

# OPTYMALNE TECHNOLOGIE POZYSKIWANIA DREWNA ENERGETYCZNEGO Z CIĘĆ RĘBNYCH. CZĘŚĆ II. BALOTY Z POZOSTAŁOŚCI ZRĘBOWYCH

Streszczenie

*Drewno energetyczne jest obecnie pożądanym surowcem drzewnym i istnieją różne technologie jego pozyskiwania. Praca przedstawia proces technologiczny pozyskiwania drewna energetycznego w postaci pakietów wykonanych z pozostałości zrębowych. Podczas prowadzonych badań została przeprowadzona analiza czasu pracy poszczególnych operacji technologicznych, ich energochłonność oraz określono masę pozyskanych sortymentów i liczbę wykonanych pakietów. Badania wykazały, że najbardziej pracochłonną operacją technologiczną pozyskiwania pakietów z pozostałości zrębowych było pakietowanie, a jej pracochłonność wynosiła  $0,08 \text{ mth/m}^3$  (wydajność  $13 \text{ m}^3/\text{mth}$ ). Analiza energochłonności technologii pakietowania pozostałości zrębowych i dostarczania w tej postaci biomasy energetycznej do odbiorcy wykazała, że łączne nakłady energii wynosiły  $169 \text{ MJ/m}^3$  surowca zawartego w pakiecie, co stanowi około 2-3% energii w nim zawartej.*

**Słowa kluczowe:** drewno; energia odnawialna; zrębki energetyczne; energochłonność; baloty

## Wprowadzenie

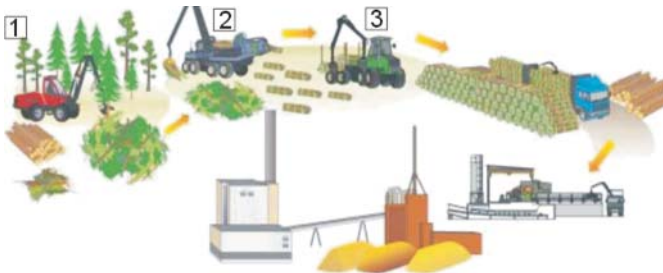
W leśnictwie wielofunkcyjnym lasom przypisuje się różne funkcje: ekologiczne, ochronne, społeczne oraz produkcyjne. Funkcja produkcyjna od wieków stanowiła o istotnym znaczeniu lasu dla cywilizacji ludzkiej. Las jest źródłem surowca, budowlanego, do przerobu tartacznego, celulozowo-papierniczego, a także energetycznego. Surowiec energetyczny pozyskiwany w lesie może mieć różną formę, w zależności od tego, z jakiej części arbomasy użytkownik go pozyskuje oraz jaką technologię stosuje. Mimo, że dominującym rodzajem surowca energetycznego jest drewno okrągłe (surowiec opałowy), na znaczeniu zyskuje surowiec wywożony z lasu w postaci drewna sypkiego (zrębków) lub balotów (pakietów) wytworzonych z materiału gałęziowego. W ostatnich dziesięcioleciach nastąpił intensywny rozwój konstrukcji maszyn przeznaczonych do pozyskiwania drewna do celów energetycznych. Rozwój ten w dużej mierze spowodowany został wzrostem zapotrzebowania na odnawialne źródła energii i rozwojem technologicznym instalacji ciepłowniczych, które przystosowane są do spalania drewna w różnej postaci, w tym w postaci balotów wykonanych z materiału gałęziowego. Przemysł budowy maszyn leśnych, w dążeniu do innowacyjnych rozwiązań i wykorzystując nośniki produkowanych maszyn do pozyskiwania i zrywki drewna lub pojazdy samochodowe, tworzy interesujące rozwiązania techniczne. Przykładem może być konstrukcja pakieciarki nabadowanej na typowym 8-kołowym nośniku forwardera (nośnik). Kilka sztuk tych maszyn pracuje w kraju [1]. Zakupów tych dokonano w ramach projektów unij-

nych współfinansujących innowacyjne technologie. W Szwecji, która ma największe doświadczenia w zakresie drewna energetycznego, maszyny te nie znalazły większego zastosowania, natomiast znajdują się w Finlandii [6, 7, 10].

Przykładowy schemat procesu technologicznego zaopatrzenia zakładu ciepłowniczego w biomasę leśną przeznaczoną do produkcji energii przedstawiono na rys. 1. Po wykonaniu zrywki wyselekcjonowanych sortymentów drewna okrągłego, następuje pakietowanie pozostałości zrębowych i ich zrywka do składowicy przyzrębowej, a następnie wywóz do ciepłowni.

Jedną z często spotykanych pakieciarek jest model Timberjack 1490D (obecnie John Deere 1490D) (rys. 2) montowany na 8-kołowym nośniku forwardera. Wykorzystano go również w badaniach. Operacja pakietowania polega na umieszczaniu pozostałości zrębowych w gardzieli pakieciarki, w której następuje ich sprasowanie, prowadzące do uformowania okrągłego, następuje pakietowanie pozostałości zrębowych i ich zrywka do składowicy przyzrębowej, a następnie wywóz do ciepłowni. Jednostka pakietująca posiada 9 rolek zawierających sznurek nylonowy. Przesuw powstającego pakietu w gardzieli odbywa się automatycznie na ustaloną przez operatora długość. Po zakończeniu formowania pakietu następuje automatyczna przerzynka piłą łańcuchową (rys. 2), o podziałce  $3/4''$  i długości prowadnicy 1000 mm. Elementem stosowanym do przerzynki balotu mogą być także noże. Widoczny na rysunku element w kolorze żółtym to wirująca i przesuwająca się wzdłuż pakietu głowica, której celem jest jego opasanie.

Mimo że pakiet jest uformowany na określonej długości, to podczas jego przerzynki pilarką (rys. 3), z uwagi na jego średnicę



Rys. 1. Schemat przykładowego procesu technologicznego energetycznego wykorzystania pozostałości zrębowych w postaci balotów. 1 - harwester, 2 - pakieciarka, 3 - forwarder [2]

Fig. 1. An exemplary technological process showing the use of logging residues as bundles for energy purposes. 1 - harvester, 2 - bundler, 3 - forwarder [2]



Rys. 2. Pakieciarka Timberjack 1490D (źródło: materiały Timberjack)

Fig. 2. A Timberjack 1490D bundler (source: Timberjack materials)

i naprężenia pochodzące od tworzących go gałęzi, dochodzi często do jego zakleszczania i wielokrotnego przesuwania się pilarki w płaszczyźnie cięcia. Na zakleszczanie przy przerzynce ma również wpływ masa pakietu, który w momencie przerzynki nie jest podtrzymywany, ale swobodnie zwisa za maszyną. Z tego powodu istnieje możliwość pochylania stołu roboczego pakieciarki o 10°. Jednostka pakietująca może obracać się o 300° wokół własnej osi.



Rys. 3. Głowica pakietująca, uformowany pakiet (1), prowadnica z piłą łańcuchową (2) (fot. H. Różański)  
Fig. 3. The bundling head, with a ready formed bundle (1) and a chain-saw (2) (Photo by H. Różański)

Typowe baloty wytwarzane podczas pakietowania pozostałości zrębowych mają średnicę ok. 700 mm, długość 2,4-3,2 m i masę ok. 700-800 kg. Zawartość energetyczna jednego balotu oceniana jest na ok. 1 MWh. Podstawowe parametry pakieciarki TJ 1490D zamieszczono w tab. 1.

Tab. 1. Podstawowe parametry pakieciarki TJ 1490D  
Table 1. Basic parameters of the Timberjack 1490D bundler

Parametr	Wartość
Masa agregatu	23 tony
Długość agregatu	12 m (w pozycji roboczej)
Silnik/moc silnika	JD 6068 HDJ, 136 kW/2000 obr.·min <sup>-1</sup>
Żuraw - wysięg	CF-5 lub CF-7 10 m
Udźwig żurawia	125 kNm (CF-7) 102 kNm (CF-5)
Wydajność dzienna	20-30 balotów
Opłacalna wydajność roczna	50 000 balotów

(Źródło: literatura firmowa)

Celem pracy była analiza procesu technologicznego pozyskiwania drewna energetycznego w postaci balotów z pozostałości zrębowych. Zakres analizy obejmował badanie czasu pracy, wydajności i energochłonności poszczególnych operacji procesu technologicznego. W celu dokonania praktycznych obserwacji procesu technologicznego pozyskiwania drewna energetycznego w postaci balotów wykonanych z pozostałości zrębowych przeprowadzono badania terenowe w dojrzałym drzewostanie świerkowym.

### Metodyka badań

Zastosowana w badaniach technologia pozyskiwania drewna energetycznego w postaci balotów (pakietów) obejmowała następujące operacje technologiczne:

- ścinka, okrzesywanie i wyrzynka sortymentów drzewnych przy użyciu harwestera Timberjack 1270D,
- zrywka kłód przy użyciu forwadera Timberjack 1010D,

- zrębkowanie pozostałości zrębowych przy użyciu pakieciarki TJ 1490D (rys. 1),
- zrywka pakietów na odległość 200 m, przy użyciu forwadera Timberjack 1010D,
- wywóz pakietów do odbiorcy na odległość 50 km.

Badania prowadzono na powierzchniach leśnych porośniętych drzewostanem świerkowym w wieku ok. 100 lat, na terenie Nadleśnictwa Orneta.

Podczas prowadzonych badań została przeprowadzona analiza czasu pracy poszczególnych operacji technologicznych, w oparciu o normę BN-76/9195-01 [3]. Określono miąższość pozyskanych sortymentów drzewnych. Wydajność operacji technologicznych ustalono odnosząc miąższość pozyskanych sortymentów do operacyjnego czasu pracy poszczególnych operacji technologicznych. Z uwagi na to, że aby pozyskiwać pozostałości zrębowe konieczne jest wykonanie operacji ścinki, okrzesywania i wyrzynki sortymentów drewna okrągłego, do procesu technologicznego pozyskiwania balotów wzięto jedynie część czasu zużytego na wykonanie tych operacji, w wielkości odpowiadającej proporcji miąższości pozostałości zrębowych do całkowitej pozyskanej biomasy. Ustalono liczbę wykonanych pakietów, przeciętną masę i objętość jednego pakietu. Określenie nakładów energetycznych dla poszczególnych operacji technologicznych obliczono jako sumę energii zawartej w maszynie (zużytą na jej wytworzenie), w spalonym oleju napędowym i wydatkowanej przez operatorów maszyn. Wartość energii zawartą w maszynie równą 98 MJ/kg przyjęto za Forbrigiem [4]. Energię zużytą przez maszyny wskutek spalania oleju napędowego obliczono jako iloczyn zużytego paliwa i jego wartości opałowej (38,2 MJ/dm). Wartość energii wydatkowanej przez operatorów maszyn równą 3,1 kJ/min przyjęto za Grzywińskim [5].

Obliczone wartości energii zużytej w badanym procesie technologicznym porównano z ilością energii zawartej w świeżym pozyskanym surowcu w postaci pakietów, przy czym za jednostkową zawartość energetyczną pozostałości zrębowych przyjęto wartość 9,8 MJ/kg [2].

### Wyniki badań

Badania wykazały, że najbardziej pracochłonną operacją technologiczną pozyskiwania pakietów z pozostałości zrębowych było pakietowanie. Operacja ta cechowała się pracochłonnością 0,08 mth/m<sup>3</sup> (wydajność: 13 m<sup>3</sup>/mth). Największą wydajność zanotowano dla operacji zrywki pakietów do drogi wywozowej i wynosiła ona 17 m<sup>3</sup>/mth. Wydajności poszczególnych operacji technologicznych przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Wydajności operacji technologicznych przy pozyskiwaniu pakietów pozostałości zrębowych

Fig. 4. Efficiency of technological operations in obtainment of bundles from logging residues

Nakłady energii wydatkowane na wykonanie operacji technologicznych zastosowanych w procesie pozyskiwania pakietów pozostałości zrębowych przedstawiono na rys. 5. Największą energochłonnością cechowała się operacja wywozu pakietów na

odległość 50 km i wynosiła ok. 85 MJ/m<sup>3</sup>. Pakietowanie pozostałości zrębowych pochłonęło ok. 28% energii wydatkowanej w całym procesie technologicznym, a zrywka pakietów 19%. Przedstawione na rys. 5 wartości energochłonności ścinki, okrzesywania i wyrzynki sortymentów oraz zrywki drewna okrągłego stanowią nikły udział procentowy (2%) w energii wydatkowanej w całym procesie, ale należy mieć na uwadze, że wartości te zostały zredukowane do udziału pozostałości zrębowych w całej pozyskiwanej biomacie. Bez wykonania tych operacji nie było by możliwe zrealizowanie całości technologii pozyskiwania drewna energetycznego pakietów.



Rys. 5. Nakłady energii poniesione podczas wykonywania operacji technologicznych pozyskiwania pakietów pozostałości zrębowych  
Fig. 5. Energy inputs in technological operations in obtaining of bundles from logging residues

## Podsumowanie

Historia technologii pakietowania pozostałości zrębowych sięga roku 1989, kiedy powstały pierwsze konstrukcje maszyn do balotowania tego surowca. W ciągu następnych lat rozwiązania konstrukcyjne były doskonalone. Początkowe konstrukcje maszyn pakietowały pozostałości, tworząc baloty o długości równej szerokości modułu pakietującego. Konstrukcja maszyny pakietującej TJ 1490D pozwala na produkcję pakietów o długości założonej przez operatora maszyny z jednoczesnym wiązaniem sznurkiem sizalowym lub nylonowym. Moduł pakietujący montowany jest najczęściej na 4-kołowym wózku forwardera, stosowanym powszechnie do zrywki kłód, a może też być montowany na pojeździe samochodowym. Można przyjąć, że badany model pakietowania jest podobny do innych modeli tego typu maszyn stosowanych w leśnictwie do pozyskiwania materiału energetycznego. Obliczone powyżej wydajności i energochłonności poszczególnych operacji procesu technologicznego pozwalają na dokonanie szeregu porównań. Nakłady energii poniesione na operację pakietowania (46,8 MJ/m<sup>3</sup>) cechują się podobną wielkością, jak te, które uzyskano podczas operacji zrębkowania pozostałości zrębowych w procesie pozyskiwania materiału energetycznego w postaci sypkiej, prowadzonej przy użyciu samojedźnego agregatu zrębkującego (41,6 MJ/m<sup>3</sup>) [9]. Z uwagi na to, że maszyny te powstały i stosowane są przede wszystkim w państwach skandynawskich, celowe jest porównanie wydajności uzyskanej w warunkach krajowego gospodarstwa leśnego z wynikami

innych badaczy. Kärhä i Vartiamäki [8] uzyskali wydajności operacji pakietowania na poziomie 8-10 m<sup>3</sup> na godzinę produktywną pracy, a więc podobne do uzyskanych przez autorów, zważywszy że godzina produktywną pracy, którą w analizach czasu pracy posługują się badacze skandynawscy obejmuje także krótkie przerwy (do 15 min).

Analiza energochłonności technologii pakietowania pozostałości zrębowych i dostarczania biomasy energetycznej w tej postaci do odbiorcy wykazała, że łączne nakłady energii wynosiły 169 MJ/m<sup>3</sup> surowca zawartego w pakiecie, co stanowi około 2-3% energii zawartej w biomacie drzewnej. Mimo stosowania kilku maszyn do pozyskiwania drewna energetycznego w postaci pakietów, cały proces technologiczny jest energetycznie efektywny.

Pozyskiwanie surowca energetycznego z pozostałości zrębowych odbywa się obecnie w toku realizowania dwóch procesów technologicznych, w jednym z nich surowiec opuszczający las na postać zrębków, w drugim są to pakiety. Wydaje się, że pierwszy sposób dominuje, jeśli chodzi o częstość jego stosowania. Poza tym, wraz z pakietami wytworzonymi z pozostałości zrębowych usuwa się ze środowiska leśnego substancje odżywcze zawarte głównie w igliwiu, a to jest niekorzystne. Jednak ten sposób pozyskiwania materiału energetycznego jest również stosowany.

Technologie pozyskiwania różnych sortymentów drewna energetycznego podlegają ciągłym modyfikacjom, a dotyczy to także maszyn do pakietowania. Istnieje więc potrzeba prowadzenia dalszych badań w zakresie oceny efektywności pracy technologii stosujących tego typu maszyny.

## Bibliografia

- [1] Chlebowski K., Jabłoński K.: Pakietowanie pozostałości zrębowych nowym sposobem wykorzystania biomasy leśnej do celów energetycznych. Sylwan, 2012, nr 4.
- [2] Energii fran skogen. Red. P.O. Nilsson. SLU Kontakt 9. Uppsala, 1999.
- [3] Fařara R., Zaremba W.: Użytkowanie ciągników i maszyn rolniczych. PWRiL, Warszawa, 1989.
- [4] Forbrig A.: Konzeption und Anwendung eines Informationssystems ueber Forstmaschinen auf der Grundlage von Maschinenbuchfuehrung, Leistungsnachweisen und Technischen Daten. KWF-Ber. 29. 2000.
- [5] Grzywiński W.: Comparison on work arduousness during motor-manual and mechanized timber harvesting. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. 2005, Zeszyt 91.
- [6] Hakkila P., Aarniala M.: Improving the forest chip production process. Wood Energy Technology Program. Newsletter on results 4/2002.
- [7] Hakkila P.: Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Mestaehakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Tekes. Teknologiaohjelmaraportti 5/2004, Helsinki.
- [8] Kärhä K., Vartiamäki T.: Productivity and costs of slash bundling in Nordic conditions. Biomass and Bioenergy, 2006, Vol. 30. Issue 12.
- [9] Rózański H., Jabłoński K.: Optymalne technologie pozyskiwania drewna energetycznego z cięć rębnych. Część I. Zrębki energetyczne. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2012, nr 5.
- [10] Saarenmaa A.: Bundles of Energy from the Forest a Finnish Success Story. 2004, (Materiały konferencyjne).

## OPTIMAL TECHNOLOGIES OF ENERGY WOOD OBTAINMENT FROM FINAL CUTTINGS. PART II. BUNDLES FROM LOGGING RESIDUES

### Summary

Energy wood is a resource that is very much in request today and there are various technologies for its obtainment. The paper presents a technological process of fuel wood harvesting in the form of bundles from logging residues. In the course of the research the time and energy consumptions of all the operations in the process were determined. Also the volumes of the harvested wood assortments and of the energy bundles were measured. The results showed that the operation of bundling was the most time consuming one in the whole process with 0,08 PMH/m<sup>3</sup> (productivity 13 m<sup>3</sup>/PMH). The analysis of energy consumption in the process showed that the total energy input reached 169 MJ per 1 m<sup>3</sup> of the wood in the bundle, which is 2-3% of the energy stored in it.

**Key words:** wood harvesting; renewable energy; energy wood chips; energy consumption; bundles; experimentation