

Tomasz Nurek, Arkadiusz Gendek

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Wpływ wybranych czynników logistycznych na wydajność i koszty eksploatacji maszyn leśnych

The impact of selected logistic factors on the efficiency and operational costs of forest machinery

Synopsis. Maszyny stosowane obecnie w procesie pozyskiwania i zrywki drewna osiągają dużą wydajność operacyjną w odniesieniu do ich rzeczywistego czasu pracy. W publikacji opisano najważniejsze czynniki organizacyjne determinujące wydajność eksploatacyjną. Autorzy zwrócili uwagę na rozdrobnienie kompleksów leśnych – mające negatywny wpływ na efekty pracy maszyn o dużej wydajności – oraz na wielkość i lokalizację zadań na terenie nadleśnictwa. Opisane rozważania teoretyczne stały się podstawą do przeprowadzenia wstępnych obliczeń symulacyjnych. Posłużono się w nich informacjami dotyczącymi rodzaju, wielkości oraz lokalizacji zadań w wybranym nadleśnictwie. Biorąc pod uwagę efektywność ekonomiczną wykorzystania nowoczesnych, specjalistycznych, wysokowydajnych maszyn do pozyskiwania drewna, należy zwrócić szczególną uwagę na organizację prac, w tym na rozmieszczenie, wielkość zadań oraz lokalizację miejsc garażowania maszyn.

Słowa kluczowe: czas pracy, organizacja pracy, pozyskiwanie drewna, wydajność

Abstract. Machines currently used in the process of wood harvesting and skidding achieve high operational efficiency, depending on their actual time of operation. The publication describes the most important organizational factors determining operational productivity. The authors pointed out the fragmentation of forest complexes – that have a negative impact on the results of high efficiency machines operation – as well as the size and location of the jobs in the forest district. Described theoretical considerations formed the basis to carry out preliminary simulation calculations. In these calculations following information were used: size and location of the selected tasks in the forest district. Considering the economic efficiency of the use of modern, specialized, high-performance machines for wood harvesting particular attention to the organization of the work should be paid. Most important factors are the distribution and size of the tasks and locations of equipment garage.

Key words: time of operation, organization of work, wood harvesting, operational efficiency

Wstęp

Dokumentem rzutującym na wielkość zasobów leśnych jest Polityka leśna państwa [1997], której istotnym celem jest zwiększenie lesistości kraju do 30% w 2020 roku i do 33% po 2050 roku. Zgodnie z Raportem o stanie Lasów w Polsce [2014] lesistość kraju wynosi obecnie 29,4%. Zwiększanie lesistości Polski poza aspektami przyrodniczymi i ekologicznymi bezpośrednio przekłada się na wzrost podaży drewna użytkowego, a tym samym na zwiększone pozyskanie, zwiększone zapotrzebowanie pracy maszyn i pracy ludzkiej. Towarzyszą temu działania administracji, technologów i konstruktorów maszyn mające na celu poprawę warunków pracy na powierzchniach leśnych, zmniejszenie uciążliwości pracy ludzkiej, obniżenie kosztów realizacji prac oraz zmniejszenie negatywnego działania maszyn na środowisko leśne.

Charakterystyczną cechą wielu procesów technologicznych realizowanych w takich gałęziach gospodarki jak rolnictwo, leśnictwo, drogownictwo czy też gospodarka komunalna jest znaczące przestrzenne rozproszenie zadań oraz ich sezonowość [Nurek 2011]. Zadania te bardzo często są niewielkie, a ich realizacja nie wypełnia w całości jednego dnia roboczego. W takiej sytuacji ogromne znaczenie dla prawidłowego przebiegu prac ma dobra organizacja frontu robót. Mówiąc o prawidłowym przebiegu prac, należy mieć na uwadze osiągnięcie wymaganej jakości realizacji zadań oraz jak najmniejsze koszty ich realizacji.

Jednymi z najbardziej pracochłonnych procesów technologicznych w leśnictwie są prace związane z pozyskaniem i zrywką drewna. Obecnie stosowane w tych procesach maszyny osiągają bardzo duże wydajności operacyjne – odniesione do rzeczywistego czasu pracy [Maksymiak, Grygier 2008, Długosiewicz, Grzebieniowski 2009, Walsh, Strangard 2014]. Dzięki temu możliwe jest osiągnięcie stosunkowo małych kosztów jednostkowych realizacji zadań – kosztów konkurencyjnych w stosunku do tradycyjnych metod pozyskiwania drewna. W wielu krajach [Jiroušek i in. 2007, Walsh, Strangard 2014] o różnej w stosunku do panującej w Polsce strukturze powierzchniowej lasów oraz o innych systemach użytkowania lasu sytuacja ta faktycznie ma miejsce. Nowoczesne maszyny do pozyskania i zrywki drewna charakteryzujące się wysokim stopniem wydajności operacyjnych osiągają równie korzystne wyniki pracy w odniesieniu do całego dnia roboczego. Niestety duże rozdrobnienie i stosunkowo małe powierzchnie kompleksów leśnych, obowiązujące zasady hodowli lasu oraz przyjęte rozwiązania organizacyjne nie pozwalają w pełni wykorzystać zalet nowoczesnych specjalistycznych maszyn w polskich lasach [Nurek 2007, 2008]. Sytuacja ta ma negatywny wpływ na uzyskiwane koszty jednostkowe pozyskania drewna.

Dla uzyskania korzystnych efektów ekonomicznych wskazane wydaje się być wykorzystanie nowoczesnych narzędzi informatycznych do doskonalenia organizacji prac leśnych [Gendek, Nurek 2010, 2012, Nurek 2010, Zhang i in. 2011], szczególnie, że okres produkcyjny obejmuje kilkadziesiąt a nawet ponad 100 lat. Planując pozyskiwanie drewna na podstawie informacji zawartych w leśnych bazach danych, z wykorzystaniem stworzonego modelu, schematu sieci powiązań, a następnie po przeprowadzeniu symulacji, można wyznaczyć optymalne wskaźniki procesu.

Prezentowana analiza stanowi próbę wyjaśnienia oceny wpływu organizacji prac na efektywność procesu pozyskania i zrywki drewna w polskich lasach.

Cel i metodyka

Celem podjętych badań jest określenie i opisanie najważniejszych czynników organizacyjnych determinujących wydajność eksploatacyjną (odniesioną do czasu eksploatacyjnego dnia roboczego) nowoczesnych maszyn wykorzystywanych w polskich lasach. Rozważania obejmować będą dwie grupy maszyn: wielooperacyjne maszyny do pozyskania drewna – harwestery oraz nasiębnierne ciągniki zrywkowe – forwardery. Rozpatrywana będzie praca tych maszyn na obszarze obejmującym podstawową jednostkę gospodarczą funkcjonującą w Polsce (nadleśnictwo) w okresie jednego roku.

Zależność wyrażającą czas dnia roboczego można opisać następującym wzorem [Nurek 2007]:

$$T_{07} = T_{02} + T_{61} + T_{62} \quad (1)$$

gdzie:

- T_{07} – eksploatacyjny czas zmiany roboczej (h),
- T_{02} – operacyjny czas zmiany roboczej (h),
- T_{61} – czas przejazdów pomiędzy zadaniami (h),
- T_{62} – czas przejazdów pomiędzy zadaniem a bazą (h).

Czas operacyjny jest rzeczywistym czasem pracy maszyny i można do niego zaliczyć czasy trwania wszystkich operacji technologicznych. W przypadku ciągnika zrywkowego (forwardera) będzie to czas jazdy ze składnicy przyrzębowej do pierwszego pobieranego surowca, czas pracy żurawia przy załadunku, czas przejazdu między kolejnymi stosami drewna, czas rozładunku. Można uznać, że czasy te są zależne od parametrów technicznych maszyny, wielkości realizowanych zadań oraz od warunków przyrodniczo-leśnych panujących na danej powierzchni. Organizacja pracy ma zatem w tym przypadku mniejsze znaczenie.

Zupełnie inaczej należy ocenić wpływ czynników organizacyjnych na czas trwania przejazdów. Jak pokazują zależności (2) i (3) [Nurek 2007], istotnymi parametrami determinującymi czasy trwania przejazdów jest liczba baz, liczba zadań oraz odległość między kolejnymi miejscami przebywania maszyny – miejscami pracy lub miejscami postoju:

$$T_{61}^c = \frac{n_z \cdot l_{zz} \cdot \eta_{61}}{v_1} \quad (2)$$

$$T_{62}^c = \frac{2 \cdot n_d \times \eta_{62} \times l_{zb}}{10 \cdot v_2} \sqrt{\frac{S_0}{n_b}} \quad (3)$$

gdzie:

- T_{61}^c – czas przejazdów między zadaniami przy wykonywaniu wszystkich zadań (h),
- T_{62}^c – czas przejazdów między zadaniami a bazami przy wykonywaniu wszystkich zadań (h),
- n_z – liczba zadań na danym obszarze,
- n_b – liczba baz,
- S_0 – powierzchnia rozpatrywanego obszaru – nadleśnictwa (ha),

- l_{zz} – odległość między zadaniami (km),
- l_{zb} – odległość między zadaniami a bazami (km),
- η_{61} – współczynnik występowania przejazdów między zadaniami,
- η_{62} – współczynnik przejazdów maszyny między zadaniami a bazami,
- v_1 – prędkość przejazdu między zadaniami (km/h),
- v_2 – prędkość przejazdu między zadaniami a bazami (km/h).

Zarówno liczba wyznaczonych do realizacji zadań, jak i odległość pomiędzy nimi powodują wzrost czasu przejazdów między zadaniami. Czas przejazdów między zadaniami a bazami nie zmienia się tak jednoznacznie. Zwiększanie ich liczby może bowiem skutkować skróceniem czasu przejazdu – baza znajduje się bliżej. Dodatkowych analiz wymagają jednak w takim przypadku czas i w związku z tym także koszty organizacji takiego miejsca.

W celu określenia wpływu badanych parametrów na koszty jednostkowe pracy omawianych grup maszyn obliczono ich wydajność. Posłużono się przy tym dwoma definicjami wydajności wyrażonymi zależnościami: (4) – wydajność eksploatacyjna, (5) – wydajność operacyjna [Nurek 2007]:

$$W_{07} = \frac{Q}{T_{07}} \quad (4)$$

$$W_{02} = \frac{Q}{T_{02}} \quad (5)$$

gdzie:

W_{07} – wydajność eksploatacyjna (m^3/h),

W_{02} – wydajność operacyjna (m^3/h),

Q – wielkość pozyskania (m^3).

Biorąc pod uwagę wzory (2) i (3), wydajności te można opisać formułami [Nurek 2007]:

$$W_{07} = \frac{Q}{T_{02} + T_{61} + T_{62}} \quad (6)$$

$$W_{02} = \frac{Q}{T_{02}} \quad (7)$$

Interpretując je, jednoznacznie można stwierdzić, że wydłużanie czasów przejazdu skutkuje zmniejszeniem wydajności eksploatacyjnej maszyn.

Przedstawione rozważania teoretyczne stały się podstawą do przeprowadzenia wstępnych obliczeń symulacyjnych. Posłużono się w nich informacjami dotyczącymi rodzaju, wielkości oraz lokalizacji zadań w wybranym nadleśnictwie. Wykonano obliczenia dla dwóch przypadków:

- realizacji kolejno zadań najbliżej od siebie położonych,
- realizacji kolejno zadań najbliżej od siebie położonych, ale w zakresie tego samego rodzaju prac.

W drugim wariantcie droga przejazdu do kolejnego zadania wydłużała się.

Wyniki badań i dyskusja

Jak wspomniano, struktura powierzchniowa i rozdrobnienie polskich lasów nie są korzystne z punktu widzenia efektów pracy maszyn o dużej wydajności. Z analizy danych zawartych w opisie map numerycznych uzyskanych z Biura Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej wynika, że lasy państwowe (publiczne), których łączna powierzchnia wynosiła w latach 2006–2007 ok. 7345 tys. ha (całkowita powierzchnia lasów to ok. 9100 tys. ha), są rozmieszczone w 57 798 kompleksach leśnych (tab., rys. 1). Na jeden kompleks przypada średnio ok. 127,1 ha [Nurek 2007, 2008]. Według danych na 31 grudnia 2013 roku [Raport... 2014] powierzchnia lasów w Polsce zajmuje 9177,2 tys. ha, z czego 81,2% czyli ok. 7451 tys. ha, zajmują lasy publiczne.

Tabela 1. Liczba, wielkość i struktura kompleksów leśnych w Polsce

Table 1. Number, size and structure of forest areas in Poland

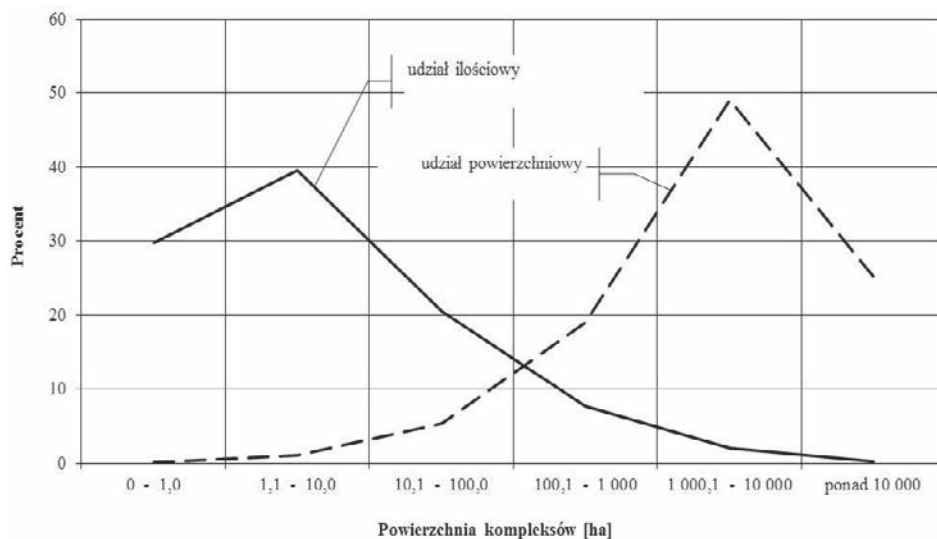
Zakres powierzchni kompleksów leśnych	Sumaryczna powierzchnia kompleksów leśnych	Struktura powierzchniowa	Liczba kompleksów leśnych	Struktura ilościowa
ha	ha	%	szt.	%
0–1,0	7 379,94	0,10	17 249	29,84
1,1–10,0	85 248,40	1,16	22 892	39,61
10,1–100,0	392 826,46	5,35	11 866	20,53
100,1–1 000	1 401 458,01	19,08	4 484	7,76
1 000,1–10 000	3 608 640,23	49,13	1 177	2,04
ponad 10 000	1 849 107,35	25,18	130	0,22
Razem	7 344 660,39	100,00	57 798	100,00

Źródło: Nurek [2007].

Największą powierzchnię (49,13%) stanowią kompleksy o powierzchni od 1000,1 do 10 000 ha. Nieco ponad 74% całkowitej powierzchni znajduje się w kompleksach o powierzchni powyżej 1000 ha, a jedynie 6,6% w kompleksach 100 ha i mniejszych. Odwrotnie przedstawia się struktura ilościowa kompleksów, gdyż 90% wszystkich kompleksów ma powierzchnię do 100 ha, a nieco ponad 2% większą od 1000 ha.

Taka struktura kompleksów leśnych determinuje w znaczącym stopniu warunki pracy maszyn leśnych w naszym kraju. Duża liczba małych kompleksów wymusza bowiem konieczność przerzucania maszyny do zadań położonych w sąsiednim lub nawet bardziej odległym kompleksie. Oznacza to straty czasu operacyjnego, a w wyniku tego zmniejszenie dobowej wydajności pracy maszyny.

Oprócz dużego rozdrobnienia kompleksów leśnych, mającego negatywny wpływ na efekty pracy maszyn o wysokiej wydajności należy zwrócić uwagę na wielkość i lokalizację zadań na terenie nadleśnictwa. Obowiązujące w Polsce zasady hodowli lasu preferują prowadzenie pozyskania drewna na małych powierzchniach. Najbardziej popularna jest rębnia gniazdowa, która zakłada wycięcie drzewostanu na powierzchni 20–30 ar. Zadanie na takiej powierzchni może być zrealizowane przez nowoczesny harvester w niespełna 30 min. Po jego zakończeniu maszyna musi przemieścić się na kolejną powierzchnię na odległość w granicach od kilkuset metrów do nawet kilkunastu kilometrów. Plan przykładowego nadleśnictwa z naniesionymi kompleksami leśnymi oraz wyznaczonymi zadaniami gospodarczymi przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 1. Ilościowa i powierzchniowa struktura kompleksów leśnych w Polsce

Figure 1. Quantitative and spatial structure of forest areas in Poland

Źródło: Nurek [2007].

Rysunek planu pokazuje sumaryczny efekt dwóch omawianych czynników na lokalizację zadań i odległości między nimi. Na odległości te z jednej strony wpływa rozproszenie kompleksów leśnych, z drugiej zaś rozrzucenie zadań w obrębie kompleksu. Praktyka leśna pokazuje także, że nie w każdym przypadku kolejność realizacji zadań sprzyja zmniejszeniu odległości przejazdu maszyn. Nie jest regułą, że kolejnym w czasie realizowanym zadaniem jest to położone najbliżej poprzedniego.

Wpływ organizacji pracy, a w szczególności dwóch omawianych czynników na efekty pracy maszyn wyjaśnić można, budując model matematyczny, który opisywać będzie podstawowe relacje między głównymi obiektami systemu realizacji prac leśnych: maszyna (jej wydajność operacyjna), lokalizacja zadań (odległość pomiędzy zadaniami), lokalizacja baz postoju maszyn (odległość pomiędzy zadaniem a bazą).

Praca maszyn leśnych ma charakter cykliczny, przy czym na cykl roboczy składają się wykonywane operacje i czynności pomocnicze. Na wydajność eksploatacyjną pracy mają wpływ również inne fazy procesu, jakie musi wykonać maszyna i jej operator, aby proces mógł być zrealizowany.

W dostępnej literaturze związanej z użytkowaniem maszyn leśnych dzienny czas pracy maszyny ogólnie dzieli się na [Botwin 1993, Nurek 2010, Gendek i in. 2012]:

- czas operacyjny zmiany,
- czas obsługi technicznej maszyny,
- czas usuwania usterek technicznych i technologicznych,
- czas odpoczynku i przerw fizjologicznych,
- czas przejazdów transportowych przy dojazdach na powierzchnie leśne (baza – powierzchnia – baza) i przy zmianach między zadaniami (powierzchnia – powierzchnia).



Rysunek 2. Kompleksy leśne z wyznaczonymi zadaniami w przykładowym nadleśnictwie

Figure 2. General economic assignment plan for exemplary forest district

Źródło: Nurek [2007].

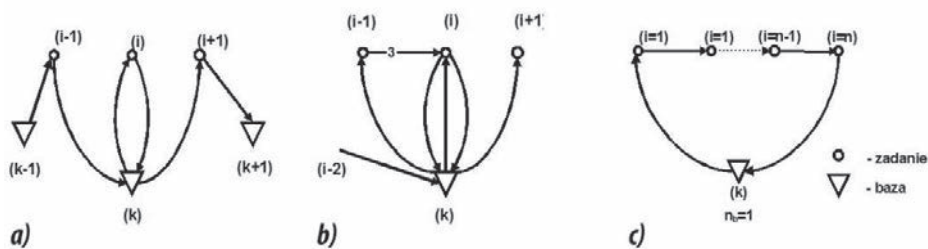
W niniejszym opracowaniu pod uwagę wzięto jedynie podstawowe fazy: czas operacyjny oraz przejazdy maszyn. Analizując pracę maszyny podczas jednego dnia roboczego, można wyróżnić trzy sytuacje, a między nimi następujące stany:

- przejazd maszyn z bazy nocnego postoju do pierwszego realizowanego w danym dniu zadania,
- jeżeli zadanie zostanie ukończone przed końcem dniówki roboczej to maszyna przemieszcza się do kolejnego zadania,
- jeżeli zadanie nie zostanie ukończone przed końcem dniówki roboczej to maszyna wraca do bazy; w przypadku gdy jest to jedyne zadanie realizowane w danym dniu, to wraca do tej samej bazy, a gdy jest to już kolejne w danym dniu zadanie, wraca do tej samej bazy lub bazy najbliższej realizowanemu zadaniu.

Jak wynika z powyższych sformułowań, założono, że maszyna nie może pozostawać w nocy na powierzchni leśnej.

Na rysunku 3 przedstawione zostały szczególne przypadki tras przejazdów w czasie dnia roboczego. Gdy po zakończeniu realizacji każdego zadania (przy ograniczonym czasie zmiany roboczej) pozostaje operatorowi tylko czas na przejazd do bazy, w ciągu dnia roboczego nie występują przejazdy bezpośrednie między zadaniami (rys. 3a). Jest to przypadek szczególny, kiedy wielkość zadania jest zbliżona do dziennej wydajności harwestera.

Na rysunku 3c przedstawiony został przypadek, gdy maszyna po każdym dniu pozostaje w miejscu zakończenia pracy na powierzchni leśnej – nie zjeżdża do bazy noclegowej. W okresie realizacji wszystkich zadań występują tylko dwa przejazdy maszyny między bazą a zadaniami – dojazd do pierwszego zadania i zjazd do bazy po zakończeniu ostatniego. Taka organizacja jest trudna do zastosowania w Polsce ze względu na obawy o bezpieczeństwo maszyny. Przy założeniu, że maszyny nie można pozostawić po zakończeniu zmiany roboczej na powierzchni leśnej, występują przypadki przejazdów zarówno pomiędzy zadaniami, jak i pomiędzy zadaniem a bazą (rys. 3b).



Rysunek 3. Trasy przejazdów harwestera w ciągu dnia roboczego – opis symboli w treści

Figure 3. Harvester transit routes during work-day – description of symbols in text

Źródło: Nurek [2007].

Podstawowym kryterium doboru wysokowydajnych maszyn do realizacji zadań związanych z pozyskiwaniem biomasy leśnej są czynniki ekonomiczne, w tym efektywność wykorzystania w danych warunkach leśnych. Pojęcie efektywności należy rozumieć jako wydajność eksploatacyjną i jednostkowe koszty pracy.

Istnieje wiele barier utrudniających wykorzystanie maszyn wielooperacyjnych. Wśród nich można wyróżnić rozproszenie surowca na dużym obszarze, niewielkie „zagęszczenie” surowca na powierzchniach leśnych, duży udział kosztów transportu (duże odległości, maszyny nie mogą poruszać się po drogach publicznych), zmienność parametrów drzewostanów (gatunek, wiek, wysokość, średnica, ugałęzienie, zadrzewienie).

Zatem warunkiem koniecznym do uzyskania wymiernych korzyści z zastosowania maszyn przy pozyskiwaniu i zrywce drewna jest przygotowanie na stosunkowo niewielkim obszarze możliwie dużego frontu prac i wyeliminowanie jak największej liczby przejazdów maszyn leśnych. Możliwe jest to poprzez wyznaczanie wielkoobszarowych zrębów zupełnych, co niestety jest sprzeczne z polityką wielofunkcyjnej gospodarki leśnej preferująca zręby na małych powierzchniach.

W przypadku pozyskiwania drewna na dużych powierzchniach maszyna może przez dłuższy okres (np. kilka dni) przebywać w danym obszarze prac. Okres ten jest zależny od wielkości przygotowanego frontu robót. Jeśli występuje dodatkowo możliwość pozostawiania maszyny na powierzchni leśnej w okresie postoju nocnego, czasy przejazdów między zadaniami i bazami można uznać za nieistotne. Taka organizacja pracy ma często miejsce w innych państwach (kraje skandynawskie). W polskich warunkach system realizacji zadań na rozdrobionych powierzchniach powoduje zmniejszanie wydajności pracy maszyn ze względu na duży udział czasów przejazdów między zadaniami i bazami.

Uzyskane dotychczas wyniki analiz oraz rozważań teoretycznych wskazują na znaczące możliwości poprawy wydajności maszyn wielooperacyjnych i forwarderów użytkowanych w polskich lasach. Podstawowym i już testowanym w terenie rozwiązaniem jest koncentracja zadań. Celowym byłoby np. zwiększenie intensywności prac pozyskaniowych (również trzebieżowych) w wybranej części (obrębnie) nadleśnictwa, nie wykonując na jego pozostałej części w danym roku żadnych prac. Wydaje się, że rozwiązanie takie poprawiające wydajność pracy maszyn (większe zadania, mniejsze odległości) mogłoby być również zaakceptowane z hodowlanego punktu widzenia. W stuletnim cyklu produkcji leśnej przesunięcie trzebież później lub pozyskania o jeden czy dwa lata nie ma zasadniczego wpływu na stan drzewostanu oraz ilość i jakość pozyskiwanego surowca drzewnego.

Podsumowanie i wnioski

Biorąc pod uwagę efektywność ekonomiczną wykorzystania nowoczesnych, specjalistycznych, wysokowydajnych maszyn do pozyskiwania drewna, należy zwrócić szczególną uwagę na organizację prac, w tym na rozmieszczenie, wielkość zadań oraz lokalizację miejsc garażowania maszyn. Straty czasu wynikające z niepełnego wykorzystania zmiany roboczej wynikają głównie z realizacji małych zadań rozrzuconych na znacznym obszarze całego nadleśnictwa. Kolejne zadanie w czasie zmiany roboczej może być rozpoczęte pod warunkiem zakończenia zadania wykonywanego i przejazdu na kolejną powierzchnię.

Ważnym z punktu widzenia efektywności maszynowego pozyskania drewna zagadnieniem w warunkach polskiego leśnictwa jest organizacja miejsca garażowania i zabezpieczenia maszyny w godzinach nocnych. Dla zminimalizowania czasów dojazdu baza – powierzchnia – baza miejsca takie powinny być lokalizowane możliwie jak najbliżej po-

wierzchni realizowanych zadań. Bardzo często na miejsce garażowania wybierane są osady leśne (leśniczówki), które przypadają jedna na ok. 1000–2000 ha powierzchni leśnej.

Wstępne wyniki badań symulacyjnych wskazują, że poddana analizie zmiana organizacji prac leśnych może skutkować znaczącymi zmianami wydajności eksploatacyjnej maszyn. Ma to bezpośrednie odzwierciedlenie w kosztach jednostkowych pozyskania i zrywki drewna.

Rozpoczęte badania stanowią próbę zweryfikowania podstawowych czynników wpływających na wydajność maszyn. Badania te są kontynuowane, a analizom poddawane są kolejne czynniki oraz kolejne możliwości optymalizacji omawianego procesu.

Literatura

- Botwin M., 1993: Podstawy użytkowania maszyn leśnych, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Długosiewicz L., Grzebieniowski W., 2009: Porównanie wybranych technologii pozyskania drewna pod względem wydajności i kosztów, *Inżynieria Rolnicza* 8 (117), 7–13.
- Gendek A., Nurek T., 2010: Symulacja procesów technologicznych w leśnictwie przy wykorzystaniu oprogramowania Witness, *Użytkowanie Maszyn Rolniczych i Leśnych*, tom II, Polska Akademia Umiejętności. Prace Komisji Nauk Rolniczych Leśnych i Weterynaryjnych PAU 14, 63–72.
- Gendek A., Nurek T., 2012: Wykorzystanie pakietu Witness do modelowania przebiegu procesów produkcyjnych w leśnictwie, *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 2, 17–20.
- Gendek A., Zychowicz W., Powierża M., 2012: Balance of operational time and productivity of the outfit for forest culture tending, *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture* 60, 103–109.
- Jiroušek R., Klvač R., Skoupý A., 2007: Productivity and costs of the mechanised cut-to-length wood harvesting system in clear-felling operations, *Journal of Forest Science* 53 (10), 476–482.
- Maksymiak M., Grygier A., 2008: Analiza wydajności pracy przy maszynowym pozyskaniu drewna na przykładzie harwestera Valmet 901.3 i forwardera Valmet 840.2. *Inżynieria Rolnicza* 1 (99), 273–281.
- Nurek T., 2007: Metoda oceny efektywności maszynowego pozyskiwania drewna w warunkach lasów polskich, *Rozprawy Naukowe i Monografie*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Nurek T., 2008: Analiza wpływu długości dnia roboczego na wyniki ekonomiczne pracy maszyn leśnych. *Inżynieria Rolnicza* 1 (99), 325–331.
- Nurek T., 2010: Utilization of satellite system in monitoring of machines in forest operations, *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture* 56, 89–94.
- Nurek T., 2011: Investigations on variability of labour demand in the selected forest inspectorate, *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture* 57, 101–107.
- Polityka leśna państwa, 1997: Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa.
- Raport o stanie lasów w Polsce, 2014: Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa.
- Walsh D., Strangard T., 2014: Productivity and cost of harvesting a stemwood biomass product from integrated cut-to-length harvest operations in Australian *Pinus radiata* plantations, *Biomass and Bioenergy* 66, 93–102, doi:10.1016/j.biombioe. 2014.01.017.

Zhang F., Johnson D., Sutherland J., 2011: A GIS-based method for identifying the optimal location for a facility to convert forest biomass to biofuel, *Biomass and Bioenergy* 35, 3951–3961, DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.06.006.

Adres do korespondencji:
dr hab. inż. Tomasz Nurek, prof. SGGW
e-mail: tomasz_nurek@sggw.pl
dr inż. Arkadiusz Gendek
e-mail: arkadiusz_gendek@sggw.pl
tel. (+48 22) 593 45 13

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych
ul. Nowoursynowska 164
02-787 Warszawa