

JERZY WIĘSIK

## Analiza nakładów energetycznych na odnawianie lasu

Анализ энергетических расходов на лесовозобновление

Analysis of energy expenditure for forest regeneration

### 1. WSTĘP

Racjonalna działalność gospodarstw leśnych wymaga obecnie zwrócenia szczególnej uwagi na nakłady energetyczne ponoszone na realizację zadań gospodarczych. Podejmowanie działań energooszczędnych jest jednak możliwe wtedy, gdy są znane ilościowe wskaźniki ponoszonych nakładów i warunkujących je czynników w poszczególnych procesach produkcyjnych. Organizator produkcji, planując realizację procesu w konkretnych warunkach swojego gospodarstwa, powinien mieć możliwość oceny różnych wariantów także pod względem ich energochłonności i uwzględnienia tego kryterium w wyborze wariantu dla danych warunków najbardziej odpowiedniego.

Problemy energochłonności leśnej nie znalazły szerszego naświetlenia w literaturze krajowej, stąd też kryterium minimalizacji nakładów dotychczas nie jest uwzględniane w organizacji procesu produkcyjnego gospodarstw leśnych, mimo napiętego bilansu paliwowego.

Przedstawione opracowanie dotyczy jednego z najbardziej energochłonnych procesów produkcyjnych leśnictwa — odnawiania lasu. Zakres opracowania ograniczono do analizy energii zawartej w paliwie zużywanym przez ciągniki realizujące następujące operacje technologiczne: uprzątanie powierzchni zrębowej, orka gleby (wyorywanie bruzd) spulchnianie bruzd (pogłębianie) i sadzenie roślin.

Nie w każdym warunkach zachodzi potrzeba, a nawet możliwość wykonywania sprzętem mechanicznym wszystkich wymienionych operacji. Dlatego ich energochłonność zostanie rozpatrzona oddzielnie, co pozwoli na analizę różnych wariantów technologicznych, zależnie od występujących warunków i możliwości technicznych gospodarstwa.

### 2. ENERGETYKA AGREGATU MASZYNOWEGO

Ilość energii zużytej na realizację procesu przez agregat maszynowy zależy od wartości przekazywanej przez silnik mocy i czasu pracy na

danym obciążeniu. Jeśli przyjąć, że praca agregatu odbywa się na poziomym terenie i ze stałą prędkością, to bilans mocy agregatu można przedstawić następująco:

$$N_e = N_m + N + N_o + N_w + N_z \quad (1)$$

gdzie:

- $N_e$  — moc efektywna silnika,
- $N_m$  — moc tracona w mechanizmach układu napędowego ciągnika,
- $N_\delta$  — moc tracona w wyniku poślizgu kół napędowych ciągnika,
- $N_o$  — moc tracona na toczenie się agregatu,
- $N_w$  — moc przekazywana na wałek przekładnika mocy ciągnika (WOM),
- $N_z$  — moc uciągu, niezbędna na przemieszczanie zagregatowanej z ciągnikiem maszyny w fazie pracy.

Wykorzystując znane w literaturze (1, 3) definicje i związki wyrażenia określające poszczególne składniki powyższego bilansu mogą mieć następującą postać:

$$N_m = (1 - \eta_m) \cdot N_e \quad (2)$$

$$N = 10^{-2} \cdot \delta \cdot (N_o + N_z) \quad (3)$$

$$N_o = P_o \cdot v = G \cdot f_o \cdot v \quad (4)$$

$$N_z = P_z \cdot v \quad (5)$$

gdzie:

- $\eta_m$  — sprawność mechanizmów napędowych ciągnika ( $\eta_m = 0,8$  —  $0,9$ ),
- $\delta$  — poślizg kół napędowych ciągnika w %,
- $P_o$  — opór toczenia agregatu w N,
- $P_z$  — opór uciągu maszyny w N,
- $G$  — ciężar agregatu (ciągnika — jeśli podczas ruchu zagregatowana z nim maszyna nie powoduje oporów toczenia kół ciągnika) w N,
- $f_o$  — współczynnik oporów toczenia kół ciągnika,
- $v$  — prędkość ruchu agregatu w m/s.

Wprowadzając zależności 2—5 do równania 1, w przypadku, gdy  $N_w = 0$ , otrzymamy następujące wyrażenie określające zapotrzebowanie mocy przez agregat w ustalonych warunkach pracy:

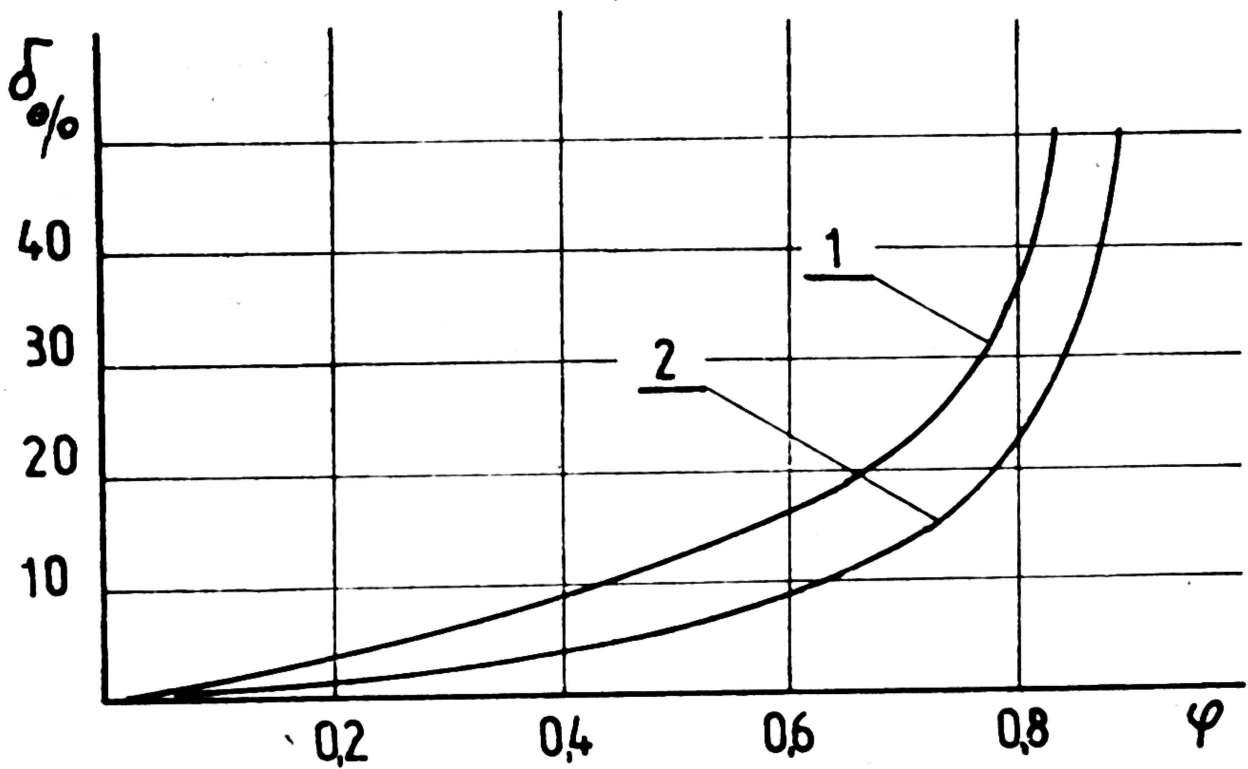
$$N_e = 10^{-5} \cdot (100 + \delta) \cdot \eta_m^{-1} \cdot (P_o + P_z) \cdot v \quad [\text{kW}] \quad (6)$$

Wartość poślizgu zależy od rodzaju podłoża i obciążenia kół napędowych ciągnika (1). Na ryc. 1 przedstawiono zależność  $\delta$  od współczynnika wykorzystania przyczepności  $\varphi$  na podłożu leśnym i drodze utwardzonej. Współczynnik  $\varphi$  definiowany jest następująco:

$$\varphi = \frac{P_k}{Y_k} \quad (7)$$

gdzie:

- $P_k$  — siła napędowa ciągnika (w rozpatrywanym przypadku  $P_k = P_o + P_z$ ),
- $Y_k$  — normalna reakcja podłoża działająca na koła napędowe ciągnika.



Ryc. 1. Zależność poślizgu od współczynnika wykorzystania przyczepności dla ciągnika kołowego  
 1 — powierzchnia leśna,  
 2 — droga utwardzona.

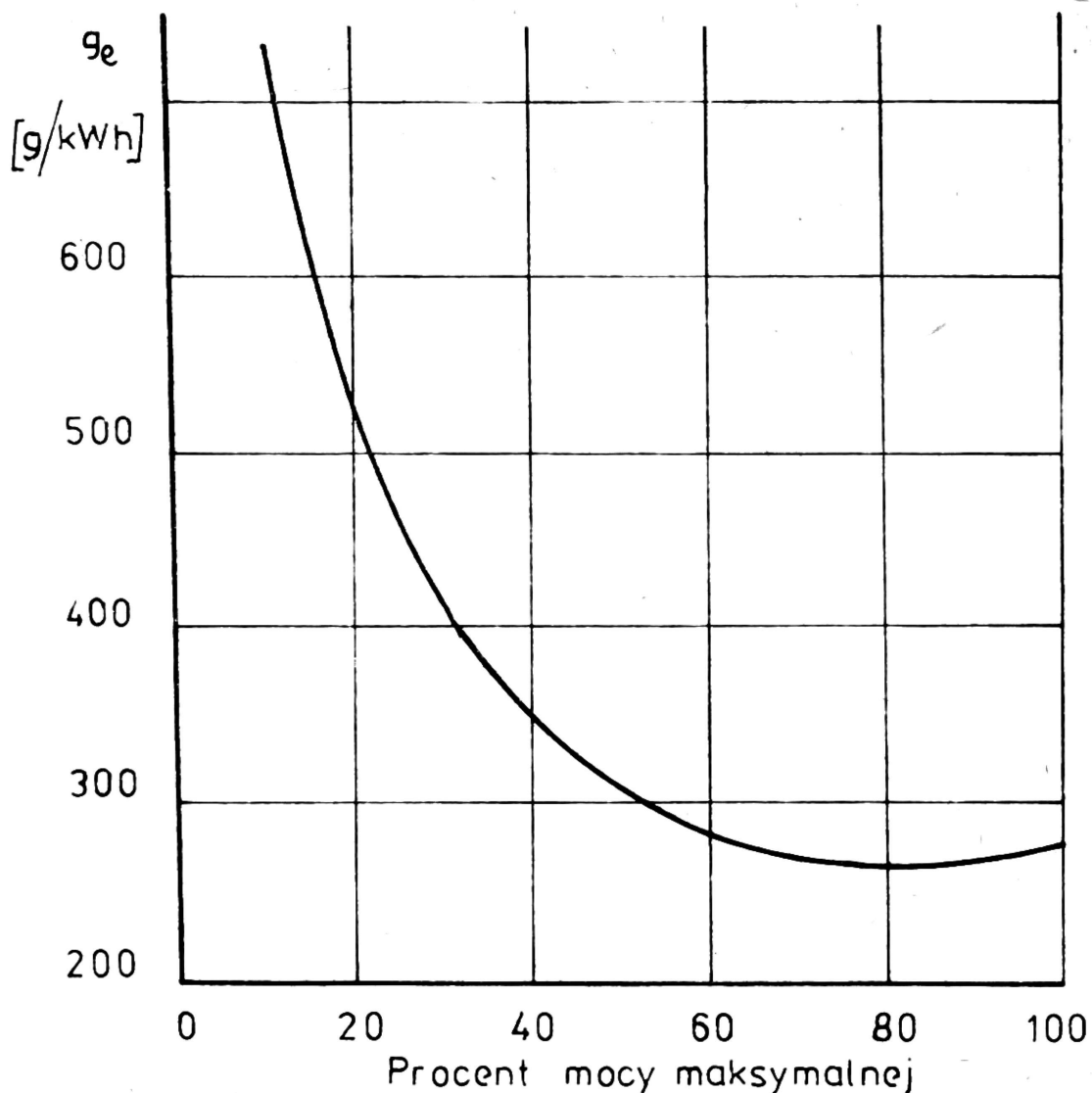
W rzeczywistych warunkach pracy występuje duża nierównomierność oporów ruchu, tak samego pojazdu jak i maszyny. Zmienność ta jest szczególnie widoczna w warunkach leśnych (2, 4). Mimo to, przy mniej dokładnym szacowaniu nakładów energetycznych, w czasie realizacji procesu produkcyjnego daje się wyodrębnić fazy pracy agregatu, dla których wartość zaangażowanej mocy można uważać za stałą. Wtedy ilość zużytego paliwa na realizację wielooperacyjnego procesu można obliczać z zależności:

$$Q = \sum_{i=1}^s Q_i = 10^{-3} \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{n_i} N_{eij} \cdot g_{eij} \cdot t_{ij} \quad (\text{kg}) \quad (8)$$

gdzie:

- $Q_i$  — zużycie paliwa na realizację  $i$ -tej operacji w kg,
- $N_{eij}$  — moc silnika zaangażowana do realizacji  $j$ -tej operacji w kW,
- $g_{eij}$  — jednostkowe zużycie paliwa w  $j$ -tej fazie pracy  $i$ -tej operacji w g/kW·h,
- $t_{ij}$  — czas trwania  $j$ -tej fazy  $i$ -tej operacji w h,
- $s$  — liczba operacji,
- $n_i$  — liczba wyróżnionych faz pracy agregatu w  $i$ -tej operacji.

Jednostkowe zużycie paliwa jest wielkością charakterystyczną dla określonego ciągnika. Jednak decydującym czynnikiem o jego wartości w danej fazie pracy agregatu jest stopień wykorzystania mocy silnika. Przebieg zmian jednostkowego zużycia paliwa od stopnia obciążenia dla ciągników Ursus przedstawiono na ryc. 2. Wykres ten można wykorzy-



Ryc. 2. Zależność jednostkowego zużycia paliwa od stopnia obciążenia silnika

stać, z dostateczną dla naszych rozważań dokładnością, do szacowania zużycia paliwa przez ciągniki Ursus C-330, C-360 i 902 zależnie od występującego w danej fazie stopnia obciążenia silnika, określonego jako stosunek  $N_e/N_s$ , gdzie  $N_s$  jest maksymalną mocą silnika.

Ilość zużytego paliwa na 1 ha odnawianej powierzchni nazywać będziemy jednostkowymi nakładami energii. Całkowite jednostkowe nakłady energii  $q$  są sumą jednostkowych nakładów ponoszonych na realizację poszczególnych operacji, co można zapisać następująco:

$$q = \sum_{i=1}^s q_i = 10^{-3} \sum_{i=1}^s W_i - \sum_{j=1}^{n_i} N_{eij} \cdot g_{eij} \cdot t_{ij} \quad (9)$$

(kg/ha)

gdzie:

$W_i$  — wydajność pracy agregatu wykonywania  $i$ -tej operacji w ha/8h.

### 3. WYNIKI OBLICZEŃ I ANALIZA ENERGOCHŁONNOŚCI PROCESU ODNAWIANIA LASU

Obliczenia nakładów energetycznych na realizację poszczególnych operacji odnawiania lasu dokonano przy założeniu istnienia możliwości

wyboru jednego z dwóch ciągników Ursus: C-360 lub 902. Pierwszy charakteryzuje się mocą silnika — 38,2 kW i masą 2710 kg, drugi — 55,6 kW i 4510 kg.

Do wykonywania kolejnych operacji procesu przewidziano następujące maszyny, stosowane w gospodarstwach leśnych:

1) oczyszczanie powierzchni z odpadów zrębowych — zgrabiarka SG-2,5 (masa — 570 kg, szerokość — 2,5 m, przeciętna wartość oporów spychania odpadów — 3,0 kN);

2) wyorywanie bruzd — pług LPz-75 (masa — 420 kg, przeciętna wartość oporów gleby — 7,25 kN (2, 5);

3) spulchnianie bruzd — pogłębiacz L-01 (masa — 260 kg, przeciętna wartość oporów gleby 5,69 kN (4);

4) sadzenie roślin — sadzarka L-76 (masa — 540 kg, przeciętna wartość oporów ruchu: przy spulchnionej bruździe — 5,20 kN, bez spulchnienia — 7,50 kN).

W celu porównania odmiennych wariantów technologicznych przewidziano możliwość wyorania bruzdy i jej spulchnienia jedną maszyną — pługopogłębiaczem, którego cechy charakterystyczne byłyby następujące: masa — 600 kg, przeciętna wartość oporów gleby — 12,5 kN. Przewidziano także możliwość wykonania orki dwurzędowym pługiem ślimakowym z czynnymi elementami roboczymi, nad konstrukcją którego prowadzone są obecnie prace w Zakładzie Mechanizacji Leśnictwa SGGW-AR. Cechy charakterystyczne tej maszyny, istotne z punktu widzenia nakładów energetycznych, można oszacować następująco: masa — 600 kg, przeciętne zapotrzebowanie mocy na WOM — 20 kW.

Nakłady energii na wykonanie każdej operacji analizowano zakładając codzienny dojazd ciągnika do odnawianej powierzchni oraz ośmiogodzinny dzień pracy, w którym jedną godzinę zajmowała obsługa codzienna agregatu, a stopień efektywnego wykorzystania czasu pracy na powierzchni wynosił 0,75. Trasa dojazdu agregatu do powierzchni i jego powrotu do miejsca garażowania w każdym przypadku składała się w 50% z dróg o nawierzchni utwardzonej, pozwalających na uzyskanie średniej prędkości 4,5 m/s, zaś w 50% z dróg gruntowych, pozwalających na uzyskanie średniej prędkości 3,0 m/s. Opory toczenia ciągnika na tych nawierzchniach przyjęto odpowiednio 0,03 i 0,05, a na odnawianej powierzchni leśnej — 0,1 (1, 2, 4). Prędkość roboczą i nawrotu agregatu dla wszystkich operacji i obydwóch przewidzianych ciągników przyjęto jednakową — 0,6 m/s. Do analizy założono, że odnawiana powierzchnia znajduje się na poziomym terenie, jej długość wynosi 300 m, a rzędy sadzonek będą usytuowane w odstępach 1,4 m.

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania w procesie pracy każdego z wymienionych agregatów można wyróżnić cztery fazy, wymagające zaangażowania odmiennych wartości przeciętnej mocy. Pierwszą stanowi jazda agregatu po drodze utwardzonej, drugą — jazda agregatu po drodze gruntowej, trzecią — praca agregatu na odnawianej powierzchni (spychanie odpadów, wyorywanie bruzd, spulchnianie i sadzenie), czwartą — nawroty agregatu na końcach kolejnych rzędów.

Stosując podane wcześniej zasady obliczono ilość paliwa niezbędnego do wykonania wyróżnionych faz w poszczególnych operacjach i całych

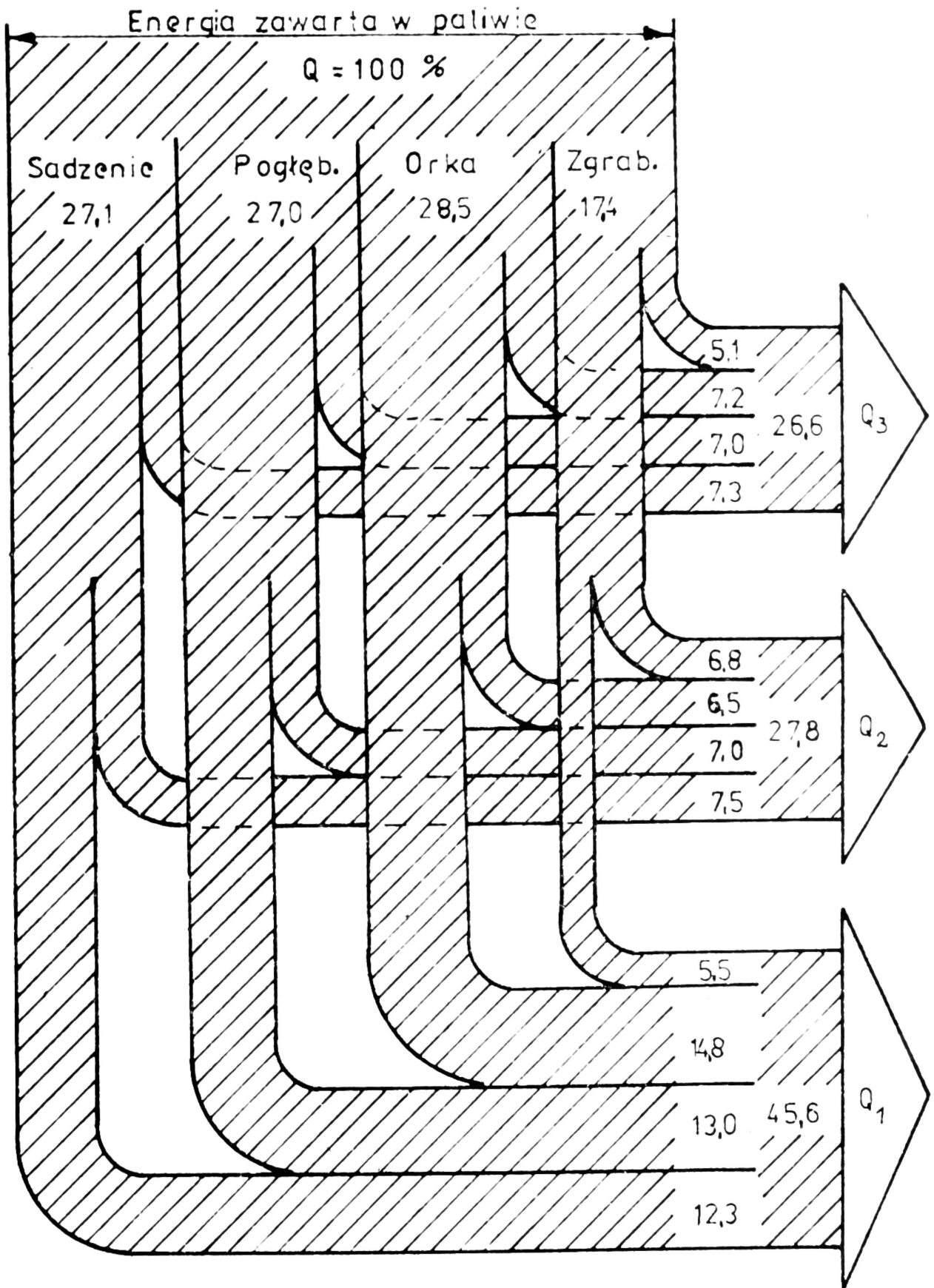
operacji w ciągu ośmiogodzinnego dnia pracy agregatu. Wyniki obliczeń zużycia paliwa odniesione do jednego ha powierzchni przy zastosowaniu ciągników Ursus C-360 i 902 oraz różnym oddaleniu odnawianej powierzchni od miejsca garażowania zestawiono w tabeli.

**Wydajność agregatów i zużycie paliwa przy odnawianiu lasu**

Rodzaj operacji	Model ciągnika Ursus	Wydajność $W_i$ (ha/8h) i zużycie paliwa $q_i$ (kg/ha) przy odległ. L/km							
		0		5		10		20	
		$W_i$	$q_i$	$W_i$	$q_i$	$W_i$	$q_i$	$W_i$	$q_i$
Uprzątnięcie odpadów zrębowych zgrab.	C-360	2,03	7,95	1,80	9,43	1,58	11,31	1,14	17,22
SG-2,5	902	1,99	10,91	1,54	13,22	1,54	16,19	1,11	25,47
Orka pługiem	C-360	1,42	13,93	1,26	16,00	1,11	18,56	0,80	26,90
LPz-75	902	1,39	19,06	1,23	22,25	1,08	26,32	0,78	39,20
Spulchnianie pogłę- biaczem L-01	C-360	1,42	13,16	1,26	15,16	1,11	17,62	0,80	25,64
	902	1,39	17,19	1,23	20,36	1,08	24,40	0,78	37,19
Sadzenie sadzarką L-76 po uprzednim spulch.	C-360	1,42	12,90	1,26	15,02	1,11	17,64	0,80	26,15
	902	1,39	16,95	1,23	20,23	1,08	24,40	0,78	37,60
Sadzenie sadzarką L-76 bez uprzed- niego spulch.	C-360	1,42	14,44	1,26	15,56	1,11	19,18	0,80	27,70
	902	1,39	19,37	1,23	22,65	1,08	26,82	0,78	40,02
Orka dwurzędowym pługiem ślimakowym	C-360	2,84	10,92	2,52	12,04	2,22	13,37	1,60	17,61
Orka i spulchnianie pługogłębiaczem	902	1,39	22,30	1,23	25,57	1,08	29,73	0,78	42,91

Charakterystyczną cechą pracujących na powierzchni leśnej agregatów jest stosunkowo małe zapotrzebowanie mocy. Jest to wynikiem niewielkich prędkości roboczych, możliwych do rozwinięcia w warunkach nie karczowanych powierzchni leśnych. W analizowanym procesie przy orce pługiem LPz-75 do pokonania oporów gleby wystarczająca jest moc 4,35 kW. Uwzględniając jeszcze opory ruchu samych pojazdów, zapotrzebowanie mocy w najbardziej energochłonnej fazie pracy agregatu — wyorywania bruzdy — wynosi ok. 8,0 kW — gdy orka wykonywana jest ciągnikiem Ursus C-360 i 8,9 kW — ciągnikiem Ursus 902. Podobnych wartości przeciętnej mocy wymagają: spulchnianie i sadzenie, natomiast jeszcze mniejsze — zgrabianie odpadów zrębowych. Tylko orka dwurzędowym pługiem ślimakowym, który jest maszyną czynną, w fazie pracy wymaga mocy ok. 22,4 kW, przy czym, jak wynika z założenia, napęd samych bębnow pochłania 20 kW.

W pracach odnowieniowych doboru środka napędowego należy więc dokonywać z punktu widzenia zagwarantowania dostatecznej siły uciągu.



Ryc. 3. Bilans energii przy odnawianiu lasu w przypadku, gdy maszyny są agregowane z ciągnikiem Ursus C-360 a odnawiana powierzchnia znajduje się w odległości 10 km od miejsca garażowania

$Q_1$  — energia zużywana na efektywną pracę maszyn,

$Q_2$  — energia zużywana na pokonanie oporów toczenia ciągnika na powierzchni leśnej,

$Q_3$  — energia zużywana na pokonanie oporów toczenia agregatu na trasie dojazdu i powrotu z powierzchni do miejsca garażowania

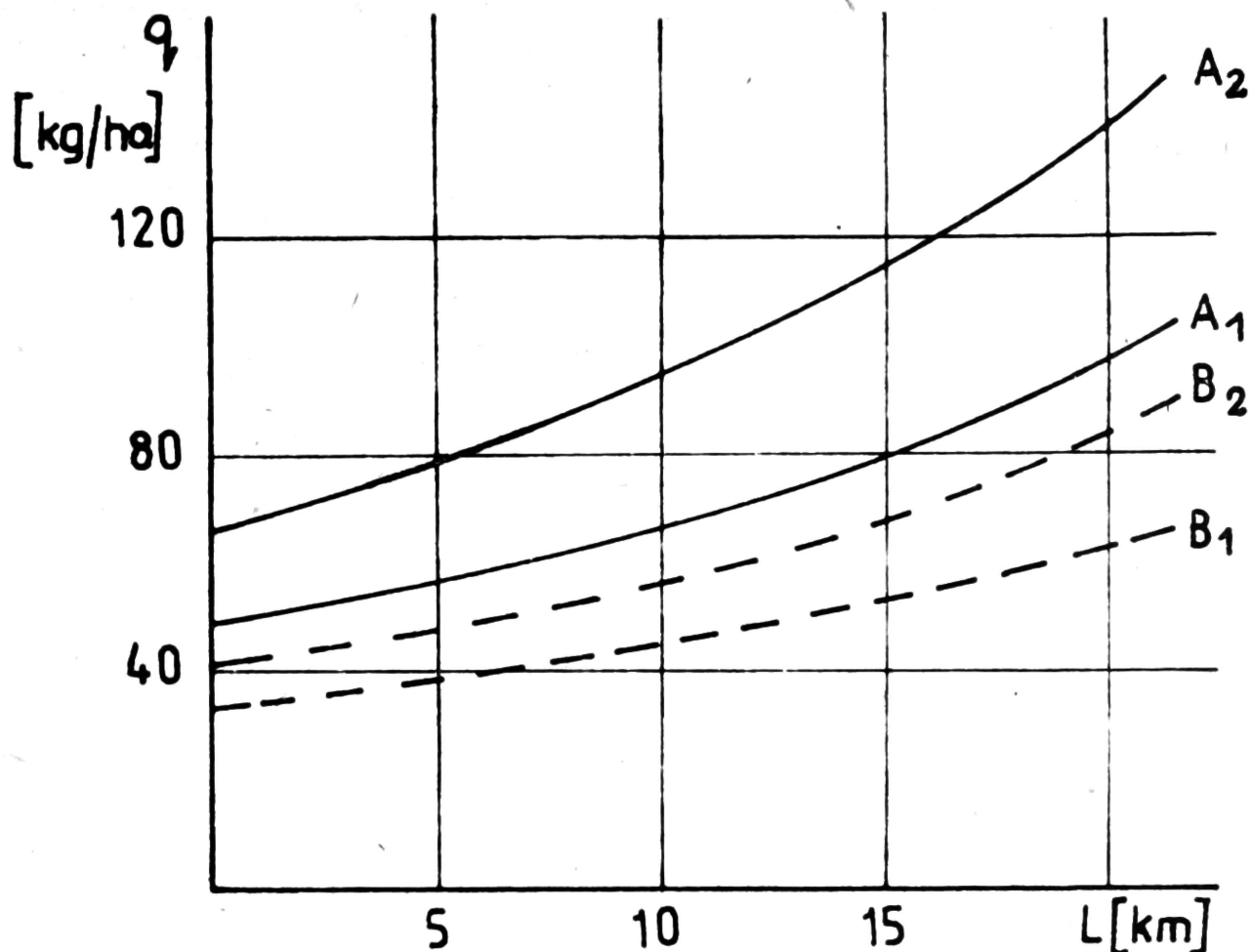
W takich warunkach zagregatowanie maszyny z ciągnikiem o większej mocy nie daje żadnych korzyści. Wręcz przeciwnie, ponieważ większej mocy silnika towarzyszy na ogół większa masa pojazdu, wymaga to odpowiednio większej energii na samoprzemieszczanie się zarówno w fazach dojazdu i powrotu, jak i ruchu na powierzchni, a to z kolei prowadzi do zwiększonego zużycia paliwa. Np. zastosowanie do orki pługiem LPz-75, w tych samych warunkach, ciągnika Ursus 902 zamiast C-360 powoduje zwiększenie zużycia paliwa, gdy  $L=0$  o 5,13 kg/ha, co stanowi wzrost o 37%, a gdy  $L=20$  km o 12,30 kg/ha, co stanowi wzrost o 46%. Tak duża zależność od parametrów ciągnika jest wynikiem dużego udziału energii niezbędnej na pokonanie oporów toczenia agregatu.

Na ryc. 3 przedstawiono przykładowo bilans energii zużywanej na odnowienie lasu w przypadku, gdy powierzchnia oddalona jest od miejsca garażowania agregatu  $L=10$  km, a środkiem napędowym — ciągnik Ursus C-360. Praca efektywna maszyny pochłania tylko 45,6%, dojazd do powierzchni i powrót — 26,6%, a przemieszczanie samego ciągnika na powierzchni (łącznie z nawrotami) — 27,8% energii całkowitej. Doboru ciągnika należy więc dokonywać bardzo rozważnie. Z ciągnika o większej masie należy korzystać tylko wtedy, jeśli mniejszy z posiadanych nie zapewnia dostatecznej siły ucięcia.

Bardzo duży wpływ na zużycie paliwa przy odnawianiu lasu ma odległość powierzchni od miejsca garażowania agregatu. Porównując zestawione w tabeli wartości zużycia paliwa dla różnych odległości  $L$  można zauważyć, że gdy  $L=20$  km dojazd i powrót agregatu z powierzchni wymaga takiej samej ilości paliwa jak prace wykonywane bezpośrednio na powierzchni zrębowej (dla  $L=0$ ), a w przypadku uprzątania odpadów — nawet więcej. W tej sytuacji niezwykle ważna jest organizacja pracy agregatu. Należy dążyć do tego, by codzienny dojazd był możliwie jak najkrótszy. W NRD gospodarstwa leśne dysponują nawet przewoźnymi, blaszanymi garażami, które ustawiane są w pobliżu miejsca pracy i w ten sposób niemal całkowicie eliminują straty energii na dojazd agregatu. W tym przypadku najczęściej konieczny jest dowóz obsługi, odbywa się to jednak innym, znacznie mniej energochłonnym środkiem transportu.

Energochłonność odnawiania lasu zależy także od zastosowania właściwego wariantu technologicznego i odpowiednich maszyn. Oczywiście, jeśli warunki odnawiania lasu umożliwiają wyeliminowanie którejś z operacji, to należy ten fakt wykorzystać, gdyż oszczędności z tego powodu będą znaczne. Na ryc. 4 przedstawiono przykładowe efekty zużycia paliwa poniesione na odnowienie lasu, zrealizowane według dwóch wariantów. Pierwszy (A) przewidywał zrealizowanie wszystkich czterech operacji, drugi (B) — wyeliminowanie spalchniania, a wyoranie brzdów dwurzędowych pługiem ślimakowym. Różnice są bardzo duże, szczególnie w wypadku zagregatowania zgrabiarki i sadzarki z ciągnikiem Ursus 902. Np., gdy dojazd do powierzchni wynosi 20 km, odnowienie 1 ha lasu według wariantu  $A_2$  wymaga prawie 140 kg oleju napędowego, a wg wariantu  $B_2$  — ok. 83 kg. Wariant pierwszy jest więc o 69% bardziej energochłonny niż drugi. Jest to w części wynikiem zastosowania nowej konstrukcji pługa — oszczędność z tego tytułu wynosi 21,59 kg oleju napędowego, ale przede wszystkim rezygnacji ze spalchniania brzdów, co





Ryc. 4. Zużycie paliwa dla dwóch wariantów technologicznych odnawiania lasu maszynami agregatowymi i ciągnikami Ursus: C-360 (A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>) i 902 (A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>)  
 Wariant A: zgrabiarka SG-2,5, pług LPz-75, pogłębiacz L-01, sadzarka L-76  
 Wariant B: zgrabiarka SG-2,5, pług ślimakowy dwurzędowy, sadzarka L-76

pozwała zaoszczędzić 37,19 kg paliwa. Z tego wynika, że zasadą powinno być rozważne planowanie procesu technologicznego. Zgrabianie lub spulchnianie nie zawsze jest konieczne, a na niektórych powierzchniach możliwa jest także praca sadzarki bez konieczności uprzedniego wyorania brzd.

Przeprowadzone obliczenia nakładów energii pozwalają także zwrócić uwagę na pożądane kierunki rozwoju maszyn do odnawiania lasu. W tabeli podano efekty ewentualnego zastosowania dwóch nowych maszyn: pługopogłębiacza i dwurzędowego pługa ślizgowego. Pługopogłębiacz, ze względu na zwiększone opory ruchu, będzie musiał być agregatowany z ciągnikiem Ursus 902. Jeśli pług LPz-75 i pogłębiacz L-01 będą zawieszane także na tym odcinku, to przy  $L=0$  korzyści wynikające z zastosowania pługopogłębiacza wyniosą 14,95 kg/ha oleju napędowego, ale jeśli byłyby zawieszane na ciągniku Ursus C-360, to oszczędności wyniosą tylko 4,79 kg/ha. Przy większym oddaleniu powierzchni korzyści stają się bardziej widoczne.

Dwurzędowy pług ślimakowy w fazie orki wymaga zaangażowania większej energii niż pług LPz-75, ale znacznie mniejszej siły uciągu. Dlatego nawet w trudniejszych warunkach do jego napędu wystarczający będzie ciągnik Ursus C-360. Możliwość wyorania za jednym prze-

jazdem dwu bruzd powoduje, że pług ten jest mniej energochłonny niż LPz-75, szczególnie gdy ten ostatni musi być zagregatowany z ciągnikiem Ursus 902. Dodatkową zaletą pługa ślimakowego jest dwukrotnie większa wydajność pracy.

#### 4. WNIOSKI

Analiza nakładów energetycznych, niezbędnych do pracy przy odnawianiu lasu, potwierdza dużą energochłonność procesu. Stosowana obecnie technologia do zrealizowania procesu wymaga od 2000 do 6000 MJ/ha odnawianej powierzchni zależnie od środka energetycznego i oddalenia powierzchni od miejsca garażowania. Jeśli przyjąć, że na 1 ha wysadza się ok. 15 000 sadzonek, to energochłonność jednej sadzonki wynosi od 140 do 400 kJ. Zbyt duży udział w bilansie energetycznym mają nakłady na pokonanie oporów toczenia agregatów. Przy tradycyjnej technologii i odległości dojazdu do powierzchni 10 km pochłaniają one w najlepszym przypadku 54,4% energii.

Działania energooszczędne powinny więc polegać na:

- 1) zmniejszaniu odległości dojazdu agregatu do odnawianej powierzchni,
- 2) agregatowaniu maszyn z możliwie jak najlżejszymi ciągnikami,
- 3) wprowadzaniu do realizacji procesu maszyn wielooperacyjnych i wielorzędowych.

#### LITERATURA

1. Kuczewski J., Majewski Z.: Eksploatacja maszyn rolniczych. T. I. Warszawa: PWRiL 1983.
2. Misztal A.: Badanie oporów ruchu dwuodkładnicowego zawieszzonego pługa leśnego LPz-75. Praca magisterska. SGGW-AR, Wydział TRiL 1983.
3. Nowacki T.: Technologia prac maszynowych w rolnictwie. Warszawa: PWRiL 1978.
4. Szaga W.: Badanie oporów ruchu pogłębiacza leśnego w warunkach eksploatacyjnych. Praca magisterska. SGGW-AR, Wydział TRiL 1983.
5. Więsik J.: Wpływ konstrukcji pługa leśnego na jakość orki i sposób pokonywania przeszkód. Działalność Zakładu Mechanizacji Leśnictwa w okresie 1957—1982. Warszawa: Wyd. SGGW-AR 1983.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 25 marca 1986 r.

## Краткое содержание

Возобновление деса является одним из наиболее трудоёмких процессов лесного производства. Настоящая работа является попыткой выяснения какие факторы имеют решающее влияние на количество поглощаемой энергии и какие мероприятия должны предприниматься для создания условий реализации процесса с меньшей энергоемкостью.

Для анализа принято, что процесс лесовозобновления состоит из четырёх операций: уборка лесосечных отходов, вспашка борозд, рыхление борозд и посадка, все выполняются при помощи машин агрегированных с тракторами Урсус С-360 или 902. Затраты энергии составляло использованное этими тракторами топливо. Его количество рассчитано на основании использованной мощности, продолжительности данного состояния нагрузки и характеристики двигателя (рис. 2).

Затраты энергии на отдельные операции были сопоставлены в таблице; учитывают они разные расстояния возобновляемой площади от места гаража. Основными факторами решающими о количестве использованного топлива являются: масса трактора, расстояние возобновляемой площади от места гаража и конструкция применяемой машины. Меньшую энергоёмкость процесса можно получить путём: сопряжения машин с трактором как можно меньшей массы, приближение места гаражирования агрегата к возобновляемой площади и применение многооперационных или многорядных машин.

## Summary

The regeneration of forest is one of the most energy-consuming processes in the forest production. This elaboration is a trial of explanation which factors have the decisive influence on the quantity of consumed energy and which ones activities should be undertaken to reduce the energy expenditure in the process of regeneration.

It was assumed that the process of forest regeneration involves four operations: removal of cutting waste, ploughing of furrows, cultivation of furrows and planting, all made with the use of machines aggregated with tractors Ursus C-360 or 902. The energy expenditure was expressed in the fuel consumption by these tractors. Its quantity was calculated on the base of engaged power, duration of given state of charge and characteristic of engine (fig. 2).

The energy expenditure for particular operations is drawn up in a table, it takes into account different distances of regenerated areas from the place of garaging. The main factors deciding on the quantity of consumed fuel are as follows: mass of the tractor, distance of regenerated area from garaging place and construction of applied machine. A lower expenditure of energy of the process can be obtained by: aggregation of machines with a tractor of possibly low mass, bringing nearer the place of garaging the aggregate to regeneration area and application of multifunctional or many-rowed machines.