

TADEUSZ MOSKALIK, JAROSŁAW SADOWSKI, DARIUSZ ZASTOCKI

Wybrane technologiczne i ekonomiczne aspekty balotowania pozostałości pozrębowych

Some technological and economic aspects of logging residues bundling

ABSTRACT

Moskalik T., Sadowski J., Zastocki D. 2016. Wybrane technologiczne i ekonomiczne aspekty balotowania pozostałości pozrębowych. Sylwan 160 (1): 31-39.

As the access to the fossil fuels is limited, renewable energy sources have been especially intensively promoted in recent years, namely biomass. A comparatively large amount of biomass can be obtained from forests. This refers to round wood characterized by low technical quality, small-sized wood, and logging residues. Under Polish conditions, the potential amount of logging residues is estimated at 3-5 Mio. m³ per year, depending on different scenarios of their utilization. Intense development of technologies for energy acquisition from the forest biomass has provided conditions facilitating the use of logging residues on an industrial scale. One of the possible solutions is bundling. In this process slash is compacted into cylindrical log-like units with diameter of ca. 65-75 cm and length of 2.5-3.0 m. The bundles can be forwarded to the roadside landing with standard forwarders and transported to the terminal or end-user with trucks utilized, first of all, by a round wood hauling. The John Deere slash bundler 1490D was the subject of the study. The basic unit of the bundling device was an eight-wheel forwarder. The study area was located in north-eastern Poland and comprised 10 selected plots. They represent coniferous stands, dominated by Scots pine with various fraction of Norway spruce and scattered birches. The aim of the paper was to estimate the basic technological and economic parameters of the bundling machine, working in clear cuts with two variants of logging residues concentration. In the first variant they were not especially accumulated, evenly distributed over the area. In the other one they were gathered into piles. The structure of a working day, work productivity rates, and the costs were determined. The bundler productivity rate depends largely on the extent the slash is prepared. When it is concentrated in piles, the machine does not have to travel over the entire work area to gather scattered material. In this case, the average productivity was 21.85 bundles/h. In the variant with scattered logging residues, work efficiency equaled 15.19 bundles/h. The hourly cost of the bundler use reached 289.42 PLN. The unit costs were at the level of 52.91 PLN/m³ (variant 1) and 38.54 PLN/m³ (variant 2).

KEY WORDS

bundling, slash, forest biomass, renewable energy, work and cost-efficiency

ADDRESSES

Tadeusz Moskalik – e-mail: tadeusz.moskalik@wl.sggw.pl

Jarosław Sadowski – e-mail: jarsadowski@poczta.onet.pl

Dariusz Zastocki – e-mail: dariusz.zastocki@wl.sggw.pl

Katedra Użytkowania Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-767 Warszawa

Wstęp

Wraz z przystąpieniem Polski do Unii Europejskiej pojawiła się w naszym kraju konieczność dostosowania się do prawnych uregulowań unijnych. Unia stawia sobie za cel osiągnięcie do 2020 roku 20-procentowego udziału energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) w całkowitym jej zużyciu. W przypadku Polski poziom ten został ustalony na minimum 15% [Dyrektywa... 2009]. Dla wypełnienia przyjętych celów niezbędne jest podjęcie odpowiednich działań związanych z wprowadzaniem nowych technologii produkcji energii, m.in. opartych na biomasie. O możliwości wykorzystania tego rodzaju surowca decyduje powszechne jego występowanie oraz stosunkowo niskie koszty przetwarzania na energię.

Znaczna część biomasy przeznaczanej do celów energetycznych może pochodzić również z terenów leśnych. Dotyczy to drewna okrągłego o niskiej jakości technicznej, drewna małowymiarowego oraz pozostałości pozrębowych. W ostatnim okresie duże zainteresowanie skupione jest na pozostałościach pozrębowych. Przez wiele lat z tej części biomasy leśnej wyrabiane było głównie drewno małowymiarowe, tzw. gałęziówka, wykorzystywane przez społeczności lokalne do celów grzewczych. Coraz częściej jednak chętne do odbioru tego surowca są także duże ciepłownie bądź elektrociepłownie [Moskalik i in. 2013]. Pionierami wykorzystania pozostałości pozrębowych na dużą skalę, z zastosowaniem zaawansowanego oprzyrządowania techniczno-technologicznego, są przede wszystkim kraje skandynawskie [Hakkila, Parikka 2002]. Najczęstszym sposobem ich obróbki jest zrębkowanie, które może mieć miejsce bezpośrednio na powierzchni zrębowej lub przy drodze wywozowej [Yoshioka i in. 2006; Stampfer, Kanzian 2006; Eker 2011; Röser i in. 2012].

W latach 90. ubiegłego wieku wprowadzono nowe możliwości technologiczne przetwarzania pozostałości, m.in. poprzez ich kompresję do postaci balotów. Operacja ta nazywana jest balotowaniem lub pakietowaniem. Należy jednak zauważyć, że większość instalacji energetycznych wymaga dostarczenia surowca w postaci zrębków, ze względu na łatwość ich dozowania oraz większe możliwości kontrolowania procesów. Tak też postępuje się z balotami [Jodłowski 2004].

W metodzie produkcji balotów z pozostałości pozrębowych wykorzystywana jest maszyna kompaktująca, najczęściej zamontowana na podwoziu forwardera [Rummer i in. 2003; Spinelli i in. 2007; Laitila i in. 2013; Moskalik i in. 2013]. W warunkach górskich wykorzystywane są również rozwiązania, w których maszyną bazową jest samochód wysokotonażowy, a surowiec przeznaczony do balotowania został uprzednio zmagazynowany na składnicy przy drodze leśnej [Spinelli i in. 2012b]. Na świecie występuje kilka typów balociarek. Najwięcej egzemplarzy zostało dotąd wyprodukowanych przez firmę John Deere. Spotykane są również modele innych producentów: Woodpac Enfo 2000, Fixteri Baller, Flexus Tornado czy Pinox 828/830 [Chlebowski, Jabłoński 2012].

Podawanie surowca i jego kompaktowanie jest procesem ciągłym. Można wyodrębnić w nim jednak trzy podstawowe fazy. W pierwszej następuje wstępne ściśnięcie surowca za pomocą rolek podających. Następnie dokonywane jest w prasie dalsze jego kompaktowanie w kształcie prostokąta. Fazę tę kończy wiązanie balotu za pomocą sznurka. Przybiera on wtedy formę cylindryczną. Przerzynka balotów na odcinki odpowiedniej długości wykonywana jest za pomocą piły łańcuchowej, będącej częścią składową całego zestawu. Typowe parametry balotu kształtują się następująco: średnica 65-75 cm, długość 2,5-3,0 m, średnia masa 418 kg, miąższość 0,5 m³ i wartość energetyczna 1 MWh [Kärhä, Vartiamaäki 2006].

Dotychczas prowadzone badania odnoszące się do balociarek skoncentrowane były w większości przypadków na analizie wydajności ich pracy [Cuchet i in. 2004; Zychowicz, Sosnowska

2007; Moskalik, Sadowski 2008; Lindroos i in. 2010] bądź kształtowania się kosztów [Rummer i in. 2003; Stampfer, Kanzian 2006; Laitila i in. 2013]. Rzadko natomiast zajmowano się analizą struktury dnia roboczego.

Celem niniejszego artykułu jest analiza podstawowych parametrów technologicznych i ekonomicznych związanych z wytwarzaniem balotów bezpośrednio na powierzchni zrębowej.

Materiał i metody

Badania dotyczące efektywności produkcji balotów przeprowadzono w północno-wschodniej Polsce na wybranych 10 powierzchniach zrębowych położonych w drzewostanach sosnowo-świerkowych, czasami z nielicznie występującą brzozą (tab. 1). Udział pozostałości pozrębowych w stosunku do całej nadziemnej biomasy leśnej był zróżnicowany, wahając się od 6,12 do 16,53%. Analizowano pracę pakieciarki John Deere 1490D. Jednostką bazową urządzenia pakietującego jest ośmiokołowy forwarder napędzany silnikiem John Deere 6068 HTJ.

Badania zostały przeprowadzone w dwóch wariantach. Pierwszy z nich (W1) dotyczył powierzchni, na których pozyskanie drewna przeprowadzone zostało w wykorzystaniem pilarek spalinyowych i pozostałości były rozłożone mniej więcej równomiernie na całej powierzchni. Drugi wariant (W2) związany był z maszynowym pozyskiwaniem drewna i akumulacją surowca. Drzewa wycinano bowiem w taki sposób, aby po obróbce kilku z nich możliwa była koncentracja luźnych pozostałości w postaci stosu. Dla każdego z wariantów okres obserwacji wynosił 50 godzin pracy maszyny. Analizowano strukturę dnia roboczego, wydajność pracy oraz średnie koszty godzinowe i jednostkowe.

W celu określenia struktury dnia roboczego wykorzystano metodę chronometrażu ciągłego z podziałem czasu pracy maszyny pakietującej na następujące elementy składowe:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$$

gdzie:

Tabela 1.

Powierzchnia (A [ha]), udział [%] brzozy, sosny i świerka (odpowiednio Brz, So i Św) oraz struktura pozyskania drewna (W – wielkowymiarowe, S – średniowymiarowe, PP – pozostałości pozrębowe [m³/ha]) dla badanych powierzchni badawczych

Area (A [ha]), fraction [%] of birch, pine and spruce (Brz, So and Św respectively) and harvest structure (W – large size timber, S – medium size timber, PP – slash [m³/ha]) for analysed study plots

	A	Brz	So	Św	W	S	PP
W11	2,66	0,0	54,4	45,6	278,34	138,42	59,21
W12	2,43	2,0	63,4	34,6	211,37	89,72	22,41
W13	2,53	1,8	87,7	10,5	213,32	51,62	47,43
W14	2,11	0,4	91,5	8,1	310,45	70,71	24,88
W15	1,92	0,0	96,4	3,6	264,59	45,95	22,79
Średnia Mean		0,84	78,68	20,48	255,61	79,28	35,34
W21	2,46	0,3	68,8	30,9	184,63	70,26	36,06
W22	1,14	0,0	30,7	69,3	207,72	98,9	60,96
W23	1,09	2,0	44,9	53,1	239,55	111,62	25,14
W24	1,23	0,0	99,9	0,1	249,30	28,19	28,46
W25	0,90	0,0	95,0	5,0	305,13	28,19	28,46
Średnia Mean		0,46	67,86	31,68	237,27	67,43	35,82

- T – czas zmiany roboczej [h],
 T_1 – załadunek surowca (czas rozpoczynający się od momentu złapania przez chwytak pozostałości pozrębowych znajdujących się bezpośrednio na powierzchni zrębowej do chwili ich podania na stół balociarki),
 T_2 – pakietowanie (czas trwający od momentu uchwycenia surowca przez rolki ściskające do zakończenia obwiązywania sznurkiem wytworzonych balotów),
 T_3 – odcięcie balotów (czas mierzony od chwili rozpoczęcia pracy piły łańcuchowej do momentu zetknięcia się balotu z powierzchnią gruntu),
 T_4 – przejazdy (czas przemieszczania się maszyny pomiędzy stanowiskami pracy),
 T_5 – przerwy (czas przeznaczony na naprawy, serwis oraz odpoczynek operatora maszyny).

Wydajność pracy [m^3] ustalono dla każdej godziny z osobna na podstawie liczby wyprodukowanych balotów. W wyniku pomiarów terenowych ustalono, że średnia miąższość 1 balotu wynosi $0,9 m^3$. W celu obliczenia wydajności zastosowano współczynnik zamienny 0,4. Bezpośrednie koszty godzinowe [zł/h] obliczono z wykorzystaniem programu „The Machine Cost Calculation – Business Model”. Program ten został opracowany w ramach akcji COST FP0902 „Development and harmonization of new operational research and assessment procedures for sustainable forest biomass supply”, w której autorzy niniejszego artykułu brali udział. Koszty jednostkowe [zł/ m^3] określono, dzieląc koszty godzinowe przez uzyskaną godzinową wydajność pracy.

O zastosowaniu w praktyce konkretnego rozwiązania technologicznego decyduje przede wszystkim efektywność ekonomiczna. Do obliczenia bezpośrednich kosztów godzinowych w przypadku analizowanej maszyny przyjęto, że cena zakupu wynosi 1 752 000 zł, wartość maszyny po okresie amortyzacji to 10% od ceny zakupu, a okres eksploatacji 20 000 h. Stopę procentową ustalono na 8%, a ubezpieczenie maszyny na 6250 zł. Przyjęto, że cena paliwa wyniesie 4,7 zł/l, a jego jednostkowe zużycie 11 l/h. Oleje i smary stanowić będą 20% zużycia paliwa. Koszty napraw i serwisu wyniosą 60% ceny zakupu, a ogumienia 50 000 zł. Przewidywaną żywotność opon ustalono na 14 000 h. Liczba zmian pracy wyniesie 1, a płaca operatora maszyny brutto 30 zł/h.

Uzyskane rezultaty poddano obróbce statystycznej z wykorzystaniem pakietu Statistica 10.

Wyniki

Średnia miąższość pozostałości zrębowych w poszczególnych wariantach była zbliżona, wynosząc odpowiednio 35,34 i 35,82 m^3 . Zaznaczyć należy, że w przypadku jednogatunkowych drzewostanów sosnowych występują problemy z utrzymaniem formy balotów. Zdarza się bowiem ich przełamywanie w trakcie opadania na ziemię. Domieszka świerka sprawia, że są one zdecydowanie sztywniejsze. Średni czas zmiany roboczej w obydwóch wariantach był zbliżony, wynosząc odpowiednio 8,20 i 8,09 godziny. W wariantcie 1, w którym pozostałości były rozproszone, najwięcej czasu (42,8%) zużyto na formowanie ładunku oraz jego załadunek do gardzieli maszyny. Udział tego czasu był mniejszy w wariantcie 2, wynosząc 32,26%. Znaczący udział w strukturze zajmuje także operacja formowania balotów (T_2), w której pozostałości transportowane były na stół podawczy, a następnie przemieszczane do zespołu pras formujących. Udział tego czasu zajmuje odpowiednio 27,20 i 37,71%. W przypadku czasu T_1 różnice wynikają przede wszystkim z faktu innego sposobu akumulacji surowca, co przekłada się na odpowiednio dłuższe formowanie ładunku w wariantcie pierwszym. Wytwarzane baloty miały średnicę około 70 cm. Po ich wytworzeniu następowało oplatanie sznurkiem z tworzywa sztucznego. Zużywano około 60 m sznurka na 1 balot. Po uformowaniu balotu odpowiedniej długości (2,4 m) następowało jego odcięcie piłą łańcuchową (T_3).

Chociaż obserwowane różnice procentowe czasu T_2 są znaczne, wynosząc odpowiednio 27,20 i 37,71%, to jednak w przeliczeniu na jeden wyprodukowany balot uzyskane wyniki są porównywalne. W wariancie pierwszym formowanie balotu trwa bowiem 1,07, a w drugim 1,09 minuty. Czas przerzynki balotów był również podobny, wynosząc odpowiednio 0,15 i 0,14 minuty. Duże rozproszenie surowca w wariancie pierwszym wymagało znacznie więcej przejazdów maszyny po powierzchni (T_4), co ma swoje odzwierciedlenie w osiągniętych wynikach. Różnica pomiędzy zastosowanymi wariantami jest znaczna i wynosi 0,21 min/balot.

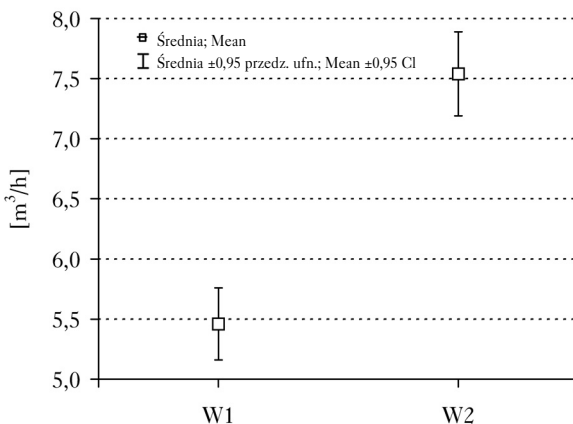
Do czasu przerw (T_3) zaliczono obsługę techniczną, przerwy organizacyjne oraz związane z odpoczynkiem operatora maszyny. W ramach obsługi technicznej prowadzone były drobne naprawy oraz wymiana piły łańcuchowej (średnio 3-4 razy dziennie, co około 30-60 balotów). Częstotliwość tej czynności zależała przede wszystkim od stopnia zanieczyszczenia pozostałości. W czasie zmiany roboczej operator 2-3 razy przesmarowywał głowicę kompaktującą. Obsługa techniczna obejmowała także uzupełnianie paliwa, co miało miejsce po wykonaniu około 130-150 balotów.

Na rycinie przedstawiono kształtowanie się średniej wydajności pracy dla analizowanych wariantów. Bardziej efektywny był ten, w którym pozostałości zostały uprzednio przygotowane w stosy (W2). Średnia wydajność w tym przypadku wyniosła $7,51 \text{ m}^3/\text{h}$, co odpowiada wyprodukowaniu 20,86 balotu/h. Natomiast tam, gdzie pozostałości były rozproszone, zanotowano wydajność na poziomie $5,47 \text{ m}^3/\text{h}$ (15,19 balotu/h). Stwierdzono istotne różnice między wydajnością uzyskaną w wariantach ($p=0,0000$).

Koszty całkowite użycia pakieciarki wynoszą $289,42 \text{ zł/h}$ (koszty stałe $133,75 \text{ zł/h}$, koszty zmienne $118,17 \text{ zł/h}$, robocizna $37,50 \text{ zł/h}$), co odpowiada około 70 €/h (marzec 2015). Bezpośrednie koszty jednostkowe kształtują się natomiast poziomic $38,54 \text{ zł/m}^3$ (wariant 1) i $52,91 \text{ zł/m}^3$ (wariant 2).

Dyskusja

W Polsce do roku 2004 najpowszechniej stosowaną metodą utylizacji pozostałości po zrębnych, po uprzednim wyrobieniu surowca opałowego z grubszych gałęzi (M2), było ich spalanie bezpośrednio na powierzchni. Od 2005 roku, głównie ze względów ekologicznych, wprowadzono w Lasach Państwowych zakaz takiego postępowania. Dodatkowo rosnące zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii powoduje, że intensywnie rozwijane są na skalę przemysłową technologie uzyskiwania energii z pozostałości po zrębnych. Jednym z takich rozwiązań jest ich



Ryc.
Wydajność pracy przy balotowaniu pozostałości po zrębnych w analizowanych wariantach
Work productivity rate of slash bundling in analysed variants

Tabela 2.

Struktura dnia roboczego balotowania pozostałości poźrębowych i średni czas wytworzenia 1 balotu [min] w analizowanych wariantach

Structure of working day by logging residues bundling and average time of 1 bundle producing [min] in analysed variants

	W1			W2		
	h	%	balot	h	%	balot
T ₁ – Załadunek surowca						
Loading	3,51	42,8	1,70	2,62	32,26	0,93
T ₂ – Pakietowanie						
Bundling	2,23	27,20	1,07	3,05	37,71	1,09
T ₃ – Odcięcie balotów						
Cutting	0,32	3,90	0,15	0,39	4,82	0,14
T ₄ – Przejazdy						
Driving	0,98	11,95	0,47	0,76	9,39	0,26
T ₅ – Przerwy						
Delays	1,16	14,15	0,56	1,28	15,82	0,46
Razem						
Total	8,20	100,00	3,95	8,09	100,00	2,88

balotowanie. Potencjalna wielkość tego rodzaju biomasy oceniana jest w warunkach polskich na 3-5 mln m³ rocznie, w zależności od przyjętych scenariuszy wielkości pozyskania drewna.

Osiągnięcie wymiernych korzyści związane jest z koniecznością kompaktowania surowca na początku procesu logistycznego, bezpośrednio na powierzchni zrębowej. Z tego względu balociarka powinna zostać zamontowana na podwoziu umożliwiającym swobodne poruszanie się po powierzchni [Ranta 2002; Laitila i in. 2013]. Baloty transportowane są następnie do drogi wywozowej środkami nasiębiernymi, używanymi do zrywki drewna okrągłego. W tym celu wykorzystywane są forwardery lub ciągniki rolnicze z przyczepami samozaładowczymi. Dalszy transport balotów na terminal bądź do zakładu końcowego wykonywany jest samochodami wysokotonazowymi.

Jednym z najważniejszych czynników mających wpływ na efektywność pracy w procesie technologicznym produkcji balotów są warunki terenowe. Od ukształtowania terenu zależy stopień trudności wykonywanych prac. Analizowane powierzchnie badawcze były stosunkowo łatwo dostępne dla maszyn. Wszystkie dotyczyły zrębów zupełnych, wykonywanych głównie w drzewostanach z przeważającym udziałem sosny.

Wydajność pracy uzyskana w trakcie przeprowadzonych badań – wynosząca 20,86 balotu/h w wariancie, w którym pozostałości zostały skupione w stosy, i 15,19 balotu/h w przypadku, gdy były one rozproszone – jest z reguły porównywalna z wynikami osiągniętymi przez innych autorów (tab. 3). Występujące różnice wynikają przede wszystkim z nieco innych uwarunkowań wykonywania tej operacji. Według danych literaturowych wydajność nie przekracza jednak 24 balotów na godzinę [Rummer i in. 2003; Cuchet i in. 2004; Ghaffariyan i in. 2011; Jabłoński, Chlebowski 2012]. Trudniejsze górskie warunki, przy często występujących przejazdach maszyn pomiędzy składnicami, przyczyniają się do uzyskiwania mniejszej wydajności, w granicach 8-14 balotów na godzinę [Stampfer, Kanzian 2006; Spinelli i in. 2007]. W każdym przypadku ważne jest także doświadczenie operatora maszyny. Różnice w wydajności pracy, biorąc pod uwagę tylko ten czynnik, mogą sięgać nawet 30% [Spinelli i in. 2012a].

Bezpośrednie godzinowe koszty użycia balociarki w Polsce są nieco niższe w porównaniu z krajami Europy Zachodniej czy USA, przede wszystkim z powodu różnic w zarobkach opera-

Tabela 3.

Wydajność pracy oraz koszty produkcji balotów z pozostałości pozrębowych w różnych warunkach drzewostanowych

Work productivity rate and costs of slash bundles production in different forest conditions

Autor Author	Maszyna Mashine	Wydajność Productivity	Koszty Costs	Kraj Country	Warunki drzewostanowe Stand conditions
		6 balotów/h			Sosna (całe małe drzewa) Pine (whole small trees)
Rummer i in. 2003	Timberjack 1490D, podwozie forwarder	11-19 balotów/h	130 \$/h = 82 €/h	USA	Sosna (pozostałości pozrębowe) Pine (slash)
		24 baloty/h			Sosna (całe drzewa) Pine (whole trees)
Cuchet i in. 2004		11-24 balotów/h		Francja	Orzech, grab, topola, sosna Nut, hornbeam, poplar, pine
Stampfer, Kanzian 2006	Timberjack 1490D, podwozie samochód Man	9-13 balotów/h	180 €/h	Austria	Świerk, trzebież Norway spruce, thinning
Kärhä, Varti- mäki 2006	Timberjack 1490D Fiberpack 370	18,1 balotu/h		Finlandia	Świerk, zrąb zupełny Norway spruce, clear cut
Spinelli i in. 2007	Timberjack 1490D, podwozie samochód wysokotonażowy	4,5 t suchej masy/h	159 €/h	Włochy	
Zychowicz, Sosnowska 2007	Timberjack 1490D, podwozie forwarder	12,8 m ³ /h 16 balotów/h		Polska	Sosna, zrąb zupełny Scots pine, clear cut
Lindroos i in. 2010	GTK 4800, podwozie samochód wysokotonażowy	9-13 balotów/h		Finlandia	Sosna, świerk Scots pine, Norway spruce
Spinelli i in. 2012a	Timberjack 1490D podwozie samochód wysokotonażowy 6x6 MAN	8-14 balotów/h		Włochy	Średnia z 37 tygodni pracy maszyny Mean from 37 weeks of work

torów i użycia innego podwozia (tab. 3). W warunkach amerykańskich zastosowanie podobnej maszyny było nieco droższe (o około 10 €/h). Jak podają Stampfer i Kanzian [2006] oraz Spinelli i in. [2007], użycie maszyn na podwoziu samochodu wysokotonażowego związane było z kosztem zdecydowanie większym, wynoszącym około 160-180 €/h. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że duży wpływ na istniejące różnice może mieć w tym przypadku także przyjęta metodologia obliczania kosztów.

Analizując strukturę dnia roboczego, można zauważyć duże różnice w czasie trwania operacji związanych z formowaniem ładunku i przemieszczaniem go na stół podawczy. Wynikają one z nieco innej akumulacji surowca. Choć zauważalne są także duże różnice czasu związanego z kompaktowaniem i tworzeniem balotów, to jednak w odniesieniu do jednego wyprodukowanego balotu czas ten w obydwu przypadkach kształtuje się na podobnym poziomie. Znacznie większe rozproszenie pozostałości w wariantcie pierwszym wymagało więcej przejazdów maszyny po powierzchni. Różnica pomiędzy zastosowanymi wariantami jest znaczna. Pakietowanie pozostałości pozrębowych jest jednym z elementów łańcucha logistycznego. Efektywność stosowania całego procesu, w skład którego wchodzi analizowana operacja, zależy również od dobrej koordynacji innych działań związanych z pozyskiwaniem drewna, transportem pozostałości, ich rozdrabnianiem oraz spalaniem.

Wnioski

- ✦ Rosnące zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii przyczynia się do poszukiwania nowych technologii opartych także o biomasę leśną. Jednym z możliwych rozwiązań w tym zakresie jest użytkowanie pozostałości pozrębowych poddanych procesowi pakietowania.
- ✦ Osiągnięta wydajność pracy stosowanego procesu zależy w dużej mierze od stopnia akumulacji pozostałości na powierzchni zrębowej. W przypadku ich skoncentrowania w stosy czas przejazdów maszyny jest bowiem zdecydowanie krótszy w porównaniu do technologii, gdzie materiał rozproszony jest po całej powierzchni. Wcześniejsze zgromadzenie surowca w postaci stosów przyczyniło się do wzrostu wydajności o około 37%.
- ✦ Efektywność ekonomiczna balotowania pozostałości pozrębowych, wyrażona bezpośrednimi kosztami jednostkowymi, uzależniona jest od poziomu kosztów godzinowych oraz od wydajności pracy. Koszty godzinowe użycia analizowanej maszyny wynoszą 289,42 zł/h, a jednostkowe kształtują się na poziomie 38,54 zł/m³ (wariant z akumulacją pozostałości pozrębowych w stosy) i 52,91 zł/m³ (wariant bez akumulacji surowca).
- ✦ Pakietowanie pozostałości pozrębowych może stanowić interesującą alternatywę dla technologii opartych o zrębkowanie surowca bezpośrednio na powierzchni cięć. W tym przypadku możliwe jest bowiem wykorzystanie standardowego transportu służącego jednocześnie do wywozu drewna okrągłego.

Literatura

- Chlebowski K., Jabłoński K. 2012. Pakietowanie pozostałości zrębowych nowym sposobem wykorzystania biomasy leśnej do celów energetycznych. *Sylvan* 156 (4): 315-320.
- Cuchet E., Roux P., Spinelli R. 2004. Performance of a logging residue bundler in the temperate forests of France. *Biomass and Bioenergy* 27 (1): 31-39.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. 2009. Dz. U. UE L 09.140.16.
- Eker M. 2011. Assessment of procurement systems for unutilized logging residues for Brutian pine forest of Turkey. *African Journal of Biotechnology* 10 (13): 2455-2468.
- Ghaffariyan M. R., Andonovski V., Brown M. 2011. Application of a slash-bundler for collecting harvest residues in eucalyptus plantations. *Silva Balcanica* 1-2: 83-89.
- Hakkila P., Parikka M. 2002. Fuel resources from the forest. Bioenergy from sustainable forestry. Guiding principles and practice. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers. 19-48.
- Jabłoński K., Chlebowski K. 2012. Struktura czasu roboczego i wydajności pracy podczas pakietowania pozostałości zrębowych pakietarką John Deere 1490E. *Nauka Przyroda Technologie* 3 (6): 1-10.
- Jodłowski K. 2004. Technologia i technika pozyskiwania drewna na cele energetyczne. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 87: 17-24.
- Kärhä K., Vartiamaäki T. 2006. Sustainable production systems for bioenergy: Forest energy in practice. Annual Workshop of IEA Bioenergy Task 31 (4). Garpenderg. Gran. 30 (12).
- Laitila J., Kilponen M., Nuutinen Y. 2013. Productivity and cost-efficiency of bundling logging residues at roadside landing. *Croatian Journal of Forest Engineering* 34 (2): 175-187.
- Lindroos O., Matison M., Johansson P., Nordfjell T. 2010. Productivity of a prototype truck-mounted logging residue bundler and a road-side bundling system. *Silva Fennica* 44 (3): 547-559.
- Moskalik T., Sadowski J. 2008. Performance and costs of the logging residues bundling in mature Scots pine stands. *Formec* 2008. Kuratorium für Forstarbeit und Forsttechnik. Gross-Umstadt. 150-158.
- Moskalik T., Sadowski J., Sarzyński W., Zastocki D. 2013. Efficiency of slash bundling in mature coniferous stands. *Scientific Research and Essays*. 8 (31): 1478-1486.
- Ranta T. 2002. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production – a GIS-based availability and cost supply analysis. Lappeenranta University of Technology. Finland. Acta Universitatis Lappeenrantaensis 128.
- Röser D., Mola-Yudego B., Prinz R., Emer B., Sikanen L. 2012. Chipping Operations and Efficiency in Different Operational Environments. *Silva Fennica* 46 (2): 275-286.

- Rummer B., Len D., O'Brien O. 2003.** Forest Residues Bundling Project. New Technology for Residue Removal. Internal Report. U. S. Department of Agriculture. Forest Service. Forest Operations Research Unit. Southern Research Station, Auburn, Alabama.
- Spinelli R., Lombardini C., Magagnotti N. 2012a.** Annual usage and long-term productivity of a truck-mounted slash bundler under mountain conditions. *European Journal of Forest Research* 131: 821-827.
- Spinelli R., Magagnotti N., Picchi G. 2012b.** A supply chain evaluation of slash bundling under the conditions of mountain forestry. *Biomass and Bioenergy* 36: 339-345.
- Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. 2007.** Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps. *Croatian Journal of Forest Engineering* 28: 1-9.
- Stampfer K., Kanzian Ch. 2006.** Current state and possibilities of wood chip supply chains in Austria. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 27: 135-145.
- Yoshioka T., Aruga K., Nitami T., Sakai H., Kobayashi H. 2006.** A case study on the cost and the fuel consumption of harvesting transporting and chipping chains for logging residues in Japan. *Biomass and Bioenergy* 30: 342-348.
- Zychowicz W., Sosnowska A. 2007.** Effectiveness of exploitation of wood slash bundling machine Timberjack 1410D. *Technika Rolnicza i Leśna* 4.