


Ocena przydatności maszyn podczas zrywki drewna w drzewostanach sosnowych na podstawie podstawowych wskaźników pracy

Evaluating the suitability of machinery use during skidding of wood in pine stands, based on basic work indicators

Katarzyna Szewczyk*, Piotr Iwanicki

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Leśny, Katedra Techniki Leśnej, ul. Wojska Polskiego 71c, 60-625 Poznań

*Tel. +48 500001208, e-mail: katarzyna.szewczyk@up.poznan.pl

Abstract. Skidding of large-sized logs requires special machinery such as skidders, clambunks, forwarders or farm tractors with a winch or hydraulic tongs. The precise choice of which skidding machine to use depends largely on the desired efficiency and economic factors. The aim of this research was to evaluate the suitability of three different machines (LKT 81 skidder, John Deere 1110D forwarder and Pronar 1221A agricultural tractor with hydraulic tongs) for wood skidding based on technical and economic indicators. The practical work for this research was carried out in the Mirosławiec Forest Division in areas with fresh mixed coniferous forest habitats where the dominant species in the stands was pine and strip-like clear cutting the preferred management practice.

The best machinery performance values were obtained for skidding using the John Deere forwarder.

Keywords: coniferous logs, skidding, efficiency

Słowa kluczowe: drewno dłużycowe iglaste, zrywka, wydajność

1. Wprowadzenie

Zrywka drewna jest pierwszą operacją transportową wykonywaną w ramach procesu pozyskiwania drewna. Polega ona na przemieszczaniu surowca drzewnego z miejsca jego ścinki do najbliższej składowicy przejściowej, skąd następuje jego wywóz (Sosnowski 2003; Dudek 2010a; Maciak, Popczyński 2019). W zależności od warunków terenowych, hodowlanych, ochronnych oraz od długości i miąższości pojedynczych ładunków, do zrywki drewna stosowane są ciągniki rolnicze, zaadaptowane do pracy w warunkach leśnych z dodatkowym oprzyrządowaniem (Sosnowski, Porczak 2005; Sowa, Szewczyk 2005; 2010; Porter, Strawa 2006; Sowa, Kulak 2008; Dudek 2009; Dudek 2011; Chmielewski, Porter 2012; Kulak et al. 2013; Jabłoński, Stempski 2015; Poje et al. 2016) oraz specjalistyczne maszyny leśne, a także kolejki linowe i konie (Dudek 2012).

Wykorzystanie ciągnika rolniczego do zrywki drewna zależy od jego osprzętu. Najprostszym rozwiązaniem, stosunkowo często stosowanym, jest lina lub łańcuch zrywkowy. Zrywka ma wówczas charakter wleczony, a zrywany ładunek powoduje duże uszkodzenia pokrywy leśnej (Jodłowski 2009a).

Spośród maszyn wykorzystywanych do półpodwieszanej zrywki drewna należy wymienić skidery linowe, skidery chwytakowe, klembanki oraz wspomniane ciągniki rolnicze, wyposażone we wciągarki lub kleszcze hydrauliczne. Do zrywki drewna długiego stosowane są także forwardery, z zamontowanymi na ich tylnej ramie kleszczami hydraulicznymi.

W polskich warunkach spotyka się forwardery zrywające dłużycę bez stosowania specjalistycznych kleszczy hydraulicznych, gdzie drewno ładowane jest na przestrzeń ładunkową ciągnika, a podczas transportu przytrzymywane jest przez żuraw hydrauliczny. Z kolei skidery linowe są specjalistycznymi kołowymi maszynami leśnymi przeznaczonymi do zrywki całych strzał lub dłużyc, wykorzystywanymi podczas cięć rębnych oraz trzebieży późnych (Jodłowski 2009b).

Obecnie w krajach europejskich głównymi środkami transportu drewna do dróg wywozowych są forwardery (Byblyuk, Byblyuk 2007). Stanowią one podstawowe wyposażenie firm pozyskujących drewno w systemie CTL (cut to length) (Jodłowski 2010). Duża ładowność oraz ich walory trakcyjne pozwalają na ograniczenie liczby przejazdów po powierzchniach leśnych i na łączenie zrywki z podwozem (Stempski 2007).

Wpłynęło: 28.02.2019 r., zrecenzowano: 14.07.2019 r., zaakceptowano: 25.08.2019 r.

Dobór właściwego zestawu maszyn i dostosowanie technologii do cech drzewostanu oraz ukształtowania terenu jest elementem gwarantującym uzyskanie wysokiej wydajności (Maksymiak, Grieger 2008).

Określenie poziomu pracochłonności konkretnych rozwiązań technologicznych powinno każdorazowo uwzględniać badanie struktury dnia roboczego. Pozwala ono na wykrycie przyczyn zmienności, dając możliwość jakościowej oceny czynników zewnętrznych, kształtujących poziom pracochłonności. Ich analiza, przy znanych rozwiązaniach technicznych, oraz odniesienie do rozkładu czasu w rozwiązaniach obecnie funkcjonujących, pozwala na optymalizację prac i konstruowanie właściwych procesów technologicznych (Szewczyk, Stańczykiewicz 2012).

Celem badań było określenie i porównanie podstawowych wskaźników techniczno-ekonomicznych wykorzystywanych do oceny pracy środków zrywkowych stosowanych w drzewostanach rębnych sosnowych na siedliskach boru mieszanego świeżego (BMśw).

2. Materiał i metody

Powierzchnie badawcze (I–III) założono w Nadleśnictwie Mirosławiec, na siedliskach BMśw, w drzewostanach z sosną jako gatunkiem panującym, zagospodarowanych rębnią I B (tab. 1). Surowiec wielkowymiarowy wyrabiano w postaci dłużyc. Charakterystykę stosowanych na poszczególnych powierzchniach procesów technologicznych pozyskiwania i zrywki drewna przedstawiono poniżej:

Powierzchnia nr I

Proces pozyskiwania i zrywki drewna odbywał się na ręczno-maszynowym poziomie techniki, w systemie LWS (ang. long wood system). Wyróżniono następujące operacje technologiczne:

- ścinę, okrzesywanie i odcięcie wierzchołka pilarką,
- zrywkę całej strzały skiderem LKT 81,
- manipulację drewna,
- zrywkę wymanipulowanych dłużyc na składnice przyrębowe skiderem LKT 81 na średnią odległość 100 m,
- mygłowanie drewna.

Na powierzchni pracowało 5 robotników. Dwóch ścinało i okrzysywało drzewa na powierzchni roboczej, jeden zrywał drewno skiderem LKT 81. Kolejnych dwóch robotników zajmowało się manipulacją surowca na stole manipulacyjnym oraz układaniem w stopy wyrobionych sortymentów krótkich (S2a, S2b, S4).

Powierzchnia nr II

Proces pozyskiwania i zrywki drewna odbywał się na ręczno-maszynowym poziomie techniki, w systemie TLS (ang. tree length system). Wyróżniono następujące operacje technologiczne:

- ścinę, okrzesywanie i manipulację drewna pilarką,

- układanie w pakiety drewna krótkiego na powierzchni,
- zrywkę drewna krótkiego ciągnikiem z przyczepą nasiębierną,
- zrywkę drewna długiego ciągnikiem rolniczym Pronar 1221A, wyposażonym w hydraulicznie zaciskane kleszcze zrywkowe, na średnią odległość 100 m,
- mygłowanie drewna ciągnikiem.

Po ścinie, na powierzchni roboczej wyrabiano sortymenty drewna, następnie ciągnik przystępował do zrywki drewna długiego wielkowymiarowego.

Powierzchnia nr III

Proces pozyskiwania i zrywki drewna odbywał się na pół-automatycznym poziomie techniki, w systemie TLS. Wyróżniono następujące operacje technologiczne:

- ścinę, okrzesywanie i manipulację drewna harvesterem,
- zrywkę drewna forwarderem John Deere 1110D na średnią odległość 200 m.

Na powierzchni harvester wyrabiał dłużyce oraz drewno krótkie średniowymiarowe (S2a, S4). Forwarder zrywał drewno długie z wykorzystaniem standardowej przestrzeni ładunkowej. Dłużyce odziomkami ładowane były na skrzynię ładunkową, tylne końce drewna wleczone były po powierzchni. Podczas zrywki operator przytrzymywał odziomki żurawiem hydraulicznym.

Ocenę czasu pracy maszyn stosowanych do zrywki drewna prowadzono zgodnie z normą BN-76/9195-01. Określono następujące wskaźniki techniczno-ekonomiczne: wydajność efektywną, wydajność operacyjną, wydajność w czasie roboczym zmiany, wydajność w ogólnym czasie zmiany i w czasie zmiany kontrolnej, współczynnik pewności technicznej, współczynnik pewności technologicznej, współczynnik wykorzystania czasu roboczego zmiany oraz współczynnik wykorzystania ogólnego czasu zmiany, a także pracochłonność w czasie efektywnym, w operacyjnym czasie zmiany, w czasie roboczym zmiany, w ogólnym czasie zmiany oraz w czasie zmiany kontrolnej (Laurow 1999, za Botwin 1993).

Podczas badań w ramach czasu efektywnego wyróżniono: T_{1L} – czas, podczas którego maszyna (forwarder) ładowała surowiec, przemieszczając się po powierzchni,

T_{1Z} – czas zaczepiania sztuk drewna (skider, ciągnik rolniczy),

T_{1JL} – czas jazdy ładownej po zakończonym procesie zaczepiania sztuk (załadunku drewna w przypadku forwardera) do miejsca składowania drewna (ciągnik rolniczy, forwarder) lub jego manipulacji (skider),

T_{1R} – czas rozładunku drewna żurawiem hydraulicznym (forwarder),

T_{1O} – czas odczepiania drewna w miejscu jego mygłowania (skider, ciągnik rolniczy),

T_{1P} – czas przejazdu maszyny (skidera) z wymanipulowanym ładunkiem ze stołu manipulacyjnego na myglę,

T_{1M} – czas mygłowania surowca (skider, ciągnik rolniczy).

W przypadku czasu pomocniczego na potrzeby badań wyszczególniono:

Tabela. 1. Opis taksacyjny powierzchni badawczych

Table 1. Stand characteristics of research areas

Numer powierzchni / Lokalizacja Area number / Location	Powierzchnia [ha] Area [ha]	TSL Forest site type	Zadrzewienie Stocking	Zwarcie Canopy density	Udział gatunkowy Species share	Wiek [lata] Age [years]	Bonitacja Site Index	Pierśnica [cm] DBH [cm]	Wysokość [m] Height [m]	Grubizna [m ³ /ha] Stand volume [m ³ /ha]
I / Hanki, 461c	1,80	BMśw	1,0	przerwane broken	10 So	110	II	40	24	389
II / Mirosławiec, 25g	2,40	BMśw	0,7	przerwane broken	8 So	100	II	38	26	219
					1 Św	100	III	43	25	42
					1 Św	60	II	22	19	31
III / Mirosławiec, 46b	2,17	BMśw	0,9	przerwane broken	10 So	90	I	35	26	381

Explanation: BMśw – fresh mixed coniferous, So – Scots pine, Św – Norway spruce

T_{22} – czas jazdy pustej, podczas której środki zrywkowe przemieszczały się z miejsca rozładunku drewna na powierzchnię manipulacyjną do miejsca, w którym rozpoczynał się ponowny załadunek (skider, forwarder, ciągnik rolniczy),

T_{23S} – czas, podczas którego surowiec był manipulowany (skider).

Badane środki zrywkowe wykonywały następujące cykle pracy:

Skider LKT 81

- jazda pusta do miejsca zaczepiania sztuk drewna,
- zaczepianie sztuk,
- jazda z ładunkiem do miejsca manipulacji surowca,
- postój na stole manipulacyjnym, gdzie pilarz dokonywał manipulacji surowca,
- przejazd od stołu manipulacyjnego do miejsca składowania drewna,
- odczepianie sztuk przy mygłe,
- mygłowanie surowca.

Ciągnik rolniczy Pronar 1221A agregowany z hydraulicznie zaciskanymi kleszczami zrywkowymi

- jazda pusta do miejsca zaczepiania sztuk drewna,
- zaczepianie sztuk,
- jazda z ładunkiem do miejsca składowania drewna,
- odczepianie sztuk przy mygłe,
- mygłowanie surowca.

Forwarder John Deere 1110D

- jazda pusta do miejsca rozpoczęcia załadunku,
- załadunek, podczas którego maszyna ładowała surowiec, przemieszczając się po powierzchni manipulacyjnej,

- jazda z ładunkiem do miejsca składowania drewna,
- rozładunek drewna

3. Wyniki

Z powierzchni badawczych (I–III) badanymi środkami technicznymi zerwano odpowiednio: 62,28 m³; 61,35 m³ i 103,75 m³ drewna. W przypadku pracy skidera zrywka drewna wielkowymiarowego obejmowała 21 cykli. Jednocześnie ciągnik zrywał od 3 do 8 sztuk. Średnia miąższość ładunku w 1 cyklu wynosiła 2,97 m³. Czas efektywny (T_1) stanowił 67% roboczego czasu zmiany (tab. 2). Straty czasu z przyczyn niezależnych od badanej maszyny spowodowane były przerwami w pracy powstałymi w wyniku zawieszenia drzew (3 zdarzenia) oraz oczekiwaniem na uprzągnięcie stołu manipulacyjnego (1 zdarzenie).

Z kolei w przypadku zrywki z użyciem ciągnika rolniczego Pronar wykonano 44 cykle. Ciągnik zrywał maksymalnie 2 sztuki w 1 cyklu. Średnia miąższość zrywanego ładunku wynosiła 1,39 m³. Czas efektywny (T_1) stanowił 61% roboczego czasu zmiany. Czas usuwania usterek (T_4) i czas odpoczynku (T_5) stanowiły odpowiednio 1% i 7% czasu zmiany kontrolnej. Straty czasu z przyczyn niezależnych od badanej maszyny (T_8) w przypadku ciągnika rolniczego nie wystąpiły.

Zrywka forwarderem obejmowała 15 cykli. Średnia miąższość zrywanego ładunku wynosiła 6,92 m³. Efektywny czas pracy (T_1) podczas zrywki dłużyc forwarderem JD 1110D stanowił 77% roboczego czasu zmiany. Czas pomocniczy (T_2), tj. czas jazdy pustej od miejsca składowania drewna do miejsca rozpoczęcia załadunku na powierzchni stanowił 23% czasu T_{04} . Straty czasu z przyczyn niezależnych od badanej maszyny ($T_8=2\%$) były wynikiem przerwy na rozmowę ope-

Tabela 2. Wartości poszczególnych kategorii czasu pracy dla badanych środków zrywkowych
 Table 2. Values of individual work time categories for the analyzed skidding machines

Kategoria czasu pracy Work time categorie	Skider LKT 81 Skider LKT 81	Ciągnik rolniczy Pronar 1221A z hydraulicznymi kleszczami zrywkowymi Pronar 1221A agricultural tractor with hydraulic tongs	Forwarder John Deere 1110D Forwarder John Deere 1110D
Czas efektywny T_1, min¹ Effective active time T_1 , min ¹	169,17	220,37	245,45
T_{1L} , min	-	-	85,48
T_{1JL} , min	42,77	166,32	67,87
T_{1R} , min	-	-	92,10
T_{1P} , min	8,62	-	-
T_{1M} , min	31,67	27,12	-
T_{1Z} , min	73,03	22,20	-
T_{1O} , min	13,08	4,73	-
Czas pomocniczy T_2, min² Subsidiary time T_2 , min ²	76,70	136,13	73,57
T_{22} , min	41,23	136,13	73,57
T_{23S} , min	35,47	-	-
Czas usuwania usterek T_4, min Faults deletion time T_4 , min	4,33	1,82	-
T_{41} , min ³	4,33	1,82	-
Czas odpoczynku T_5, min Rest time T_5 , min	50,48	27,88	46,73
Straty czasu z przyczyn niezależnych od badanej maszyny T_8, min Losses of time due to reasons independent of the researched machine, min	13,83	-	8,65
T_{81} , min ⁴	13,83	-	8,65

¹ $T_1 = T_{1L} + T_{1JL} + T_{1R} + T_{1P} + T_{1M} + T_{1Z} + T_{1O}$; T_{1L} – czas, podczas którego maszyna ładowała surowiec przemieszczając się po powierzchni / the time, within which machine was loading wood, moving on working area; T_{1JL} – czas jazdy ładowej po zakończonym procesie zaczepiania sztuk, z powierzchni manipulacyjnej do miejsca składowania drewna lub jego manipulacji / the load drive time from stump area to wood storage place other bucking place; T_{1R} – czas rozładunku drewna żurawiem hydraulicznym / the time of wood unloading using hydraulic crane; T_{1P} – czas przejazdu maszyny z wymanipulowanym ładunkiem ze stołu manipulacyjnego na myglę / the time, within which machine was driving with wood from bucking place to pile of wood; T_{1M} – czas mygłowania surowca / lay in a pile of wood time; T_{1Z} – czas zaczepiania sztuk drewna / the time of wood pieces catching; T_{1O} – czas odczepiania drewna w miejscu jego mygłowania / uncoupling time in lay in a pile of wood place

² $T_2 = T_{22} + T_{23S}$; T_{22} – czas jazdy pustej, podczas której środki zrywkowe przemieszczały się z miejsca rozładunku drewna na powierzchnię manipulacyjną do miejsca, w którym rozpoczął się ponowny załadunek / waste drive time from wood unloading place to loading place; T_{23S} – czas, podczas którego surowiec był manipulowany / the time of wood bucking

³ T_{41} – czas usuwania usterek technologicznych / technological faults deletion time

⁴ T_{81} – straty czasu z przyczyn organizacyjnych / losses of time from organizational reasons

ratora z leśniczym oraz czasu poświęconego na odcinanie pi-larką spalinową sęków pozostałych na zrywanych dłużycach (3 zdarzenia).

W przypadku wszystkich kategorii czasu pracy najwyższymi wartościami wydajności charakteryzowała się zrywka z użyciem forwardera JD 1110D (tab. 3).

Tabela 3. Podstawowe wskaźniki techniczno-ekonomiczne badanych środków zrywkowych

Table 3. The basic technical and economic indicators of the analyzed skidding machines

Wskaźnik / Jednostka Indicator / Unit	Skider LKT 81 Skider LKT 81	Ciągnik rolniczy Pronar 1221A z hydraulicznymi kleszczami zrywkowymi Pronar 1221A agricultural tractor with hydraulic tongs	Forwarder John Deere 1110D Forwarder John Deere 1110D
Czas efektywny T_1/h, min Effective active time T_1/h , min	2,81	3,67	4,09
Czas operacyjny T_{02}, min Operative active time T_{02} , min	4,10	5,94	5,32
Roboczy czas zmiany T_{04}, min Working shift time T_{04} , min	4,17	5,97	5,32
Ogólny czas zmiany T_{07}, min Total shift time T_{07} , min	5,01	6,44	6,24
Czas zmiany kontrolnej T_{08}, min Control shift time T_{08} , min	5,24	6,44	6,38
Wydajność efektywna $W_1/m^3 \cdot h^{-1}$ Effective efficiency $W_1/m^3 \cdot h^{-1}$	22,16	16,71	25,37
Wydajność operacyjna $W_{02}/m^3 \cdot h^{-1}$ Operational efficiency $W_{02}/m^3 \cdot h^{-1}$	15,19	10,33	19,50
Wydajność w czasie roboczym zmiany $W_{04}/m^3 \cdot h^{-1}$ Efficiency in working shift time $W_{04}/m^3 \cdot h^{-1}$	14,93	10,28	19,50
Wydajność w ogólnym czasie zmiany $W_{07}/m^3 \cdot h^{-1}$ Efficiency in total shift time $W_{07}/m^3 \cdot h^{-1}$	12,43	9,53	16,63
Wydajność w czasie zmiany kontrolnej $W_{08}/m^3 \cdot h^{-1}$ Efficiency in control shift time $W_{08}/m^3 \cdot h^{-1}$	11,88	9,53	16,26
Współczynnik pewności technologicznej K_{41} Technological robustness coefficient K_{41}	0,98	1,00	1,00
Współczynnik pewności technicznej K_{42} Technical robustness coefficient K_{42}	1,00	1,00	1,00
Współczynnik wykorzystania czasu roboczego zmiany K_{04} Working shift time use coefficient K_{04}	0,67	0,61	0,77
Współczynnik wykorzystania ogólnego czasu zmiany K_{07} Total shift time use coefficient K_{07}	0,56	0,57	0,65
Pracochłonność w czasie efektywnym $P_1/h \cdot m^{-3}$ Effective labour consumption $P_1/h \cdot m^{-3}$	0,045	0,060	0,039
Pracochłonność w operacyjnym czasie zmiany $P_{02}/h \cdot m^{-3}$ Operative labour consumption $P_{02}/h \cdot m^{-3}$	0,066	0,097	0,051
Pracochłonność w czasie roboczym zmiany $P_{04}/h \cdot m^{-3}$ Labour consumption in working shift time $P_{04}/h \cdot m^{-3}$	0,067	0,097	0,051
Pracochłonność w ogólnym czasie zmiany $P_{07}/h \cdot m^{-3}$ Labour consumption in total shift time $P_{07}/h \cdot m^{-3}$	0,080	0,105	0,060
Pracochłonność w czasie zmiany kontrolnej $P_{08}/h \cdot m^{-3}$ Labour consumption in control shift time $P_{08}/h \cdot m^{-3}$	0,084	0,0105	0,061

Uzyskane wartości współczynników pewności technicznej i technologicznej dla badanych środków zrywkowych były bliskie bądź równe jedności. Najwyższą wartością pracochłonności we wszystkich kategoriach czasu pracy charakteryzowała się zrywka surowca z użyciem ciągnika Pronar 1221A.

4. Dyskusja

Jednym ze skutków rozpoczętej na początku lat 90. XX wieku prywatyzacji prac leśnych jest to, że szczególnego znaczenia nabrała efektywność ekonomiczna stosowanych rozwiązań, dla której punktem wyjścia jest wydajność obserwowana na poszczególnych stanowiskach pracy (Sowa et al. 2007).

Wydajność wyraża rozmiar wytworzonego produktu (świadczonej usługi) w jednostce czasu (Glazar, Wojtkowiak 2009). Składową czasu nie jest tylko jedna jego kategoria, lecz cały garnitur, który tworzy w rezultacie zmianę roboczą. Im szerzej rozpatrywany jest czas wytworzenia produktu (czas efektywny, operacyjny itd.), tym bardziej obiektywna ocena danej technologii (Sowa et al. 2007).

Warunkiem uzyskania wysokiej wydajności jest między innymi dobór odpowiednich środków technicznych do cech drzewostanu i ukształtowania terenu, jak również technika prowadzenia cięć, ułożenia sztuk drewna czy zaleganie na powierzchni pozostałych sortymentów (Suwała 2002; Maksymiak, Grygier 2008).

Na założonych powierzchniach badawczych warunki terenowe były zbliżone do siebie. Teren był lekko pagórkowaty, bez przeszkód terenowych, które mogłyby utrudniać zrywkę drewna.

Analizując uzyskane wyniki, warto zwrócić uwagę na wielkości zrywanych ładunków. Ciągnik rolniczy Pronar 1221A agregowany z hydraulicznie zaciskanymi kleszczami zrywkowymi jednorazowo przemieszczał dwie, czasami jedną dłużyce, skider LKT 81 zrywał ich już kilka, tj. od 3 do 8 sztuk. Średnia miąższość ładunku w 1 cyklu w przypadku zrywki skidera wynosiła 2,97 m³, i koresponduje z wynikami uzyskanymi przez Griegera i in. (2016). Forwarder JD 1110D ładował najwięcej sztuk, dlatego też wykonywał najmniej przejazdów. Średnia odległość zrywki na powierzchni nr III wynosiła 200 m i była dwukrotnie dłuższa niż średnia odległość zrywki na powierzchniach nr I i II (100 m), mimo to forwarder uzyskał najwyższą wydajność.

Zdaniem Suwały i Rzadkowskiego (2001) różnica w wydajności pracy na korzyść zastosowania forwardera w porównaniu ze skiderem wyraźnie rośnie w miarę zwiększania się odległości zrywki.

W celu maksymalnego wykorzystania miejsca do składowania surowca zarówno skider LKT 81, jak i ciągnik Pronar 1221A mygłowały zerwane dłużyce za pomocą specjalnego lemiesza zwanego mygłownicą. Czas mygłowania wynosił odpowiednio 32 min i 27 min. Forwarder JD 1110D z racji swojej budowy technicznej takich czynności nie wykonywał. Surowiec drzewny był przemieszczany na mygłę za pomocą

chwytaka hydraulicznego. Po ułożeniu części odziomkowej operator bardzo często poprawiał tylny fragment dłużyce, chwytając ją za koniec i układając na mygłę. Czas na wymienione czynności został zaklasyfikowany do rozładunku drewna. Układając dłużyce za pomocą żurawia hydraulicznego w wysokie mygły, maksymalnie wykorzystano dostępną powierzchnię do składowania drewna, co niewątpliwie miało wpływ na ogólną wartość wydajności zrywki. Przy braku miejsca na składowanie drewna operator jest zmuszony zrywać drewno na coraz większe odległości.

Istotną informacją jest to, iż będący przedmiotem badań forwarder nie był przystosowany do zrywki drewna długiego. Nieprzebrojona maszyna zrywała najpierw dłużyce, a następnie drewno krótkie.

Ze względów organizacyjnych i ekonomicznych możliwość wykorzystania forwarderów do zrywki drewna długiego jest bardzo ważna z punktu widzenia właścicieli maszyn (Grodecki, Stempski 2002). Należy jednak pamiętać, że zrywka powinna być prowadzona zgodnie z przepisami bhp, z użyciem odpowiedniego sprzętu – w przypadku zrywki drewna długiego przy użyciu ciągników przysposobionych do półpodwieszanej zrywki drewna (Domżańska 2016). Zdaniem Grodeckiego i Stempskiego (2002) przebrojenie maszyny do wersji klembank poszerza zakres prac możliwych do wykonania. Stosowanie maszyn nieprzebrojonych może prowadzić do przyspieszonego zużycia podzespołów konstrukcyjnych pojazdu.

W praktyce do zrywki drewna długiego stosuje się nieprzebrojone maszyny.

Według Grodeckiego i Stempskiego (2002) zrywka drewna długiego forwarderem w wersji klembank przy mniejszych odległościach (do 100 m) cechowała się wyższą wydajnością w porównaniu ze zrywką drewna krótkiego forwarderem przeznaczonym do zrywki kłód i wyrzynków. Powyżej odległości wynoszącej 300 m wydajności uzyskane przez klembank zrywający dłużyce okazały się znacznie mniejsze, a różnica ta pogłębiała się wraz ze wzrostem odległości.

Szczegółowa analiza poszczególnych kategorii czasu pracy może przyczynić się do optymalizacji stosowanych procesów. Nie bez znaczenia pozostaje udział poszczególnych kategorii czasu pracy podczas zmiany roboczej oraz przyjęta w metodyce klasyfikacja wykonywanych czynności.

Zgodnie z wynikami Nurka i Gendka (2016) czas operacyjny jest rzeczywistym czasem pracy maszyny i można do niego zaliczyć czas trwania wszystkich operacji technologicznych. W przypadku forwardera będzie to czas jazdy ze składnicy przyrębowej do pierwszego pobieranego surowca, czas pracy żurawia przy załadunku, czas przejazdu między kolejnymi stosami drewna, czas przejazdu ładownego z powierzchni manipulacyjnej na składnicę, czas rozładunku. Czasy te są zależne od parametrów technicznych maszyny, wielkości realizowanych zadań oraz od warunków przyrodniczo-leśnych panujących na danej powierzchni.

Operacyjny czas pracy stanowi zazwyczaj 70% czasu trwania całej zmiany roboczej (Glazar, Wojtkowiak 2009).

W przypadku analizowanych środków technicznych stosu-

nek czasu operacyjnego do czasu zmiany kontrolnej stanowił dla skidera – 78%, dla ciągnika rolniczego – 92%, dla forwardera – 83%. Współczynniki wykorzystania czasu roboczego zmiany (K_{04}) i ogólnego czasu zmiany (K_{07}) wyniosły odpowiednio: dla skidera 0,67 i 0,56; dla ciągnika rolniczego 0,61 i 0,57; dla forwardera 0,77 i 0,65.

W 95-letnim drzewostanie sosnowym, w przypadku zrywki drewna z użyciem harwardera, stosunek czasu operacyjnego do czasu zmiany kontrolnej wynosił 79%. Z kolei współczynniki wykorzystania czasu roboczego zmiany (K_{04}) i ogólnego czasu zmiany (K_{07}) były, w porównaniu ze zrywką z użyciem forwardera, nieco wyższe i wyniosły odpowiednio 0,79 i 0,73 (Glazar, Maciejewska 2008).

Podczas prowadzonych badań, w przypadku wszystkich kategorii czasu pracy, najwyższymi wartościami wydajności charakteryzowała się zrywka z użyciem forwardera JD 1110D.

Właściwe oszacowanie poziomów czasochłonności jest kluczowym zagadnieniem zarówno dla wykonawców (pozwała na racjonalne kształtowanie cen na usługi), jak i dla zlecniodawców (umożliwia urealnienie cen proponowanych przez usługodawców i wyeliminowanie ofert o zaniżonej cenie) (Szewczyk et al. 2013).

Na zrębach zupełnych w drzewostanach sosnowych o większej miąższości drzew, oprócz metody drewna krótkiego z użyciem harwestera i forwardera, proponuje się metodę dłużycową ze ścinką, okrzesywaniem i wyróbką harvesterem oraz zrywką dłużyc skiderem i wałków forwarderem, szczególnie przy małych jej odległościach (Suwała, Jodłowski 2002).

W przypadku sortymentów o większej wartości harvester można zastąpić pilarką.

Większa miąższość przeciętnej dłużycy i mniejsze zadrzewienie na powierzchniach rębnych, ułatwiający poruszanie się środków zrywkowych, skutkują większą wydajnością zrywki (Dudek 2010b).

Prace związane z pozyskaniem i zrywką drewna są jednymi z najbardziej pracołłonnych (Szewczyk et al. 2013), a obecnie stosowane w tych procesach maszyny osiągają bardzo duże wydajności operacyjne (Maksymiak, Grygier 2008; Długosiewicz, Grzebieniowski 2009; Walsh, Strangard 2014).

W ostatnich latach można zaobserwować istotny przyrost liczby specjalistycznego sprzętu do pracy w lesie. Jest to sygnał gwałtownych przemian zachodzących w technologiach pozyskiwania i zrywki drewna oraz w organizacji prac w firmach świadczących usługi leśne. Zmiany wymusza zarówno wewnętrzny rynek pracy, jak i emigracja do krajów zachodnich w poszukiwaniu lepiej płatnej pracy. Nie bez znaczenia pozostają również wymagania ekologiczne i jakościowe stawiane surowcowi drzewnemu. Zmiany polityczne i gospodarcze w Polsce po 1989 roku doprowadziły do gwałtownych przemian w rejonach wiejskich. Wszędzie tam, gdzie praca wymaga dużego nakładu energetycznego, wysiłku fizycznego, zauważyć można coraz większe braki siły roboczej. Ciężka praca fizyczna we współczesnych czasach nie jest atrakcyjna dla młodych ludzi. W Polsce co trzeciej firmie leśnej brakuje pracowników (Nowacka 2009).

5. Wnioski

W przypadku wszystkich kategorii czasu pracy, najwyższymi wartościami wydajności charakteryzowała się zrywka z użyciem forwardera. Pomimo uzyskanych korzystnych wyników na tle pozostałych środków technicznych należy pamiętać o tym, że pracująca przy zrywce drewna długiego maszyna nie była do tej zrywki przystosowana. Stąd nie należy uzyskanych wyników traktować jako rekomendacji takiego sposobu zrywania drewna.

Zrywka drewna długiego z użyciem skidera okazała się bardziej wydajna w porównaniu ze zrywką z użyciem ciągnika rolniczego wyposażonego w kleszcze.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Źródło finansowania badań

Badania sfinansowano ze środków własnych.

Literatura


- BN-76/9195-01. Maszyny rolnicze. Podział czasu pracy. Symbole i określenia.
- Botwin M. 1993. Podstawy użytkowania maszyn leśnych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Byblyuk N., Byblyuk N. 2007. Transport leśny w Karpatach: aspekty historyczne i inżynierijno-ekologiczne. *Prace Komisji Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych PAU* 9: 9–18.
- Chmielewski S., Porter B. 2012. Waloryzacja wybranych metod pozyskiwania i zrywki drewna w sosnowych drzewostanach przedrębnych. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 3: 23–25.
- Długosiewicz L., Grzebieniowski W. 2009. Porównanie wybranych technologii pozyskania drewna pod względem wydajności i kosztów. *Inżynieria Rolnicza* 8(117): 7–13.
- Domżańska T. 2016. Specjalistyczne maszyny leśne. Cz. I. Pozyskanie i zrywka drewna. *Inspektor Pracy* 3(397): 20–25.
- Dudek T. 2009. Wydajność zrywki drewna długiego na zrębie zupełnym ciągnikiem rolniczym z wciągarką lub kleszczami hydraulicznymi. *Sylwan* 153(6): 386–392.
- Dudek T. 2010a. Badanie wydajności technologii zrywki drewna w lasach górskich. Część 1. Drzewostany przedrębne. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 3: 3–5.
- Dudek T. 2010b. Badanie wydajności technologii zrywki drewna w lasach górskich. Część 2. Drzewostany rębne. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 4: 2–4.
- Dudek T. 2011. Efektywność wybranych technologii zrywki drewna krótkiego w lasach górskich. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 2: 8–10.
- Dudek T. 2012. Efektywność wybranych technologii zrywki drewna długiego w lasach górskich. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 2: 14–16.
- Glazar K., Maciejewska H. 2008. Struktura czasu i wydajność pozyskiwania i zrywki drewna w drzewostanach sosnowych przy użyciu harwardera Buffalo Dual. *Inżynieria Rolnicza* 99(1): 273–281.

- Glazar K., Wojtkowiak R. 2009. Koszty pracy maszyn leśnych. PIMR, Poznań. ISBN 978-83-927505-2-9.
- Grieger A., Sedłak P., Stawicki T., Lewaszkiewicz Ł. 2016. Analiza wydajności wywozu drewna ze zrębu w zależności od rodzaju środka zrywkowego. *Autobusy* 6: 574–577.
- Grodecki J., Stempki W. 2002. Analiza porównawcza wydajności zrywki ciągnikiem typu forwarder i klembank. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 486: 203–208.
- Jabłoński K., Stempki W. 2015. Optymalizacja zrywki drewna według kryterium minimalizacji pracy transportowej. *Sylwan* 159(7): 540–548.
- Jodłowski K. 2009a. Maszyny wielooperacyjne, techniki i technologie pozyskania oraz zrywki drewna stosowane w drzewostanach starszych klas wieku. *Biblioteczka Leśniczego* 294: 3–12.
- Jodłowski K. 2009b. Klasyfikacja maszyn wielooperacyjnych. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 107: 7–11.
- Jodłowski K. 2010. Maszynowe technologie pozyskania i zrywki drewna stosowane na powierzchniach zrębowych. *Biblioteczka Leśniczego* 313: 3–16.
- Kulak D., Stańczykiewicz A., Szewczyk G., Kobiałka P. 2013. Wpływ zrywki drewna z użyciem ciągników typu skider na uszkodzenia gleby w górskich drzewostanach jodłowo-bukowych. *Forestry Letters* 105(3): 35–46.
- Laurov Z. 1999. Pozyskiwanie drewna. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Maciak A., Popczyński B. 2019. Wpływ sposobu zrywki i doświadczenia wykonawcy na wielkość uszkodzeń drzew na powierzchniach trzebieżowych Nadleśnictwa Chojnów. *Sylwan* 163(1): 25–34.
- Maksymiak M., Grieger A. 2008. Analiza wydajności pracy przy maszynowym pozyskaniu drewna na przykładzie harwestera Valmet 901.3 I forwardera Valmet 840.2 *Inżynieria Rolnicza* 99(1): 273–281.
- Nowacka W.Ł. 2009. Ergonomia i bezpieczeństwo prac w stosowanych technologiach pozyskania i zrywki drewna maszynami wielooperacyjnymi. *Biblioteczka Leśniczego* 283: 3–16.
- Nurek T., Gendek A. 2016. Wpływ wybranych czynników logistycznych na wydajność i koszty eksploatacji maszyn leśnych. *Ekonomika i Organizacja Logistyki* 1(2): 45–55.
- Poje A., Potočník I., Danilovič M., Antonič S. 2016. A Case Study of the Impact of Skidding Distance on Tractor Operator Exposure to Noise. *Baltic Forestry* 22(2): 357–364.
- Porter B., Strawa P. 2006. Analiza pozyskiwania i zrywki drewna w drzewostanach jodłowych. *Sylwan* 1: 67–72.
- Sosnowski J. 2003. Zasady proekologicznej zrywki drewna w warunkach gospodarki leśnej w górach. *Sylwan* 5: 58–64.
- Sosnowski J., Porczak K. 2005. Comparison of technical and economic indexes of logging by means of the tractor and the horse on the example of the Krasiczyn Forest District. *Zeszyty Akademii Rolniczej w Krakowie, Sesja Naukowa* 91: 267–273.
- Sowa J.M., Kulak D. 2008. Charakterystyka uszkodzeń powierzchniowych warstw gleby podczas zrywki drewna ciągnikami rolniczymi w trzebieżowych drzewostanach sosnowych. *Inżynieria Rolnicza* 99(1): 353–361.
- Sowa J.M., Kulak D., Leszczyński K., Szewczyk G. 2007. Związki struktury dnia roboczego z fizjologiczną gotowością do pracy na stanowisku operatora pilarki spalinyowej. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych. Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk* 101: 205–215.
- Sowa J.M., Szewczyk G. 2005. The analysis of the relationships between the structure of a workday and the actual skidding distance in selected timber harvesting technologies during thinning, in: *Proceedings Ecological, Ergonomic and Economical Optimization of Forest Utilization in Sustainable Forest Management*. Kraków-Krynica, 283–290.
- Sowa J.M., Szewczyk G. 2010. Time consumption of skidding in mature stands performed by means of winches aggregated with farm tractor. *Proceedings of FORMEC 2010, Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment*, Padova, Italy, ISBN/ISSN 978 88 6129 569 8.
- Stempki W. 2007. Efektywność pozyskania drewna kłodowanego w użytkowaniu rębnym drzewostanów sosnowych. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych* 101: 223–231.
- Suwała M. 2002. Wydajność pracy i koszt jednostkowy pozyskiwania drewna w wybranych rębniach złożonych na terenach nizinnych. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria A* 4(946): 43–71.
- Suwała M., Jodłowski K. 2002. Wpływ procesów technologicznych na wydajność pracy i koszty pozyskiwania drewna w drzewostanach sosnowych starszych klas wieku. Cz. II. Zręby zupełne. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria A* 3(939): 43–64.
- Suwała M., Rzadkowski S. 2001. Wydajność pracy, koszty i uszkodzenia drzew przy pozyskiwaniu drewna w trzebieżach drzewostanów górskich. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria A* 1(911): 85–111.
- Szewczyk G., Sowa J., Kulak D., Stańczykiewicz A. 2013. Podstawy metodyczne waloryzacji uzupełniających czasów pracy w operacjach pozyskiwania i zrywki drewna. *Forestry Letters* 105: 47–56.
- Szewczyk G., Stańczykiewicz A. 2012. Model szacowania pracochłonności pozyskiwania drewna w drzewostanach ze śniegółomami. *Leśne Prace Badawcze* 73(2): 167–173. DOI 10.2478/v10111-012-0017-1.
- 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.

Wkład autorów

K.Sz. – koncepcja, przegląd literatury, metodyka, opracowanie wyników, dyskusja – 50%; napisanie artykułu – 100%;
P.I. – koncepcja, przegląd literatury, metodyka, opracowanie wyników, dyskusja – 50%, prace terenowe – 100%.

Evaluating the suitability of machinery use during skidding of wood in pine stands

Katarzyna Szewczyk* , Piotr Iwanicki

Poznań University of Life Sciences, Faculty of Forestry, Department of Forest Technology, ul. Wojska Polskiego 71c, 60-625 Poznań, Poland

*Tel. +48 500001208, e-mail: katarzyna.szewczyk@up.poznan.pl

Abstract. Skidding of large-sized logs requires special machinery such as skidders, clambunks, forwarders or farm tractors with a winch or hydraulic tongs. The precise choice of which skidding machine to use depends largely on the desired efficiency and economic factors. The aim of this research was to evaluate the suitability of three different machines (LKT 81 skidder, John Deere 1110D forwarder and Pronar 1221A agricultural tractor with hydraulic tongs) for wood skidding based on technical and economic indicators. The practical work for this research was carried out in the Mirosławiec Forest Division in areas with fresh mixed coniferous forest habitats where the dominant species in the stands was pine and strip-like clear cutting was the preferred management practice. The best machinery performance values were obtained for skidding using the John Deere forwarder.

Keywords: coniferous logs, skidding, efficiency

1. Introduction

Skidding comprises the first transportation step in the logging process and consists of moving the harvested wood from the felling location to the nearest transitional depot, from where it is transported to the destination points (Dudek, 2010a; Maciak and Popczyński, 2019; Sosnowski, 2003). Depending on the terrain, silvicultural and nature protection conditions, as well as the length and thickness of the individual wood loads, agricultural tractors are used for skidding with additional equipment, which are adapted for operations in the forest environment (Chmielewski and Porter, 2012; Dudek, 2009, 2011; Jabłoński and Stempki, 2015; Kulak et al., 2013; Poje et al., 2016; Porter and Strawa, 2006; Sosnowski and Porczak, 2005; Sowa and Kulak, 2008; Sowa and Szewczyk 2005, 2010), or else specialised forest machines, cable cars and horses (Dudek, 2012).

The use of an agricultural tractor for skidding depends on its accessories. Skidding ropes or chains are quite often used, wherein the skidding process includes dragging a part of wood load on the ground, which results in a considerable damage to the forest cover (Jodłowski, 2009a).

The machines used for semi-suspended skidding are, among others, cable skidders, grapple skidders, clambunks

and agricultural tractors equipped with winches or hydraulic tongs. For long logs, forwarders are used with hydraulic tongs mounted on the back frame. Forwarders not equipped with specialised hydraulic tongs are also used, wherein the wood is loaded onto the tractor loading space and held by a hydraulic crane during transport. The cable skidders are specialised heavy vehicles designed for skidding entire tree trunks or long logs, which are used during tree felling operations and late thinnings (Jodłowski, 2009b).

Currently, in European countries, the main means of transporting timber to logging roads are forwarders (Byblyuk and Byblyuk, 2007). In timber-harvesting companies, forwarders constitute the essential equipment in the cut to length (CTL) system (Jodłowski, 2010). High load capacity and traction parameters let limiting the number of passages through forested areas and combine skidding with transport (Stempki, 2007).

The selection of an appropriate set of machines along with adjustment of the chosen technology to forest stand and the terrain characteristics are essential to guarantee high effectiveness of the activities undertaken (Maksymiak and Grieger, 2008).

Assessments of labour intensity in specific technological solutions should always include evaluation of the business day structure. This enables recognition of inconsistency drivers, as well as provides the possibility to qualitatively assess factors

Received: 28.02.2019 r., accepted after revision: 25.08.2019 r.

that shape labour consumption levels. Such an analysis, based on identified technical solutions and carried out with a reference to time consumption in presently functioning solutions, enables work optimisation and construction of appropriate technological processes (Szewczyk and Stańczykiewicz, 2012).

The aim of the study was to determine and compare the basic technical and economic indicators used to assess labour of skidding means used in Scots pine forest stands growing in fresh mixed coniferous forest sites.

2. Materials and methods

The study plots (I–III) were established in the forest district Mirosławiec, within fresh mixed coniferous forest sites (BMśw), in the stands with Scots pine as the dominant species, managed for clear cutting type IB (Table 1). Large-sized raw material was produced in the form of long logs. The characteristics of the processes of wood harvesting and skidding used on individual plots are as follows:

Plot no. I

The process of harvesting and skidding was carried out at a manual–machine level of technology in the long wood system (LWS). The following technological operations were identified:

- felling, delimiting and cutting off the tree top with a chainsaw;
- skidding of the entire trunk with the skidder LKT 81;
- dividing felled tree into parts with specific qualitative and dimensional characteristics;
- skidding (average distance 100 m) of divided logs to landing with the use of the skidder LKT 81 and
- timber stacking.

Five workers were employed to fulfill the above tasks. Two workers cut down and delimit trees within the working area and one worker operated the LKT 81 skidder. Two workers dealt with dividing the felled tree into parts (on a handling table) and stacked short timber assortments (S2a, S2b, S4).

Plot no. II

The process of harvesting and skidding was carried out at a manual–machine level of the tree length system (TLS). The following technological operations were identified:

- felling, delimiting and dividing the felled tree into parts using a saw;
- stacking short wood packages on the working area;
- short log skidding using a tractor with a trailer,
- long log skidding (average distance 100 m) with the agricultural tractor Pronar 1221A equipped with hydraulic tongs and

- timber stacking using the tractor.

After tree felling, timber assortments were produced on the working area, and then the tractor was used for skidding long, large-sized logs.

Plot no. III

The process of harvesting and skidding was carried out at a semi-automatic level of the TLS. The following operations were identified:

- felling, delimiting and dividing trees into parts using a harvester and
- skidding (average distance 200 m) with the forwarder John Deere 1110D.

The harvester produced long logs and short, medium-sized timber assortment (S2a, S4). The forwarder picked long logs within the standard loading space. The long logs were loaded onto the loading box, and then the log back ends were dragged along. During skidding, the operator made sure that the lowest (thickest) parts of the trunks were supported by a hydraulic crane.

Assessment of the labour time of the skidding machinery was carried out in accordance with the standard BN-76/9195-01. The following technical–economic indicators were determined: effective productivity, operational effectiveness, effectiveness during shift working time, effectiveness during the overall shift time and the control shift time, technical certainty coefficient, technological certainty coefficient, coefficient of working time utilisation, coefficient of the overall shift time utilisation, and also, labour intensity in the effective time, as well as in the shift operation and work times and during the control shift time (Laurow, 1999, after Botwin, 1993).

The effective time was divided into the following categories:

T_{1L} – the time within which the machine was loading wood and moving on the working area;

T_{1Z} – the time for picking wood pieces;

T_{1L} – the time of driving with wood load from the working area to the wood storage or division sites; T_{1R} – the time of wood unloading using a hydraulic crane;

T_{10} – the time of wood detaching to make piles;

T_{1P} – the time within which the machine was driving with wood from its division site to the site where wood piles were made and

T_{1M} – the time for making wood piles.

In the case of supplementary time needed for research purposes, the following were identified:

T_{22} – the time of running on empty, when the skidding means moved back and forth between the sites of wood unloading, dividing and reloading (skidder, forwarder, agricultural tractor) and

T_{23S} – the time of wood dividing (skidder).

Table 1. Stand characteristics of research areas

Area number / Location	Area [ha]	Forest site type	Stocking	Canopy density	Species share	Age [years]	Site Index	DBH [cm]	Height [m]	Stand volume [m ³ /ha]
I / Hanki, 461c	1,80	BMśw	1,0	broken	10 So	110	II	40	24	389
II / Mirosławiec, 25g	2,40	BMśw	0,7	broken	8 So	100	II	38	26	219
					1 Św	100	III	43	25	42
					1 Św	60	II	22	19	31
III / Mirosławiec, 46b	2,17	BMśw	0,9	broken	10 So	90	I	35	26	381

Explanation: BMśw – fresh mixed coniferous, So – Scots pine, Św – Norway spruce

The examined skidding means performed the following work cycles:

Skidder LKT 81

- running on empty to the sites where the wood pieces were collected (clamped);
- grabbing the wood pieces;
- travelling with wood load to the raw material handling site (wood division);
- waiting at the handling table for the time of wood dividing with the use of a saw;
- driving from the handling table to the wood storage area;
- leaving the wood pieces at the site where wood piles were made and
- making wood piles.

Agricultural tractor Pronar 1221A equipped with hydraulic tongs

- running on empty to the sites where the wood pieces were collected;
- grabbing the wood pieces;
- travelling with wood load to the wood storage area;
- leaving the wood pieces at the site where wood piles were made and
- making wood piles.

Forwarder John Deere 1110D

- running on empty to the sites where the wood pieces were collected;
- wood loading during moving within the wood division area;
- travelling with wood load to the wood storage area and
- wood unloading.

3. Results

Within the three research plots (I–III), 62.28, 61.35 and 103.75 m³ of wood was collected, respectively. In the case of

the skidder LKT 81, large-sized wood skidding comprised 21 cycles. The skidder picked from three to eight wood pieces at a time. The average thickness of the load in one cycle was 2.97 m³. The effective active time (T_1) accounted for 67% of the working shift time (Table 2). Time losses due to reasons beyond the control of the skidder (T_8) were caused by work interruptions due to tree suspension (three events) and standby at the wood handling table (one event).

In the case of skidding using the agricultural tractor Pronar 1221A, 44 cycles were performed. The tractor picked two wood pieces in one cycle. The average thickness of the load was 1.39 m³. The effective active time (T_1) accounted for 61% of the working shift time. The fault clearance time (T_4) and the rest time (T_5) accounted for 1% and 7% of the control shift time, respectively. In the case of the agricultural tractor, time losses (T_8) due to uncontrollable factors were not evidenced.

Skidding carried out using the forwarder John Deere 1110D included 15 cycles. The average thickness of the picked load was 6.92 m³. The effective active time (T_1) accounted for 77% of the working shift time. The supplementary time (T_2), that is, the time of running on empty from the wood storage site to the wood loading site accounted for 23% of the time T_{04} . Time losses due to reasons beyond the control of the tested machine ($T_8 = 2\%$) resulted from taking a break by the forwarder operator to confirm the arrangements with the responsible forester and the time spent on cutting off the knots remaining on the logs (three events).

In all the time categories identified, the forwarder (JD 1110D) showed the highest values of performance parameters when compared with the other skidding means tested (Table 3).

The obtained values of technical and technological certainty coefficients for all the examined skidding means were close to or equal to 1. Skidding with the tractor Pronar 1221A showed comparatively the highest value of labour intensity in all the time categories identified.

Table 2. Values of individual work time categories for the analyzed skidding machines

Work time categorie	Skider LKT 81	Pronar 1221A agricultural tractor with hydraulic tongs	Forwarder John Deere 1110D
Effective active time T_1 , min ¹	169.17	220.37	245.45
T_{1L} , min	-	-	85.48
T_{1JL} , min	42.77	166.32	67.87
T_{1R} , min	-	-	92.10
T_{1P} , min	8.62	-	-
T_{1M} , min	31.67	27.12	-
T_{1Z} , min	73.03	22.20	-
T_{1O} , min	13.08	4.73	-
Subsidiary time T_2 , min ²	76.70	136.13	73.57
T_{22} , min	41.23	136.13	73.57
T_{23S} , min	35.47	-	-
Faults deletion time T_4 , min	4.33	1.82	-
T_{41} , min ³	4.33	1.82	-
Rest time T_5 , min	50.48	27.88	46.73
Losses of time due to reasons independent of the researched machine, min	13.83	-	8.65
T_{81} , min ⁴	13.83	-	8.65

¹ $T_1 = T_{1L} + T_{1JL} + T_{1R} + T_{1P} + T_{1M} + T_{1Z} + T_{1O}$; T_{1L} – the time, within which machine was loading wood, moving on working area; T_{1JL} – the load drive time from stump area to wood storage place other bucking place; T_{1R} – the time of wood unloading using hydraulic crane; T_{1P} – the time, within which machine was driving with wood from bucking place to pile of wood; T_{1M} – lay in a pile of wood time; T_{1Z} – the time of wood pieces catching; T_{1O} – uncoupling time in lay in a pile of wood place

² $T_2 = T_{22} + T_{23S}$; T_{22} – waste drive time from wood unloading place to loading place; T_{23S} – the time of wood bucking

³ T_{41} – technological faults deletion time

⁴ T_{81} – losses of time from organizational reasons

4. Discussion

In Poland, the economic effectiveness of the solutions used in forestry operations has been especially important since establishing privately owned forestry companies in the early 1990s. Consequently, the effectiveness assessed at individual workplaces has become essential (Sowa et al., 2007).

The productivity is expressed as the size of the product (service rendered) per unit time (Glazar and Wojtkowiak, 2009). The time encompasses not only one category, but also consists of many components that create a working shift. The more widely the time of the product creation is considered

(the effective time, operational time, etc.), the more objective is the assessment of a given technology (Sowa et al., 2007).

In forestry operations, the condition for achieving high performance is, among others, selection of appropriate technical means, fitting forest stand and terrain characteristics, as well as applicable techniques of wood cutting, stacking or leaving behind certain wood assortments on tree felling areas (Maksymiak and Grygier, 2008; Suwała, 2002).

In the present study, the research plots selected were similar in terms of terrain conditions. The areas were slightly hilly with no barriers that could possibly hinder wood skidding.

Table 3. The basic technical and economic indicators of the analyzed skidding machines

Indicator / Unit	Skider LKT 81	Pronar 1221A agricultural tractor with hydraulic tongs	Forwarder John Deere 1110D
Effective active time T_1/h , min	2.81	3.67	4.09
Operative active time T_{02} , min	4.10	5.94	5.32
Working shift time T_{04} , min	4.17	5.97	5.32
Total shift time T_{07} , min	5.01	6.44	6.24
Control shift time T_{08} , min	5.24	6.44	6.38
Effective efficiency $W_1/m^3 \cdot h^{-1}$	22.16	16.71	25.37
Operational efficiency $W_{02}/m^3 \cdot h^{-1}$	15.19	10.33	19.50
Efficiency in working shift time $W_{04}/m^3 \cdot h^{-1}$	14.93	10.28	19.50
Efficiency in total shift time $W_{07}/m^3 \cdot h^{-1}$	12.43	9.53	16.63
Efficiency in control shift time $W_{08}/m^3 \cdot h^{-1}$	11.88	9.53	16.26
Technological robustness coefficient K_{41}	0.98	1.00	1.00
Technical robustness coefficient K_{42}	1.00	1.00	1.00
Working shift time use coefficient K_{04}	0.67	0.61	0.77
Total shift time use coefficient K_{07}	0.56	0.57	0.65
Effective labour consumption $P_1/h \cdot m^{-3}$	0.045	0.060	0.039
Operative labour consumption $P_{02}/h \cdot m^{-3}$	0.066	0.097	0.051
Labour consumption in working shift time $P_{04}/h \cdot m^{-3}$	0.067	0.097	0.051
Labour consumption in total shift time $P_{07}/h \cdot m^{-3}$	0.080	0.105	0.060
Labour consumption in control shift time $P_{08}/h \cdot m^{-3}$	0.084	0.105	0.061

The obtained results draw attention to the size of wood logs picked by the examined skidding means. The agricultural tractor Pronar 1221A equipped with hydraulic tongs was able to move around two logs (sometimes one) at a time, whereas the LKT 81 skidder picked several logs (from three to eight). In this case, the average load thickness in one skidding cycle was 2.97 m^3 , which corresponds with the results reported by Grieger et al. (2016). The forwarder JD 1110D loaded comparatively the highest number of logs, and this resulted in the fact that it made the smallest number of trips. The average skidding distance was 200 m on plot no. III, which is twice as long as those on plots no. I and II (100 m); nevertheless, the forwarder achieved the highest efficiency when compared to that of other skidding means examined under the conditions of the present study. As reported by Suwała and Rządowski (2001), in comparison with a skidder,

the difference in work efficiency in favour of a forwarder clearly increases with an increasing skidding distance.

In order to make the most of the space for storing raw wood material, both the skidder LKT and the tractor Pronar 1221A were stacking the logs using a decking blade. The time needed for making wood piles was 32 and 27 min, respectively. The forwarder JD 1110D did not perform such activities due to its technical structure. Wood raw material was moved to a pile by means of the hydraulic clamps. After arranging the thickest trunk section, the operator often corrected the position of the log rear part, then grabbed it and placed on the pile. The time for these activities was classified in the category unloading wood. When stacking logs with a hydraulic crane in high piles, the available space for storing wood was maximised, which undoubtedly had an effect on the overall value of skidding effectiveness. In the

absence of space for storing wood, the operator is forced to transport wood over increasing distances.

Important information is that the forwarder examined in this study was not equipped to operate long logs. Without changing the equipment setup (converting), the machine forwarded long logs first and then short logs.

For organisational and economic reasons, the possibility of using forwarders for long log skidding is very important from the point of view of machine owners (Grodecki and Stempski, 2002). However, it should be remembered that skidding should be carried out in accordance with the health and safety regulations, using appropriate equipment – using tractors adapted to semi-suspended timber skidding in the case of long log skidding (Domzalska, 2016). According to Grodecki and Stempski (2002), converting the machine to the clumbank version expands the scope of works that can be carried out. The use of non-converted machinery can lead to accelerated wear of vehicle structural components.

In practice, machines used for long log skidding are usually those that are not converted.

According to Grodecki and Stempski (2002), long log skidding with a forwarder in the clumbank version at smaller distances (up to 100 m) was characterised by higher effectiveness compared to short log skidding carried out with a forwarder designed for long or short logs or crosscut logs. Above a distance of 300 m, the effectiveness achieved by a clumbank skidding long logs was much lower, and this difference widened as the distance increased.

A detailed analysis of individual work time categories can contribute to the optimisation of the work processes. The share of work time categories during the work shift and methodology of classification of the activities are important in assessing effectiveness.

According to the results of Durek and Gendek (2016), the operational time is the real time of machine operation and it can include the duration of all technological operations. In the case of a forwarder, it is the time of trip from the timber yard established nearby the cutting area to the first collection of raw wood material, the time of crane operation during wood loading, the time of trips between consecutive wood piles, the time of trip with wood load from the wood division area to the wood storage area and the time of wood unloading. These time periods depend on technical parameters of the machine, the tasks performed, and the natural and forest conditions in a given area.

The operational work time usually amounts to 70% of the entire work shift (Glazar and Wojtkowiak, 2009).

In the case of the technical measures analysed, the ratio of the operational time to the control shift time was 78% for the skidder, 92% for the agricultural tractor and 83% for the

forwarder. The coefficients of utilisation of the shift work time (K_{04}) and the overall shift time (K_{07}) were 0.67 and 0.56, respectively, for the skidder, 0.61 and 0.57, respectively, for the agricultural tractor and 0.77 and 0.65, respectively, for the forwarder.

In the 95-year-old Scots pine stand, in the case of skidding by means of a harwarder, the ratio of operational time to the control shift time was 79%. The coefficients of utilisation of the shift work time (K_{04}) and the overall shift time (K_{07}) were slightly higher when compared to skidding with a forwarder, and amounted to 0.79 and 0.73, respectively (Glazar and Maciejewska, 2008).

During the tests carried out under the conditions of the present study, the highest performance values in all time categories identified were achieved in the case of skidding using the forwarder JD 1110D.

Proper estimation of time-consuming levels is a key issue for both service providers (allows for rational pricing of services) and payers (allows for establishing realistic prices and eliminating discounted offers) (Szewczyk et al., 2013).

In clear-cut areas of Scots pine stands with large thickness, the short-wood method was proposed (using the harvester and forwarder); the long-wood method including felling, delimiting and dividing was carried out with the harvester, in addition to log skidding carried out with the skidder or the forwarder (for shorter logs), especially at small distances (Suwała and Jodłowski, 2002).

For higher value timber assortments, the harvester can be replaced with a saw.

The effectiveness of skidding improves with increasing the average log thickness and decreasing the stand density within the felling areas, which facilitate the movement of skidding means (Dudek, 2010b).

The works associated with wood harvesting and skidding are one of the most labour intensive (Szewczyk et al., 2013), but the machines currently used in these processes achieve very high operational efficiency (Długosiewicz and Grzebiñowski, 2009; Maksymiak and Grygier, 2008; Walsh and Strangard, 2014).

In recent years, a boost in specialised equipment for forestry works has been observed. This is a signal of rapid changes taking place in the technologies of wood harvesting and skidding, as well as in the organisation of works in the companies providing forestry services. The changes are forced by both situation on the national labour market and migration to other countries in search for better-paid jobs. Ecological and quality requirements for wood raw material also play a role in these processes. Political and economic changes that took place in Poland after 1989 resulted in rapid changes in rural areas. Wherever work requires a lot of energy and physical effort, a growing shortage of manpower

has been observed. In modern times, hard physical work is not attractive for young people. In Poland, every third forestry company is short of employees (Nowacka, 2009).

5. Conclusions

For all the work time categories examined, forwarder skidding was characterised by the highest performance values. Despite the favourable results when compared with other skidding means tested, it should be kept in mind that the tested forwarder employed for skidding long logs was not adapted for this kind of forestry operation. Therefore, the present results should not be perceived as a recommendation for using the method described in practice.

Long log skidding using the skidder proved to be more efficient when compared to skidding using agricultural tractor equipped with hydraulic tongs.

Conflict of interest

The authors declare no potential conflicts.

Acknowledgement and source of funding

The research was financed by own resources.

References

- BN-76/9195-01. Maszyny rolnicze. Podział czasu pracy. Symbole i określenia.
- Botwin M. 1993. Podstawy użytkowania maszyn leśnych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Byblyuk N., Byblyuk N. 2007. Transport leśny w Karpatach: aspekty historyczne i inżynierijno-ekologiczne. *Prace Komisji Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych PAU* 9: 9–18.
- Chmielewski S., Porter B. 2012. Waloryzacja wybranych metod pozyskiwania i zrywki drewna w sosnowych drzewostanach przedrębnych. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 3: 23–25.
- Długosiewicz L., Grzebieniowski W. 2009. Porównanie wybranych technologii pozyskania drewna pod względem wydajności i kosztów. *Inżynieria Rolnicza* 8(117): 7–13.
- Domżańska T. 2016. Specjalistyczne maszyny leśne. Cz. I. Pozyskanie i zrywka drewna. *Inspektor Pracy* 3(397): 20–25.
- Dudek T. 2009. Wydajność zrywki drewna długiego na zrębnie zupełnym ciągnikiem rolniczym z wciągarką lub kleszczami hydraulicznymi. *Sylwan* 153(6): 386–392.
- Dudek T. 2010a. Badanie wydajności technologii zrywki drewna w lasach górskich. Część 1. Drzewostany przedrębne. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 3: 3–5.
- Dudek T. 2010b. Badanie wydajności technologii zrywki drewna w lasach górskich. Część 2. Drzewostany rębne. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 4: 2–4.
- Dudek T. 2011. Efektywność wybranych technologii zrywki drewna krótkiego w lasach górskich. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 2: 8–10.
- Dudek T. 2012. Efektywność wybranych technologii zrywki drewna długiego w lasach górskich. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 2: 14–16.
- Glazar K., Maciejewska H. 2008. Struktura czasu i wydajność pozyskiwania i zrywki drewna w drzewostanach sosnowych przy użyciu harwardera Buffalo Dual. *Inżynieria Rolnicza* 99(1): 273–281.
- Glazar K., Wojtkowiak R. 2009. Koszty pracy maszyn leśnych. PIMR, Poznań. ISBN 978-83-927505-2-9.
- Grieger A., Sedlak P., Stawicki T., Lewaszkiwicz Ł. 2016. Analiza wydajności wywozu drewna ze zrębu w zależności od rodzaju środka zrywkowego. *Autobusy* 6: 574–577.
- Grodecki J., Stempki W. 2002. Analiza porównawcza wydajności zrywki ciągnikiem typu forwarder i klembank. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 486: 203–208.
- Jabłoński K., Stempki W. 2015. Optymalizacja zrywki drewna według kryterium minimalizacji pracy transportowej. *Sylwan* 159(7): 540–548.
- Jodłowski K. 2009a. Maszyny wielooperacyjne, techniki i technologie pozyskania oraz zrywki drewna stosowane w drzewostanach starszych klas wieku. *Biblioteczka Leśniczego* 294: 3–12.
- Jodłowski K. 2009b. Klasyfikacja maszyn wielooperacyjnych. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 107: 7–11.
- Jodłowski K. 2010. Maszynowe technologie pozyskania i zrywki drewna stosowane na powierzchniach zrębowych. *Biblioteczka Leśniczego* 313: 3–16.
- Kulak D., Stańczykiewicz A., Szewczyk G., Kobiałka P. 2013. Wpływ zrywki drewna z użyciem ciągników typu skider na uszkodzenia gleby w górskich drzewostanach jodłowo-bukowych. *Forestry Letters* 105(3): 35–46.
- Laurow Z. 1999. Pozyskiwanie drewna. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Maciak A., Popczyński B. 2019. Wpływ sposobu zrywki i doświadczenia wykonawcy na wielkość uszkodzeń drzew na powierzchniach trzebieżowych Nadleśnictwa Chojnów. *Sylwan* 163(1): 25–34.
- Maksymiak M., Grieger A. 2008. Analiza wydajności pracy przy maszynowym pozyskaniu drewna na przykładzie harwestera Valmet 901.3 I forwardera Valmet 840.2 *Inżynieria Rolnicza* 99(1): 273–281.
- Nowacka W.Ł. 2009. Ergonomia i bezpieczeństwo prac w stosowanych technologiach pozyskania i zrywki drewna maszynami wielooperacyjnymi. *Biblioteczka Leśniczego* 283: 3–16.
- Nurek T., Gendek A. 2016. Wpływ wybranych czynników logistycznych na wydajność i koszty eksploatacji maszyn leśnych. *Ekonomika i Organizacja Logistyki* 1(2): 45–55.
- Poje A., Potočnik I., Danilovič M., Antonič S. 2016. A Case Study of the Impact of Skidding Distance on Tractor Operator Exposure to Noise. *Baltic Forestry* 22(2): 357–364.
- Porter B., Strawa P. 2006. Analiza pozyskiwania i zrywki drewna w drzewostanach jodłowych. *Sylwan* 1: 67–72.
- Sosnowski J. 2003. Zasady proekologicznej zrywki drewna w warunkach gospodarki leśnej w górach. *Sylwan* 5: 58–64.

- Sosnowski J., Porczak K. 2005. Comparison of technical and economic indexes of logging by means of the tractor and the horse on the example of the Krasiczyn Forest District. *Zeszyty Akademii Rolniczej w Krakowie, Sesja Naukowa* 91: 267–273.
- Sowa J.M., Kulak D. 2008. Charakterystyka uszkodzeń powierzchniowych warstw gleby podczas zrywki drewna ciągnikami rolniczymi w trzebieżowych drzewostanach sosnowych. *Inżynieria Rolnicza* 99(1): 353–361.
- Sowa J.M., Kulak D., Leszczyński K., Szewczyk G. 2007. Związki struktury dnia roboczego z fizjologiczną gotowością do pracy na stanowisku operatora pilarki spalinowej. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych. Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk* 101: 205–215.
- Sowa J.M., Szewczyk G. 2005. The analysis of the relationships between the structure of a workday and the actual skidding distance in selected timber harvesting technologies during thinning, in: *Proceedings Ecological, Ergonomic and Economical Optimization of Forest Utilization in Sustainable Forest Management*. Kraków-Krynica, 283–290.
- Sowa J.M., Szewczyk G. 2010. Time consumption of skidding in mature stands performer by means of winches aggregated with farm tractor. *Proceedings of FORMEC 2010, Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment*, Padova, Italy, ISBN/ISSN 978 88 6129 569 8.
- Stempki W. 2007. Efektywność pozyskania drewna kłodowanego w użytkowaniu rębny drzewostanów sosnowych. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych* 101: 223–231.
- Suwała M. 2002. Wydajność pracy i koszt jednostkowy pozyskiwania drewna w wybranych rębniach złożonych na terenach nizinnych. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria A* 4(946): 43–71.
- Suwała M., Jodłowski K. 2002. Wpływ procesów technologicznych na wydajność pracy i koszty pozyskiwania drewna w drzewostanach sosnowych starszych klas wieku. Cz. II. Zręby zupełne. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria A* 3(939): 43–64.
- Suwała M., Rzadkowski S. 2001. Wydajność pracy, koszty i uszkodzenia drzew przy pozyskiwaniu drewna w trzebieżach drzewostanów górskich. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria A* 1(911): 85–111.
- Szewczyk G., Sowa J., Kulak D., Stańczykiewicz A. 2013. Podstawy metodyczne waloryzacji uzupełniających czasów pracy w operacjach pozyskiwania i zrywki drewna. *Forestry Letters* 105: 47–56.
- Szewczyk G., Stańczykiewicz A. 2012. Model szacowania pracochłonności pozyskiwania drewna w drzewostanach ze śniegołomami. *Leśne Prace Badawcze* 73(2): 167–173. DOI 10.2478/v10111-012-0017-1.
- 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.

Authors' contributions

K. Sz. – manuscript concept, literature review, methodology, preparation of the results, discussion – 50%, manuscript writing – 100%;

P. I. – manuscript concept, literature review, methodology, preparation of the results, discussion – 50%, field work – 100%.