

ANALIZA WPŁYWU DŁUGOŚCI DNIA ROBOCZEGO NA WYNIKI EKONOMICZNE PRACY MASZYN LEŚNYCH

Tomasz Nurek

Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Opłacalność pozyskiwania drewna za pomocą harwesterów uwarunkowana jest wieloma czynnikami. Wśród nich można wymienić te związane z warunkami przyrodniczo leśnymi panującymi na danej powierzchni leśnej, związane z parametrami maszyny oraz umiejętnościami operatora ale także z organizacją pracy zarówno na samym zrębie jak i organizacją całego dnia roboczego. Istotnym czynnikiem wydaje się między innymi długość dnia roboczego. Wydłużenie dniówki może wpływać na poprawę wykorzystania maszyny a co się z tym wiąże obniżeniem jednostkowych godzinowych kosztów jego pracy. Odrębnym zagadnieniem jest jednak wpływ czasu dniówki na strukturę wykorzystania dnia roboczego. Obliczenia symulacyjne przeprowadzone na rzeczywistych danych uzyskanych z trzech nadleśnictw pozwoliły stwierdzić, że zwiększając czas trwania dnia roboczego o 2 godziny (z 8 do 10 godzin) możemy oczekiwać zmniejszenia kosztów realizacji zadań o około 5-9%.

Słowa kluczowe: pozyskanie drewna, harwester, wydajność pozyskania drewna

Wprowadzenie

Zastosowanie maszyn o dużej wydajności w polskich lasach staje się faktem. W coraz większym stopniu do pozyskiwania drewna wykorzystywane są harwestery a do jego zrywki specjalistyczne ciągniki nasiębierne – forwardery. Ich użytkowanie niesie za sobą wiele korzyści. Można tu mówić o zmniejszeniu negatywnego oddziaływania tych maszyn na środowisko. Niektórzy autorzy podkreślają wprawdzie fakt ugniatania gleby kołami maszyn czy też kaleczenie drzew, jednakże jak pokazują ostatnie badania [Hys 2007] wpływ ten nie ma większego znaczenia na jakość drzewostanów. Ważnym czynnikiem przemawiającym za stosowaniem wysokowydajnych maszyn jest również znacząca poprawa komfortu i bezpieczeństwa pracy operatorów oraz podniesienie jakości pozyskiwanego surowca drzewnego [Moskalik 2002].

W gospodarce rynkowej o wyborze sposobu realizacji prac w największym stopniu decyduje jednak koszt wykonania robót. Koszty, które w przypadku wysokiego stopnia mechanizacji prac są niejednokrotnie kilkakrotnie wyższe od kosztów pozyskania i zrywki drewna bardziej tradycyjnymi metodami, są istotnym hamulcem bardziej powszechnego stosowania harwesterów i forwarderów [Więsik 1999]. Wynikają one w największym stopniu z bardzo wysokiej ceny tych maszyn. Na wykonawcach prac leśnych, ale również na administracji leśnej spoczywa, więc obowiązek takiej organizacji robót aby zminimalizować koszty jednostkowe pozyskania lub zrywki drewna. Wielu autorów podejmowało tą

tematykę wykazując wpływ wielu czynników na efekty ekonomiczne pracy maszyn o dużej wydajności. Niniejszy materiał, który jest wynikiem bardziej kompleksowych analiz prezentuje wyniki badań symulacyjnych poświęconych jednemu tylko czynnikowi organizacyjnemu, jakim jest długość dnia roboczego.

Materiał i metody

Ze wstępnych analiz wynika, że praca maszyn w wydłużonym wymiarze godzinowym (dziennym) może wpływać korzystnie na osiąganą przez nią wydajność eksploatacyjną a co za tym idzie również na koszty jednostkowe pozyskania lub zrywki drewna [Więsik, Nurek 2002]. Powodem tego może być poprawa struktury wykorzystania dnia roboczego. Przyjmując bowiem, że dana maszyna ma zagwarantowany front pracy na konkretnej powierzchni leśnej powinniśmy zadbać o to, aby jak największą część dnia roboczego poświęcała ona na wykonywanie operacji technologicznych. Czas jednodniowych przejazdów na powierzchnię roboczą powinien zatem przypadać na jak najdłuższy czas pozyskiwania lub zrywki drewna. Czynniki te nie mają większego znaczenia w krajach, w których maszyny robocze pozostawia się w miejscu ich pracy. Można wtedy uznać, że niemal cały czas dniówki (po odliczeniu przerw na regenerację sił, potrzeby fizjologiczne oraz drobne naprawy i regulacje maszyny) zajmuje wykonywanie czynności operacyjnych. W Polsce jednak maszyna codziennie musi dojeżdżać na powierzchnię leśną z miejsca postoju i powrócić do niej po zakończeniu dnia roboczego. Jak wykazały badania odległości pomiędzy powierzchniami, na których wykonywane są zadania, a bazami mogą dochodzić nawet do kilku kilometrów co biorąc pod uwagę niezbyt dużą prędkość przejazdu maszyn po drogach leśnych może skutkować nawet godzinnymi czasami dziennych przejazdów. Dotychczas nie przedstawiono w literaturze odpowiedzi na pytanie jak duży jest udział czasu przejazdów w czasie dnia roboczego oraz w jakim stopniu i czy w każdym przypadku wydłużanie dnia roboczego wpływa korzystnie na końcowe efekty ekonomiczne pracy maszyn o dużej wydajności.

Zbadania wpływu długości dnia roboczego na strukturę wykorzystania dniówki podjęto się w Zakładzie Mechanizacji Leśnictwa SGGW. W tym celu stworzono model symulacyjny, który umożliwia przeanalizowanie realizacji zadań położonych na określonych obszarach. Istotną cechą tego modelu jest uwzględnienie wszystkich zadań przewidzianych do realizacji na danym terenie. Takie podejście pozwoli na określenie wpływu czasu eksploatacyjnego dnia roboczego na efektywność pracy maszyn w ujęciu długookresowym (roku gospodarczego w nadleśnictwach). Opisany model wyodrębnia kilka faz (stanów) maszyny, w których może się ona znajdować w trakcie realizacji zadań, można im przypisać następujące czasy: T_{02} – czas operacyjny maszyny, T_{61} – czas przejazdów bezpośrednich pomiędzy zadaniami, T_{62} – czas przejazdów pomiędzy zadaniami a bazami, T_{35} – czas przerw, T_{71} – czas rozpoznania zadań, T_{72} – czas rozpoznania baz, T_{73} – czas niewykorzystany.

Przy takim podejściu całkowity czas eksploatacyjny poświęcony na realizację wszystkich zadań wyniesie: $T_{07} = T_{02} + T_{61} + T_{62} + T_{35} + T_{71} + T_{72} + T_{73}$ [h].

Na uwagę zasługują dwie wyróżnione fazy, które dotychczas nie były brane pod uwagę przez badaczy – fazy rozpoznania zadań i baz. Nie są to fazy produkcyjne, lecz jak pokazują obserwacje terenowe niezbędne do prawidłowej i bezpiecznej realizacji zadań.

Założono trzy warianty obliczeń odpowiadające długości dnia roboczego ($T_{07}=8, 10$ i 12 godzin). Stworzony model pozwala obliczyć nie tylko operacyjny czas pracy maszyn, ale również czasy wszystkich pozostałych wyróżnionych faz dnia roboczego. Algorytm wykorzystuje w obliczeniach rzeczywiste dane pobrane z baz danych Systemu Informatycznego Lasów Państwowych, przy czym dane te obejmują zarówno szczegółową charakterystykę poszczególnych zadań z zakresu pozyskania drewna, ale również współrzędne położenia każdego z nich. Posłużono się bazą danych trzech nadleśnictw, w których panują różne warunki przyrodniczo leśne. Dzięki takim właśnie danym możliwe stało się obliczenie czasów przejazdów maszyn oraz przeanalizowanie wpływu długości dnia roboczego na efekty ekonomiczne pracy maszyn. W prezentowanych w poniższym tekście badaniach ograniczono się jedynie do efektów pracy harwestera.

Wyniki badań i ich analiza

Do badań symulacyjnych wybrano zadania przewidziane do realizacji w trzech nadleśnictwach. Podstawowe dane zebrano w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka zadań w badanych Nadleśnictwach
Table 1. Description of tasks in the examined Forest District Offices

			Nadleśnictwo A	Nadleśnictwo B	Nadleśnictwo C
Powierzchnia całkowita	S_o	ha	135 000,0	74 729	37 580
Powierzchnia leśna	S_l	ha	16 347,32	23 000	14 690
Lesistość		%	12	30,8	39
Całkowite pozyskanie	Q_c	m^3	10 750	47 692,7	25 871
Liczba zadań	n_z		139	369	312
Średnia wielkość zadania		m^3	77,0	129	85,8
Udział rębni	γ_r	%	62,9	41,2	23,0
Wskaźniki intensywności pozyskania na powierzchni administracyjnej	γ	$m^3 \cdot ha^{-1}$	0,080	0,642	0,696

Założono, że miąższość jednego drzewa na zrębach wynosi $0,8 m^3$ a w trzebieżach $0,3 m^3$. Zróżnicowano również czas trwania cyklu – $0,0125 h$ na zrębnie i $0,02 h$ w trzebieżach. Założono dodatkowo, że maszyna porusza się zawsze z prędkością $v=5 km \cdot h^{-1}$, a przerwy na wypoczynek operatora trwają 15% ogólnego czasu dniówki. Dla przeprowadzenia obliczeń ekonomicznych założono również, że w każdym przypadku koszt godziny pracy harwestera wynosi $kj=350,86 zł \cdot h^{-1}$.

Wyniki badań pokazano w tabeli 2. Całkowity czas operacyjny pozyskania jest niezależny od czasu trwania dniówki (8, 10 lub 12 godzin). Dla kolejnych nadleśnictw wyniósł on 371,78; 1418,00 i 2141,00 godzin. Oznacza to, że badany harwester osiągnął na badanych obszarach wydajność operacyjną odpowiednio: 28,91; 22,39 i 18,25 m³·h⁻¹. Różnice wydajności operacyjnej wynikają z charakterystyki zadań a w szczególności z wielkości pozyskania realizowanego na zrębach zupełnych i w cięciach trzebieżowych.

Ciekawe rezultaty uzyskano jednak w przypadku eksploatacyjnego czasu realizacji wszystkich zadań – T_{07} . Okazało się, że w każdym przypadku czas ten maleje wraz ze wzrostem czasu dniówki. Wynika to z faktu, że łatwiej i bardziej korzystnie można zagospodarować dzień roboczy w przypadku, gdy liczy on więcej godzin.

Tabela 2. Wyniki eksperymentu symulacyjnego – czas realizacji zadań
Table 2. Simulation experiment results – tasks implementation time

	Nadleśnictwo A			Nadleśnictwo B			Nadleśnictwo C		
	$T_{07}=8$	$T_{07}=10$	$T_{07}=12$	$T_{07}=8$	$T_{07}=10$	$T_{07}=12$	$T_{07}=8$	$T_{07}=10$	$T_{07}=12$
	H								
T_{07}	745,89	705,69	695,86	2510,35	2376,24	2274,12	3370,61	3278,93	3187,92
T_{02}	371,78			1418,00			2141,00		
T_{35}	111,88	105,85	104,97	376,55	356,44	341,12	505,59	491,84	478,19
T_{61}	25,16	20,31	25,45	29,50	31,30	32,10	36,29	40,33	43,95
T_{62}	96,36	74,52	62,48	435,10	332,80	266,40	357,32	276,24	223,64
T_{71}	69,50			156,00			184,50		
T_{72}	38,00			30,00			80,00		
T_{73}	33,21	25,73	23,68	65,20	51,70	30,50	65,91	65,02	36,21

Maszyna może w ciągu dnia wykonać więcej zadań nie wykonując zbędnych przejazdów. Mniej czasu stanowią również niewykorzystane części dniówki (T_{73}). Wydłużenie czasu dnia do 12 godzin skróciło całkowity czas realizacji wszystkich zadań odpowiednio o 50,03; 236,23 i 182,69 godzin, co stanowi odpowiednio 7, 9 i 5% oszczędność czasu całkowitego. Wynik ten przekłada się bezpośrednio na wydajność eksploatacyjną W_{07} – również blisko 10% wzrost dla wydłużonego do 12 godzin dnia pracy w stosunku do dniówki 8 godzinnej. Na uwagę zasługuje fakt stosunkowo niskiej wydajności procesu pozyskania w symulowanych warunkach (również wydajności operacyjnej) co jest związane z niekorzystną strukturą wiekową realizowanych zadań.

Zmiany czasów trwania wyszczególnionych faz pracy maszyny skutkują zróżnicowaniem struktury dnia roboczego. W każdym z analizowanych przypadków wydłużenie dniówki poprawiło wykorzystanie czasu eksploatacyjnego. W przypadku Nadleśnictwa A udział czasu operacyjnego wzrósł z 50 do 53%, Nadleśnictwa B z 56 do 62% a nadleśnictwa C z 64 do 67%. Jak wynika z wyników obliczeń symulacyjnych zamieszczonych w tabeli 3 wzrost udziału czasu operacyjnego wynikał w głównej mierze ze zmniejszenia udziału czasu przejazdów pomiędzy zadaniami a bazami T_{62} . Zaznaczyło się również nieznaczne zmniejszenie udziału czasu niewykorzystanego – o jeden punkt procentowy.

Tabela 3. Wyniki eksperymentu symulacyjnego – struktura czasu realizacji zadań w %
Table 3. Simulation experiment results – the structure of tasks implementation time in %

	Nadleśnictwo A			Nadleśnictwo B			Nadleśnictwo C		
	T_{07}			T_{07}			T_{07}		
	8 h	10 h	12 h	8 h	10 h	12 h	8 h	10 h	12 h
β_{07}	100	100	100	100	100	100	100	100	100
β_{02}	50	53	53	56	60	62	64	65	67
β_{3-5}	15	15	15	15	15	15	15	15	15
β_{61}	3	3	4	1	1	1	1	1	1
β_{62}	13	11	9	17	14	12	11	8	7
β_{71}	9	10	10	6	7	7	5	6	6
β_{72}	5	5	5	1	1	1	2	2	3
β_{73}	4	4	3	3	2	1	2	2	1

Jak wynika z powyższej tabeli produktywnie wykorzystanie dnia roboczego waha się w granicach od 50 do 67%. Różnice te wynikają z cech charakteryzujących poszczególne obszary. Na terenie Nadleśnictwa A wyznaczono do realizacji mniejszą liczbę zadań, a co wynika z dużej powierzchni administracyjnej, odległości pomiędzy tymi zadaniami oraz zadaniami a bazami są większe niż w pozostałych dwóch przypadkach. Najkorzystniejsza lokalizacja zadań miała miejsce w Nadleśnictwie C – duża liczba zadań jest skupiona na stosunkowo niewielkim obszarze. Powoduje to, że odległości pomiędzy kolejnymi miejscami przebywania maszyny są mniejsze.

Koszty jednostkowe pozyskania drewna wynikają bezpośrednio z przedstawionych powyżej czasów trwania poszczególnych faz realizacji zadań. W każdym z badanych nadleśnictw wydłużenie dnia roboczego powodowało ich zmniejszenie. Na pierwszym obszarze o około 7, na drugim o około 5 a na trzecim o około 9%. Uzyskane koszty jednostkowe szczególnie w nadleśnictwach A i B dowodzą, że zastosowanie harwesterów w lasach polskich może być uzasadnione ekonomicznie.

Tabela 4. Efekty ekonomiczne pracy harwestera
Table 4. Harvester operation economic effects

	Nadleśnictwo A			Nadleśnictwo B			Nadleśnictwo C		
	T ₀₇			T ₀₇			T ₀₇		
	8h	10h	12h	8h	10h	12h	8h	10h	12h
Koszt jednostkowy - k _j , zł·m ⁻³	24,35	23,03	22,71	24,66	23,99	23,33	34,04	32,23	30,84

Podsumowanie

Zastosowanie harwesterów wymaga specyficznej organizacji dnia roboczego. Biorąc pod uwagę wysokie koszty nabycia tych maszyn należy dążyć do jak największego ich wykorzystania w ciągu doby. Wydłużenie dobowego czasu pracy maszyn skutkuje skróceniem całkowitego czasu realizacji wszystkich zadań przewidzianych do realizacji na danym obszarze o około 10%. Wynika z tego zwiększenie wydajności eksploatacyjnej pracy harwestera i w efekcie, co jest najważniejsze dla osób odpowiedzialnych za pozyskanie drewna zmniejszenie kosztów jednostkowych. W zależności od cech charakteryzujących obszary nadleśnictw, dla których przeprowadzono analizę symulacyjną wyniosło ono od 5 do 9%. Zaprezentowane wyniki stanowią fragment kompleksowych analiz pracy maszyn o dużej wydajności na obszarach leśnych. Istotną zaletą tych obliczeń jest, jak wspomniano, fakt symulacji realizacji wszystkich zadań wyznaczonych w wybranych nadleśnictwach na dany rok gospodarczy. Pozwoliło to na uwzględnienie stanów maszyn dotychczas nie branych pod uwagę: przejazdów pomiędzy zadaniami i zadaniami a bazami, rozpoznania zadań i baz.

Bibliografia

- Hys E.** 2007. Wpływ zmian właściwości fizycznych gleby wywołanych przejazdami maszyn po powierzchni zrębu zupełnego na cechy drzewostanów sosnowych. praca doktorska Wydział Leśny SGGW. Maszynopis.
- Moskaliński T.** 2002. Ocena efektywności stosowania harwesterów Timberjack 1270 w Polsce. Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych. Z. 486. s. 187-193.
- Więsik J.** 1999. Efektywność wielooperacyjnej maszyny pozyskaniowej (harwestera) w różnych warunkach pracy. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej nr 11. s. 17-20.
- Więsik J., Nurek T.** 2002. Możliwości zastosowania harwesterów w Polsce. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 486. s. 245-252.

DEPENDENCE BETWEEN DURATION OF WORKING SHIFT AND FOREST MACHINES EFFICIENCY

Abstract. Use of modern forest machines is the new factor that must be considered in process of shift duration settlement. Results of simulation experiments (for actual forest area), conducted with assumption of 12 hours duration of shift show that time of fulfillment of all harvesting tasks, scheduled at considered area, can be reduced by 10%.

Key words: wood acquisition, harvester, wood acquisition efficiency

Adres do korespondencji:

Tomasz Nurek; e-mail: tomasz_nurek@sggw.pl
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 164
02-787 Warszawa