość zrywki (L) i wielkość ładunku (Q_d). Pierwszy z nich zależy od warunków terenowych pracy agregatu, drugi od wielkości (ładowności) przyczepy.

Odległość zrywki na ogół nie przekracza 1000 m, tylko sporadycznie jest większa. O jej znaczeniu dla generowania czasu cyklu decydują prędkości przejazdów bez ładunku (ϑ_1) i z ładunkiem (ϑ_2). Na powierzchniach leśnych ich wartości są ograniczone warunkami ruchu i wynoszą najczęściej od 4 do 8 km·h⁻¹ (1,1-2,2 m·s⁻¹). Na ogół nieco większą prędkość agregat rozwija podczas jazdy bez ładunku niż z ładunkiem. Gdy odległość zrywki zawiera się w przedziale od 100 do 1000 m, to czas trwania przejazdów agregatu bez ładunku i z ładunkiem, jako składowa czasu cyklu, może zawierać się w przedziale od ok. 45 do 909 s.

Wpływ wielkości ładunku na zmianę czasu trwania cyklu zależy od pola uchwytu chwytaka (F_{ch}) i możliwości wypełnienia go drewnem (współczynniki k_2 i k_4), długości sortymentu (L_d), czasu cyklu pracy żurawia (t_0) oraz obłożenia trasy agregatu drewnem (q_d) i prędkości zmiany przez niego miejsca załadunku (ϑ_2). Pola uchwytu chwytaków żurawi umieszczanych na przyczepach zrywkowych wynoszą od 0,12 do 0,25 m² zależnie od udźwigu żurawia.

Z badań własnych autora wynika, że czas cyklu pracy żurawia zawiera się w granicach od 20 do 40 s zależnie od przygotowania drewna do zrywki, a współczynniki wypełnienia pola uchwytu podczas załadunku i rozładunku wynoszą odpowiednio $k_2 = 0,3-0,8$ i $k_4 = 0,7-0,8$.

Obłożenie drewnem szlaku przemieszczania agregatu zależy od zasobności drzewostanu, rodzaju rębni i odstępów między

szlakami. Na przykład na zrębie zupełnym, gdy zasobność drzewostanu wynosi $300 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ i odstęp między szlakami wynosi 20 m , to obłożenie $q_d = 0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$, natomiast w trzebieży przy zasobności drzewostanu $200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, z którego w zabiegu pozyskuje się $50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ i odstęp szlaków wynosi 20 m , to $q_d = 0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$. W takich warunkach agregat z przyczepą mniejszą, aby zebrać 6 m^3 drewna na zrębnie musi przejechać po szlaku 10 m , a w trzebieży 60 m . Agregat z przyczepą dużą, by zebrać 15 m^3 drewna musi przejechać na zrębnie 25 m , a w trzebieży 150 m . Zmiana miejsca ładowania drewna przez agregat odbywa się z przerwami, co powoduje, że średnia prędkość jest niewielka. Jej wartość zawiera się w przedziale $\vartheta_2 = 0,4-0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. To sprawia, że udział czasu pokonywania drogi przez agregat podczas formowania ładunku na przyczepie może być znaczący.

Duża zmienność czynników określających warunki pracy agregatu zrywkowego powoduje, że czas formowania ładunku na przyczepie i wyładunku drewna na stos lub mygłę może zawierać się w dużym przedziale. Na przykład przy zrywce drewna długości $2,4 \text{ m}$ te dwie fazy zrywki przyczepą mniejszą (o ładowności 6 m^3) mogą trwać od ok. 1060 s w dogodnych warunkach do 2870 s w mniej dogodnych, natomiast przyczepą dużą (o ładowności 15 m^3) od ok. 1300 do 3800 s . Czasy trwania faz za- i wyładunku drewna mają więc duży wpływ na efekty pracy agregatu zrywkowego, szczególnie przy niewielkich odległościach zrywki.

Wydajnością efektywną zrywki nazywamy stosunek wielkości ładunku (Q_d) przemieszczanego cyklicznie z powierzchni leśnej na składnicę do czasu trwania cyklu (t_c). Jej wartość obliczamy z następującego wzoru:

$$W_1 = \frac{3600 \cdot Q_d}{t_c} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \quad (9)$$

Tak zdefiniowana wydajność uwzględnia tylko czynności przemieszczania drewna wykonywane przez agregat bezpośrednio na powierzchni leśnej. A proces zrywki wymaga też wykonania dodatkowych działań, jak przygotowania agregatu do pracy, przemieszczenia się z miejsca garażowania na powierzchnię leśną i powrotu do niego po zakończeniu pracy, a także przerw, np. na potrzeby osobiste operatora. Zatem, dyspozycyjny czas pracy agregatu uwzględniający ich wykonanie jest większy od czasu efektywnego. Stosunek czasu efektywnego do dyspozycyjnego nazywamy współczynnikiem wykorzystania czasu pracy (w tym opracowaniu oznaczono go symbolem k_{07}), a ilość zerwanego drewna w dyspozycyjnym czasie pracy nazywamy wydajnością eksploatacyjną (W_{07}). Obliczenia jej wartości dokonujemy z następującego wzoru:

$$W_{07} = \frac{3600 \cdot Q_d \cdot k_{07}}{t_c} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \quad (10)$$

W przypadku agregatów zrywkowych współczynnik wykorzystania czasu pracy zawiera się w granicach od $0,5$ do $0,7$. Najczęściej głównym czynnikiem mającym wpływ na jego wartość jest odległość przejazdu między miejscem garażowania agregatu a miejscem zrywki.

Koszty pracy agregatu zrywkowego

W niniejszej analizie koszty pracy agregatu zrywkowego ograniczymy do kosztów bezpośrednich, na które składają się: amortyzacja ciągnika i przyczepy, wydatki na ich obsługę i naprawę w przyjętym okresie eksploatacji, koszty zużytego paliwa i smarów oraz płaca operatora i pochodzące od nich składki odprowadzane przez pracodawcę. Wtedy koszty godziny pracy agregatu określa następująca zależność:

$$K = \frac{C_c + C_p}{T_a \cdot N_r} \cdot (1 + \beta_n) + C_{pl} \cdot V_p \cdot (1 + \beta_s) + P_r (1 + \beta_r) \quad [\text{zł} \cdot \text{h}^{-1}], \quad (11)$$

gdzie:

C_c i C_p - cena zakupu odpowiednio ciągnika i przyczepy (brutto - uwzględniająca VAT), zł,

C_{pl} - cena paliwa, zł $\cdot \text{dm}^{-3}$,

T_a - liczba lat amortyzacji ciągnika i przyczepy,

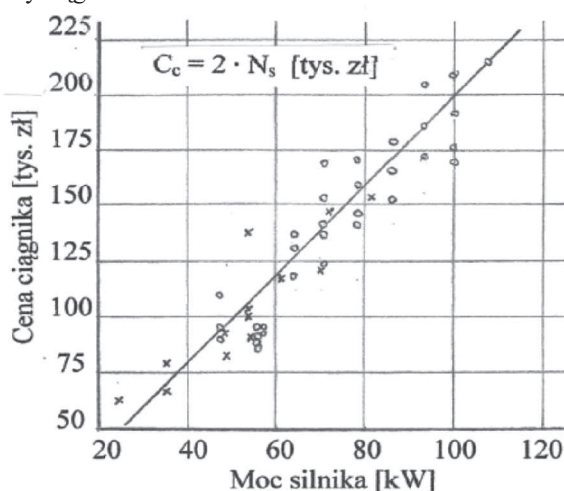
N_r - liczba godzin pracy agregatu w roku,

V_p - zużycie paliwa, $\text{dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,

P_r - płaca operatora, zł $\cdot \text{h}^{-1}$,

β_n, β_s i β_r - wskaźniki kosztów odpowiednio napraw agregatu, zużycia smarów i składek odprowadzanych od płac operatora przez pracodawcę.

Cena ciągnika (C_c) zależy od jego wielkości. Na rys. 2 przedstawiono, dla przykładu, ceny netto (bez VAT) różnych modeli ciągników rolniczych w zależności od mocy ich silników oferowanych na rynku polskim przez dwie firmy: Zetor i FARMTRAC. Cena ciągnika o mocy silnika wynoszącej 50 kW wynosiła ok. 100 tys. zł , a o mocy 100 kW - ok. 200 tys. zł . Ciągniki leśne tej mocy są ponad dwukrotnie droższe. Funkcję opisującą zależność ceny ciągnika od mocy silnika podano na rys. 2. Ma ona postać zależności liniowej - wynika z niej, że każde 10 kW mocy silnika skutkuje zwiększeniem o 20 tys. zł ceny ciągnika.



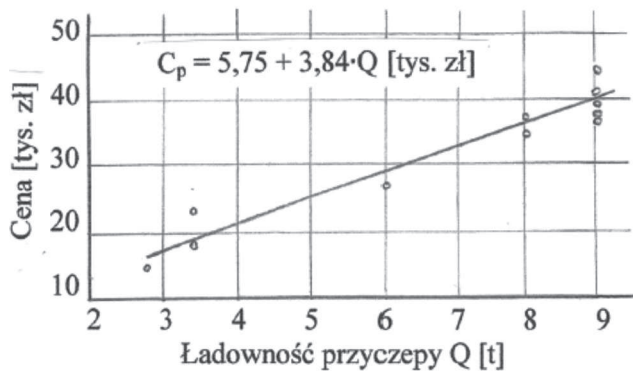
ródło: materiały promocyjne firmy Zetor i Farmtrac
Source: Zetor and Farmtrac promotional material

Rys. 2. Zależność ceny ciągnika rolniczego od mocy silnika
Fig. 2. The dependence of the farm tractor prices on engine power

Głównym czynnikiem określającym cenę przyczepy zrywkowej jest jej ładowność. Na rynku znajdują się przyczepy o ładowności od ok. 3 do 14 ton , o masie własnej od $0,6$ do $6,6 \text{ ton}$. Na rys. 3 przedstawiono, dla przykładu, ceny (netto) przyczep zrywkowych firmy Kellfri.

Ich cena zawierała się w granicach od ok. 14 do 44 tys. zł . Można przyjąć, że cena przyczepy zwiększa się liniowo z ładownością. Dodatkowymi czynnikami różnicującymi cenę przyczepy są parametry żurawia, możliwość i sposób napędu kół jezdnych, rodzaj zastosowanych hamulców, wyposażenie dodatkowe umożliwiające zmianę wymiarów skrzyni ładownej.

Okres amortyzacji pojazdów zrywkowych przyjmuje się z reguły $T_a = 7$ lat, a liczbę godzin pracy w roku $N_r = 1500$ 1800 . Koszty napraw wynoszą od 70 do 80% kosztów amortyzacji ($\beta_n = 0,7-0,8$). Koszty zużycia oleju ustala się najczęściej w proporcji do kosztów paliwa - w ciągnikach rolniczych wynoszą one ok. 10% ($\beta_s = 0,1$). Składki odprowadzane przez pracodawcę stanowią obecnie ok. 25% płacy operatora ($\beta_r = 0,25$).



ródo: materiały promocyjne firmy Kellfri
Source: Kellfri promotional material

Rys. 3. Zależność ceny przyczepy zrywkowej Kellfri od jej ładowności

Fig. 3. The dependence of the price of the Kellfri trailer on its payload

Zużycie paliwa przez silnik agregatu zrywkowego zależy od jego maksymalnej mocy i stopnia jej wykorzystania w poszczególnych fazach pracy. Ciągniki rolnicze charakteryzują się dużą mocą w stosunku do swej masy. Jednak małe prędkości przejazdów agregatu po ładunek i z ładunkiem, a także stosunkowo niewielkie zapotrzebowanie mocy podczas prac ładunkowych sprawiają, że wykorzystanie mocy silnika w agregacie zrywkowym jest stosunkowo niewielkie, na ogół nie przekracza 50%. Z badań terenowych wynika, że uśrednione zużycie paliwa dla wszystkich faz cyklu zrywki można opisać następującą zależnością:

$$V_p = 3,7 + 0,7 \cdot N_s \quad [\text{dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}], \quad (12)$$

gdzie: N_s - maksymalna moc silnika, kW.

Koszty jednostkowe zrywki drewna (k_j) określa stosunek kosztów wydatkowanych na jedną godzinę pracy agregatu do wydajności eksploatacyjnej:

$$k_j = \frac{K}{W_{07}} \quad [\text{zł} \cdot \text{m}^{-3}]. \quad (13)$$

Zasady tworzenia agregatu zrywkowego

ródołem napędu agregatu jest silnik ciągnika. Ma on zapewnić zapotrzebowanie na moc zespołów roboczych agregatu w każdej fazie procesu zrywki: podczas przejazdów - kół napędowych ciągnika (niekiedy także przyczepy), a podczas prac ładunkowych - hydraulicznych układów napędowych. Największe zapotrzebowanie mocy występuje podczas jazdy agregatu z ładunkiem. Zatem, ta faza zrywki jest podstawą doboru parametrów ciągnika i przyczepy, tak by utworzony agregat mógł uzyskiwać optymalne efekty.

Przemieszczanie się agregatu wymaga wystąpienia na styku kół napędowych ciągnika z podłożem sił stycznych do pokonania oporów ruchu własnych i połączonej z nim przyczepy [3]. Ciągnik o określonej masie uzyskuje maksymalną wartość siły stycznej, gdy ma napędzane wszystkie koła jezdne. Takie rozwiązania konstrukcyjne są stosowane we wszystkich ciągnikach leśnych. Także ciągniki rolnicze do prac leśnych powinny mieć możliwość włączania napędu osi przedniej, gdy warunki ruchu tego wymagają. Wtedy w ogólnym przypadku warunków ruchu agregatu (przy zaniedbaniu sił bezwładności) podczas jazdy w górę stoku opisuje następująca nierówność:

$$G_c [(\mu - f) \cdot \cos \alpha - \sin \alpha] \geq (G_p + Q) \cdot (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (14)$$

gdzie:

G_c i G_p - ciężar odpowiednio ciągnika i przyczepy, kN,

Q - ładowność przyczepy (ciężar maksymalnego ładunku), kN,

f - współczynnik oporów toczenia kół ciągnika i przyczepy (na podłożu leśnym $f = 0,05 - 0,15$),

μ - współczynnik przyczepności kół napędowych ciągnika (na podłożu leśnym $\mu = 0,5 - 0,6$),

α - kąt pochylenia terenu, stopnie.

Dla terenów nizinnych można przyjąć $\alpha \approx 0$, wtedy nierówność (14) przyjmuje postać:

$$G_c (\mu - f) \geq (G_p + Q) \cdot f. \quad (15)$$

Z powyższych nierówności wynika, że w tworzonej agregacie ciężar ciągnika powinien być proporcjonalny do sumy ciężarów przyczepy i maksymalnego ładunku umieszczonego na przyczepie. Dla warunków nizinnych

$$G_c \geq \frac{f}{\mu - f} \cdot (G_p + Q) \quad [\text{kN}]. \quad (16)$$

Nawet w bardzo trudnych warunkach ($\mu = 0,5$ i $f = 0,15$) na terenie nizinym masa ciągnika nie powinna być większa od połowy masy przyczepy z ładunkiem. Najczęściej masa ciągnika wynosząca 0,3-0,4 masy przyczepy z ładunkiem jest wystarczająca do uzyskania przez agregat wymaganej siły uciążu. Większa masa ciągnika powoduje bowiem zwiększenie jego ceny i zużycia paliwa, a w konsekwencji zwiększenie kosztów użytkowania agregatu.

Bibliografia

- [1] Kucharska K.: Bieżąca inwentaryzacja i ewidencja sprzętu (maszyny wielooperacyjne, ciągniki, przyczepy, wciągarki, pługi, itp.): budowa bazy danych stanu posiadania firm współpracujących z PGLP. Etap 2. Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu, 2012.
- [2] Rzadkowski S.: Wydajność oraz koszty zrywki drewna forwarderem i przyczepą kłonicową agregatowaną z ciągnikiem rolniczym. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 1995, 7.
- [3] Więsik J. (red): Urządzenia techniczne w produkcji leśnej. Warszawa: Wydawnictwo SGGW, 2015.

WOOD HAULING AGGREGATE WITH SELF-LOADING TRAILER. PRINCIPLES OF CREATION AND EFFECTIVE USE. PART 1. DESCRIPTION OF WOOD FORWARDING PROCESS AND THE PRINCIPLES OF MACHINE AGGREGATION

Summary

Part 1 of the study contains a description of the wood hauling process performed by an aggregate in the form of a mathematical model. The wood hauling process is cyclical. The cycle realized by the aggregate is divided into four phases: driving empty (to the place of loading), collecting and forming of the load on the trailer, driving with load and unloading of cargo. In the respective phases factors affecting the duration of the process are determined, such as distance and speed of driving, size of the gathered load and the distance at which it was collected, technical features and the degree of filling of the area of the grapple. The economic analysis of aggregate performance was limited to direct costs.

Key words: wood hauling aggregate, self-loading trailer, mathematical model, economic analysis, direct costs