

# Energochłonność procesu balotowania pozostałości pozrębowych

Tadeusz Moskalik, Wiesława Ł. Nowacka, Jarosław Sadowski, Dariusz Zastocki

**Abstrakt:** Konieczność przeciwdziałania zmianom klimatycznym i zobowiązania wynikające z umów międzynarodowych sprawiają, że ciągle wzrasta zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii. Jedną z możliwości jest w tym zakresie wykorzystanie biomasy leśnej. Dotyczy to zwłaszcza pozostałości pozrębowych. Najczęściej spotykaną technologią ich utylizacji w warunkach europejskich jest zrębkowanie bezpośrednio na powierzchni lub przy drodze wywozowej. Od kilkunastu lat jednak, z coraz większym powodzeniem, wprowadzane są rozwiązania umożliwiające kompresję biomasy w postaci tworzonych balotów.

Celem niniejszych badań było określenie energochłonności procesu balotowania pozostałości pozrębowych z wykorzystaniem pakieciarki John Deere 1490, pracującej na zrębach zupełnych w drzewostanach iglastych, przy zróżnicowanym stopniu przygotowania materiału. Pierwszy z wariantów dotyczył powierzchni, na których pozyskanie odbywało się na poziomie ręczno-maszynowym, a pozostałości pozrębowe były rozłożone równomiernie na całej powierzchni i nie dokonano ich akumulacji. Drugi związany był z maszynowym pozyskiwaniem drewna, wykonanym harvesterem, gdzie drzewa ścinane były w taki sposób, aby od razu po obróbce kilku z nich możliwa była koncentracja pozostałości w postaci stosu. Osiągnięte rezultaty badań wskazują na duże różnice w energochłonności obydwóch procesów. W wariacie pierwszym nakład energetyczny wyniósł 103,67 MJ/m<sup>3</sup>, w drugim natomiast 78,33 MJ/m<sup>3</sup>.

**Słowa kluczowe:** energia odnawialna, pozostałości pozrębowe, balociarka, energochłonność procesu.

**Abstract: Energy consumption of the logging residues bundling process.** The necessity to counteract against climactic changes and obligations resulting from international agreements contribute to the still growing interest in renewable energy sources. One of the possibilities in this area is utilization of forest biomass. This refers especially to logging residues. Under European conditions, the most frequently implemented technology of their utilization is chipping, either directly at the site or at the forest roadside. However, for over a dozen years now, with more and more success, such solutions have been implemented which make it possible to compress the biomass into bundles.

The aim of the present study was to estimate an energy consumption of a John Deere 1490 bundler working on clear cuts with various degrees of material preparation. It was stated that the most efficient variant was the one in which logging residues were gathered into piles prior to bundling. In that case, average energy consumption equaled 103,67 MJ/m<sup>3</sup>, whereas in the case when the residues were scattered on the all area the efficiency amounted to 78,33 MJ/m<sup>3</sup>.

**Key words:** renewable energy, logging residues, slash bundler, energy consumption.

## Wstęp

Obserwowany w różnych częściach świata intensywny rozwój społeczny i gospodarczy przyczynia się do zwiększonego zainteresowania różnego rodzaju nośnikami energii. Szacuje się, że w ciągu najbliższych trzydziestu lat zapotrzebowanie na energię wzrośnie średnio o 30%, a w krajach rozwijających się nawet o około 60% (The Outlook for Energy 2012). Wyczerpywanie się kopalnych zasobów służących do produkcji energii sprawia, że poszukiwane są nowe technologie jej uzyskiwania, oparte na źródłach odnawialnych (OZE).

Promowanie wykorzystania OZE pozwala na zwiększenie stopnia dywersyfikacji źródeł dostaw oraz stworzenie warunków do rozwoju energetyki rozproszonej opartej na lokalnie dostępnych surowcach. Biorąc pod uwagę warunki klimatyczne oraz geograficzne Polski, uważa się, że jedno z podstawowych źródeł energii może stanowić biomasa. O możliwościach wykorzystania tego rodzaju surowca jako odnawialnego źródła energii decydują powszechne jej występowanie oraz stosunkowo niskie koszty przetworzenia na energię. Stosunkowo duża część biomasy przeznaczanej do tych celów może pochodzić z terenów leśnych. Dotyczy to drewna okrągłego o niskiej jakości technicznej, drewna małowymiarowego oraz pozostałości pozrębowych.

Ostatni okres charakteryzuje się znacznym zainteresowaniem użytkowaniem pozostałości pozrębowych. Przez dziesiątki lat z tego surowca wyrabiane było głównie drewno małowymiarowe, wykorzystywane przez społeczność lokalną do celów grzewczych. Pozostałe części w postaci drobnych gałązek oraz igliwia rozdrabniane były specjalistycznymi maszynami bezpośrednio na powierzchni zrębowej, stanowiąc rezerwuar substancji pokarmowych dla następnych pokoleń drzewostanów (Sadowski i Moskalik 2007, Sadowski et al. 2012).

Coraz częściej jednak chętnie do odbioru pozostałości pozrębowych są duże ciepłownie bądź elektrociepłownie. Pionierami ich wykorzystania na dużą skalę są kraje skandynawskie (Hakkila i Parikka 2002). Najczęstszym sposobem ich przygotowania do spalania jest rozdrobnienie do postaci zrębków, które wykonywane jest przy drodze wywozowej (Yoshioka et al. 2005, Moskalik i Sadowski 2008, Röser et al. 2012). Zrębkowanie może również odbywać się bezpośrednio na zrębie, na terminalu lub przy zakładzie ciepłowniczym.

Od kilkunastu lat z coraz większym powodzeniem stosowane jest balotowanie (nazywane również pakietowaniem). Technologia ta należy do jednych z najnowszych rozwiązań. Należy jednak zauważyć, że większość instalacji energetycznych wymaga dostarczenia surowca w postaci zrębek ze względu na łatwość jego dozowania oraz większe możliwości kontrolowania procesów. Tak też się dzieje z balotami (Jodłowski 2004).

Na świecie produkowanych jest kilka typów maszyn pakietujących. Najwięcej jednak rozwiązań opartych jest o technologię opracowaną przez firmę Timberjack (obecnie po przekształceniu własnościowych firmę John Deere). W tabeli 1 przedstawiono modele produkowanych obecnie pakieciarek oraz charakterystykę tworzonych przez nie balotów.

Badania prowadzone nad pakieciarkami, w większości przypadków skoncentrowane były na analizie wydajności ich pracy (Cuchet et al. 2004). Dotyczyły one takich maszyn, w których urządzenie robocze zamontowane zostało na bazie forwardera. Tam, gdzie pozwalały na to warunki terenowe, możliwy był dojazd maszyn bezpośrednio na powierzchnię zrębową. W drzewostanach górskich, przy dużych nachyleniach stoków, nie ma natomiast możliwości wjazdu takich maszyn bezpośrednio do drzewostanów. Proces pozyskiwania

drewna opiera się o wykorzystanie kolejek linowych. Przy zastosowaniu tego rozwiązania pozostałości poźrębowe są akumulowane na przydrożnych składnicach. Do ich pakietowania wykorzystywane są balociarki zamontowane na samochodach (Kanzian 2005, Spinelli et al. 2012).

Operacja pakietowania ma istotne znaczenie z punktu widzenia energochłonności całego łańcucha dostaw biomasy leśnej, od chwili jej wytworzenia aż do jej dostarczenia do miejsca spalania.

Celem niniejszego opracowania jest analiza efektywności energetycznej procesu balotowania pozostałości poźrębowych.

## Material i metodyka badań

Obiektem badań jest pakieciarka John Deere 1490D. Jednostką bazową urządzenia pakietującego jest ośmiokołowy forwarder napędzany silnikiem John Deere 6068 HTJ o mocy 136 kW. Masa całego zestawu wynosi 23 000 kg.

Badania zostały przeprowadzone w dwóch wariantach. Pierwszy z nich (W1) dotyczył powierzchni, na których pozostałości poźrębowe były rozłożone równomiernie i nie dokonano ich akumulacji. Druga technologia związana była z maszynowym pozyskiwaniem drewna wykonanym harwesterem, przy czym drzewa wycinane były w taki sposób, aby od razu po obróbce kilku z nich możliwa była koncentracja pozostałości poźrębowych w postaci stosu (W2).

**Tab. 1.** Parametry balotów produkowanych przez różne pakieciarki (Chlebowski, Jabłoński 2012)

*Table 1. Parameters of bundles produced by different bundling machines (Chlebowski and Jabłoński 2012)*

Parametr	Woodpac Enfo 2000	Fixteri Baller	Flexus Tornado	Pinox 828/830	John Deere 1490D
Długość [cm]	240–300	260–270	135	260–350	230–250
Średnica [cm]	60–80	80	125	70–80	50–80
Masa [kg]	400–600	300–450	300–350	400–650	300–700
Metoda wiązania	sznurek	sznurek	siatka	sznurek	sznurek
Wydajność pracy [balotów/h]	20–25	7–12	20–25	20–25	25–30

Podstawą określenia efektywności pracy pakieciarki były pomiary terenowe wykonane na terenie Nadleśnictwa Żednia, na wybranych trzech powierzchniach dla każdego wariantu. Trwały one jeden dzień roboczy (ok. 8 h) na każdej z nich. Dokładna charakterystyka powierzchni badawczych zawarta została w tabeli 2. Na wszystkich powierzchniach znajdowały się drzewostany iglaste z dominującym udziałem sosny i świerka. W celu obliczenia energochłonności procesu konieczne było również określenie wydajności pracy analizowanej maszyny, wyrażonej w m<sup>3</sup>/h.

**Tab. 2.** Charakterystyka powierzchni badawczych  
*Table 2. Characteristics of research plots*

Nr	Powierzchnia [ha]	Struktura gatunkowa drzewostanu [%]			Struktura pozyskania drewna		
		Brzoza	Sosna	Świerk	W	S	Pozostałości pozrębowe
					[m <sup>3</sup> /ha]	[m <sup>3</sup> /ha]	[m <sup>3</sup> /ha]
W11	2,66	0,00	54,40	45,60	278,34	138,42	59,21
W12	2,43	2,00	63,40	34,60	211,37	89,72	22,41
W13	2,53	1,80	87,70	10,50	213,32	51,62	47,43
Średnia		1,27	68,50	30,23	234,34	93,25	43,02
W21	2,46	0,30	68,80	30,90	184,63	70,26	36,06
W22	1,14	0,00	30,70	69,30	207,72	98,9	60,96
W23	1,09	2,0	44,90	53,10	239,55	111,62	25,14
Średnia		0,77	48,13	51,10	210,63	93,59	40,72

Średnia miąższość jednego balotu wynosiła 0,9 metra przestrzennego. Przy przeliczaniu na metry sześciennie zastosowano współczynnik zamienny 0,4.

Energochłonność procesu pakietowania określono, biorąc pod uwagę nie tylko zużycie materiałów związanych z eksploatacją maszyny, ale także energię niezbędną do jej wyprodukowania. Całkowitą energię związaną z produkcją oraz eksploatacją maszyn leśnych w okresie ich użytkowania obliczono w przeliczeniu na 1 m<sup>3</sup> pozyskanej biomasy, według następującej formuły (Lindholm et al. 2010 z modyfikacjami):

$$E_m = \frac{1,2(0,85E_s M + 0,15E_g M + E_p M)}{LW_p} \quad [\text{MJ}/\text{m}^3]$$

gdzie:

- $E_s$  – energia zużyta przy produkcji stali [MJ];
- $E_g$  – energia zużyta przy produkcji gumy [MJ];
- $E_p$  – energia zużyta przy produkcji maszyny [MJ];
- $M$  – masa maszyny [Mg];
- $L$  – żywotność maszyny [h]; w obliczeniach przyjęto 20000 h;
- $W_p$  – wydajność pracy [m<sup>3</sup>/h];
- 1,2 – współczynnik korygujący związany ze zużyciem części zamiennych.

Produkcja sprzętu została podzielona na dwie części: surowiec do produkcji oraz proces wytworzenia produktu. Przyjęto, że maszyny leśne w 85% składają się z metalu oraz w 15% z gum i plastików (Athanassiadis et al. 2002). Zużycie energii przy produkcji stali jest na poziomie 20,6 MJ/kg. Do tego należy doliczyć nakład energii poniesiony na jej wydobycie w ilości 2 MJ/kg. Nakład energii na produkcję gumy wynosi 23,4 MJ/kg. Przy analizie zużycia energii również należy uwzględnić produkcję maszyn. W przypadku maszyn leśnych jest to wielkość 14,6 MJ/kg.

W badaniach założono, że inne produkty olejowe: smary, oleje hydrauliczne, przekładniowe oraz oleje silnikowe mają te same właściwości jak olej napędowy. W obliczeniach przyjęto następujące charakterystyki paliw (IPCC 2006): olej napędowy – wartość opałowa (43,33 MJ/kg), gęstość (0,83 kg/l). Energia zużyta podczas produkcji oleju napędowego wynosi ok. 4,5 MJ/l (Klvač et al. 2012).

Uzyskane rezultaty poddano obróbce statystycznej z wykorzystaniem pakietu Statistica 10.

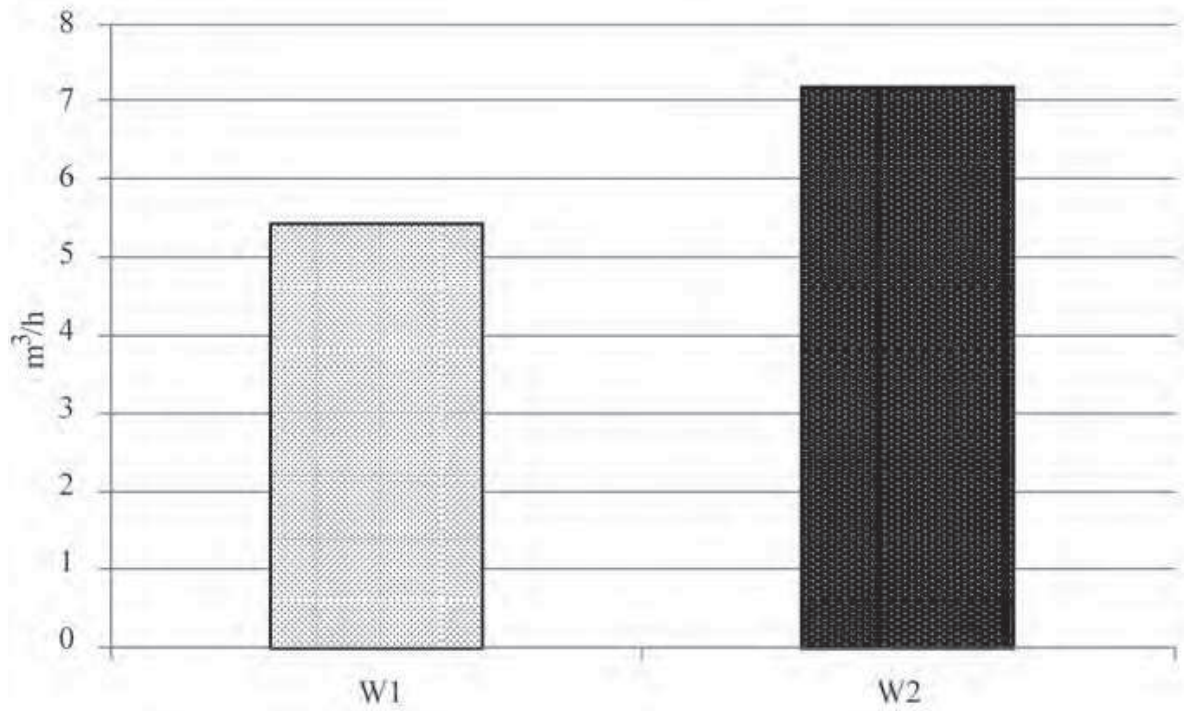
## Wyniki badań

Udział sosny i świerka na powierzchniach, na których prowadzono badania, był zróżnicowany. Zaznaczyć należy, że w przypadku samych drzewostanów sosnowych występują problemy z utrzymaniem formy balotów. Zdarza się bowiem ich przełamywanie w trakcie opadania na ziemię. Domieszka świerka sprawia, iż są one sztywniejsze.

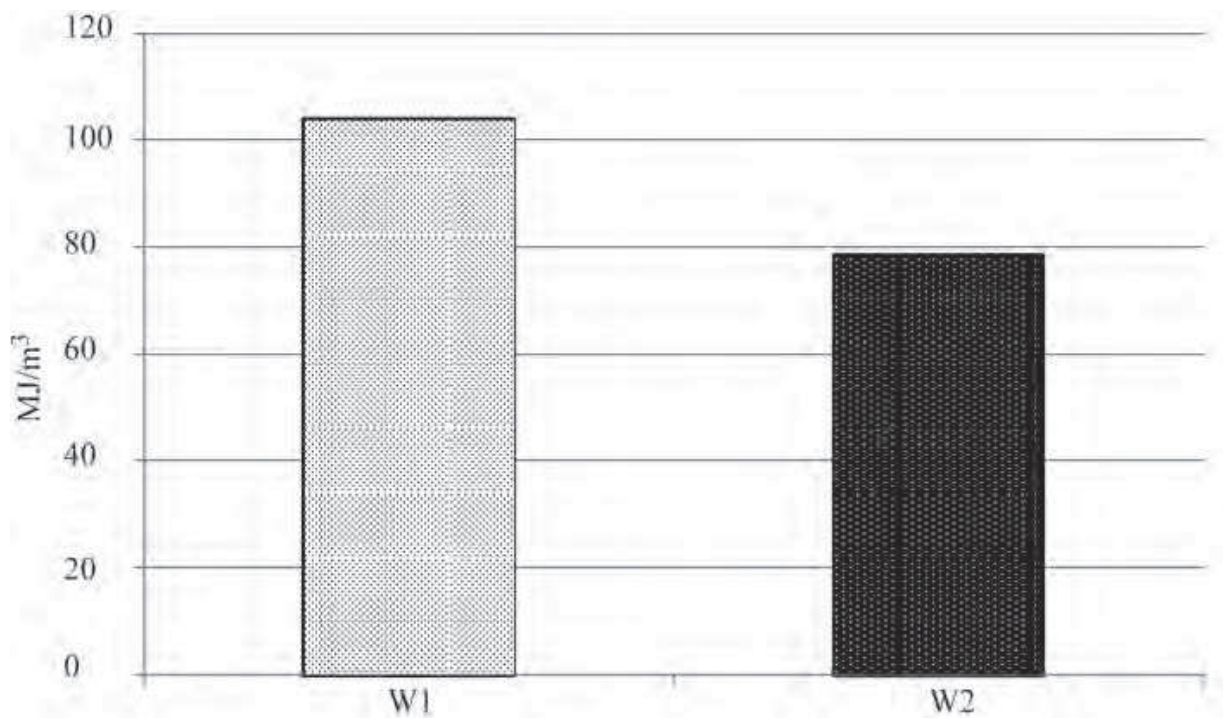
Ważnym elementem oceny procesów, szczególnie tych związanych z produkcją surowca energetycznego, jest określenie nakładów zużytej energii. W przypadku analizowanej maszyny nakłady te wynoszą 563,96 MJ/h. Do wyprodukowania samej maszyny obliczony nakład energetyczny wynosi 51,50 MJ/h. Większość niezbędnych nakładów związana jest w tym przypadku ze zużytym paliwem oraz olei. Średnie zużycie oleju napędowego wyniosło 11 l/h. Przy zużyciu olei założono następujące dane: olej hydrauliczny 300 l na 1000 h pracy maszyny, olej przekładniowy 150 l na 1000 h, olej silnikowy 24 l na 500 h i olej do smarowania piły łańcuchowej 3 l na ośmiogodzinny dzień pracy.

Określenie wydatku energetycznego, niezbędnego do skompresowania biomasy leśnej w postaci balotów, w przeliczeniu 1 m<sup>3</sup>, wymagało również przeprowadzenia pomiarów terenowych zmierzających do obliczenia wydajności pracy.

Na rycinie 1 przedstawiono kształtowanie się tego parametru dla analizowanych wariantów. Bardziej efektywnym pod względem wydajności pracy był ten, w którym pozostałości zostały uprzednio przygotowane w stosy. Średnia wydajność w tym przypadku wyniosła 7,20 m<sup>3</sup>/h. Tam zaś, gdzie były one rozproszone, zanotowano wydajność na poziomie 5,44 m<sup>3</sup>/h. Stwierdzono ponadto, że różnice pomiędzy wydajnością uzyskaną w wariantach są statystycznie istotnie (tabela 3).



**Ryc. 1.** Średnia wydajność pracy balotowania pozostałości pozrębowych w poszczególnych wariantach  
*Fig. 1. Average work productivity rate of logging residues bundling in variants*



**Ryc. 2.** Średnia energochłonność balotowania pozostałości pozrębowych w poszczególnych wariantach  
*Fig. 2. Average energy use of logging residues bundling for specific variants*

**Tab. 3.** Określenie istotności różnic wydajności pracy oraz nakładu energetycznego w analizowanych wariantach

Table 3. Results of testing the significance of the differences between average work productivity rate and energy use of the variant processes

W1 vs. W2	Średnia W 1	Średnia W 2	t	df	p	N ważnych W1 i W 2	Odch. std W 1	Odch. std W 2	iloraz F Wariancje	p Wariancje
Wydajność pracy	5,44	7,20	5,257	46	0,000004	24	0,99	1,30	1,717967	0,201966
Nakład energetyczny	103,67	78,33	4,424	46	0,000059	24	24,70	16,13	2,344639	0,046350

W związku z osiągnięciem różnej wydajności pracy również energochłonność balotowania była w poszczególnych wariantach zróżnicowana. Była ona odpowiednio wyższa w wariancie pierwszym (103,67 MJ/m<sup>3</sup>), w którym pozostałości pozrębowe nie były grupowane w stosunku do wariantu drugiego, gdzie takie grupowanie miało miejsce (78,33 MJ/m<sup>3</sup>). Podobnie jak w przypadku wydajności pracy, także w odniesieniu do średnich wartości nakładów energetycznych stwierdzono statystycznie istotne różnice między wariantami.

## Dyskusja

W Polsce do roku 2004 najpowszechniej stosowaną metodą utylizacji pozostałości zrębowych, po uprzednim wyrobieniu surowca opałowego z grubszych gałęzi, było ich spalanie bezpośrednio na powierzchni. Zauważalny w ostatnim okresie intensywny rozwój technologii uzyskiwania energii z biomasy leśnej stwarza warunki do wykorzystania pozostałości pozrębowych na skalę przemysłową. Jednym z możliwych do przyjęcia rozwiązań jest ich balotowanie.

Każda działalność przemysłowa związana jest z wydatkiem energii. Ważnym czynnikiem, mającym wpływ na kształtowanie się bilansu energetycznego, jest energochłonność procesu związanego z produkcją balotów, ich transportem i dalszą obróbką. Przeprowadzone badania dotyczyły określenia pierwszego z tych elementów.

Duży wpływ na kształtowanie się nakładów energetycznych, co dowiodły przeprowadzone badania, ma sposób przygotowania pozostałości pozrębowych poddanych balotowaniu. Ich koncentracja na powierzchni przyczyniła się do osiągnięcia znacznie wyższej, o nieco ponad 30%, wydajności pracy. Miało to odpowiednie przełożenie także w nakładach energetycznych.

W przypadku balotowania pozostałości pozrębowych podawane w literaturze wyniki związane z energochłonnością procesów są bardzo zróżnicowane. Czasami oparte są one o metodę LCA (*Life Cycle Assessment*), obejmującą cały cykl życia produktu, a czasami tylko o zużycie materiałów pędnych. Stąd też w literaturze spotkać można różne wartości od ok. 47 do nieco ponad 120 MJ/m<sup>3</sup> (Jabłoński i Różański 2003, Lindholm et al. 2010, Liška et al. 2011). Osiągnięte wyniki są pod tym względem porównywalne z danymi literaturowymi. W związku z tym, że analiza obejmowała nie tylko zużycie materiałów pędnych, ale również nakłady energetyczne na budowę i naprawę maszyn, to są one wyraźnie przesunięte w kierunku wartości wyższych.

Ważnym czynnikiem stanowiącym o efektywności procesów są jednocześnie warunki terenowe. Od ukształtowania terenu zależy bowiem stopień trudności wykonywanych prac. Powierzchnie, na których prowadzono badania, były stosunkowo łatwo dostępne dla maszyn. Wszystkie dotyczyły zrębów zupełnych wykonywanych głównie w drzewostanach z przeważającym udziałem sosny. Nie bez znaczenia jest także doświadczenie operatora maszyny, którego poziom może być przyczyną różnic w wydajności pracy, a w konsekwencji w nakładach energetycznych dochodzących do 30% (Spinelli i inni 2012).

Pakietowanie pozostałości po zrębowych 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 i spalaniem.

## Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Stale rosnące na świecie 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 po zrębowych poddanych procesowi pakietowania.
2. Efektywność stosowania tego procesu, wyrażona uzyskaną wydajnością pracy, zależy w dużej mierze od sposobu przygotowania pozostałości na powierzchni leśnej. W przypadku ich skoncentrowania w stosach nie ma konieczności przejazdów maszyny po całej powierzchni roboczej w celu zbierania rozproszonego materiału, co przekłada się na wzrost wydajności o około 30%.
3. Użycie pakieciarki związane jest z określonym nakładem energetycznym. Obliczony zgodnie z przyjętym algorytmem nakład wyniósł 563,96 MJ/h, przy czym ok. 10% tej wartości dotyczyło samej maszyny, a pozostałe 90% użytych materiałów eksploatacyjnych. Energochłonność jednostkowa, w przeliczeniu na 1 m<sup>3</sup> balotów wyniosła odpowiednio 103,67 MJ/m<sup>3</sup> w wariacie, w którym surowiec był rozporoszony po powierzchni i 78,33 MJ/m<sup>3</sup> przy jego koncentracji w stosach.

*Badania wykonano w ramach grantu międzynarodowego niewspółfinansowanego „Efektywność procesów pozyskiwania, przetwarzania i dostaw biomasy leśnej do celów energetycznych” finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonywanego w ramach COST ACTION FP0902 „Development and harmonization of new operational research and assessment procedures for sustainable forest biomass supply”.*

## Literatura

- Athanassiadis D., Lidestav G., Nordfjell T. 2002. Energy use and emissions due to the manufacture of a forwarder. *Resour Conserv Recycling*. Nr 34, s. 149–160.
- Chlebowski K., Jabłoński K. 2012. Pakietowanie pozostałości zrębowych nowym sposobem wykorzystania biomasy leśnej do celów energetycznych. *Sylwan R.* 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*. Vol. 27 (1): 31–39.
- Hakkila P., Parikka M. 2002. Fuel resources from the forest. *Bioenergy from sustainable forestry. guiding principles and practice*. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers: 19–48.
- IPCC (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- Jabłoński K., Róžański H. 2003. Prospects for fuel wood harvesting in Poland. *Acta Scientiarum Polonorum. Seria Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*. Poznań. 2(1): 19–26.
- Jodłowski K. 2004. Technologia i technika pozyskiwania drewna na cele energetyczne. *Postępy Techniki w Leśnictwie*. 87: 17–24.
- Kanzian Ch. 2005. Bereitstellung von Waldhackgut Verfahren Energieholzbuendeln im Gebirge. [www.fpp.at/pics/download/energieholzbuendel\\_2005\\_endbericht.pdf](http://www.fpp.at/pics/download/energieholzbuendel_2005_endbericht.pdf).
- Klvač R., Fischer R., Skoupý A. 2012. Energy use of and Emissions from the Operation Phase of a Medium Distance Cableway System. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 33(1).
- Liška S., Klvač R., Skoupý A. 2011. Evaluation of John Deere 1490D operation phase in typical conditions of the Czech Republic. *Journal of Forest Science*. 57(9): 394–400.
- Lindholm E-L., Berg S., Hansson P-A. 2010. Energy efficiency and the environmental impact of harvesting stumps and logging residues. *European Journal of Forest Resources*. 129:1223–1235.
- Moskalik T., Sadowski J., 2008. Performance and costs of the logging residues bundling in mature Scots pine stands. *Formec. Kuratorium für Forstarbeit und Forsttechnik. Gross-UmRöser 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.
- Sadowski J., Moskalik T. 2007. Technologiczne i ekologiczne aspekty wykorzystania pozostałości zrębowych na cele energetyczne. *Biomasa dla elektroenergetyki i ciepłownictwa – szanse i problemy*. Wydawnictwo „Wieś Jutra”. Warszawa. s. 193–197.
- Sadowski J., Moskalik T., Zastocki D., Wrona T. 2012. Wybrane gospodarcze i przyrodnicze aspekty zagospodarowania pozostałości zrębowych. *Stud. i Mat. CEPL Rogów*. R. 32 (3).
- Spinelli R., Magagnotti N., Picchi G. 2012. A supply chain evaluation of slash bundling under the conditions of mountain forestry. *Biomass and Bioenergy*. 36: 339–345.
- The Outlook for Energy. A View to 2040. 2012. ExxonMobil report.
- 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.

**Tadeusz Moskalik, Wiesława Ł. Nowacka,  
Jarosław Sadowski, Dariusz Zastocki**  
Katedra Użytkowania Lasu  
Wydział Leśny  
SGGW w Warszawie  
tadeusz.moskalik@wl.sggw.pl