

**INSTYTUT BADAWCZY LEŚNICTWA**  
**Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi**

**SYNTEZA**

Temat: **660403**

Tytuł tematu: **Rozwój metodyki badań i projektowania rozwiązań  
praktycznych w zakresie wykorzystania biomasy  
leśnej do celów energetycznych**

Główny autor: dr inż. Michał Kalinowski

Współautorzy: dr inż. Mikołaj Huz



WYKONANO NA ZAMÓWIENIE  
MINISTRA ŚRODOWISKA  
SFINANSOWANO ZE ŚRODKÓW  
NARODOWEGO FUNDUSZU OCHRONY  
ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ

Kierownik Zakładu

Dyrektor Instytutu

Sękocin Stary, październik 2010

## Spis treści

1. Wstęp .....	3
2. Cel pracy .....	4
3. Zakres pracy .....	4
4. Metodyka pracy .....	4
5. Wyniki pracy .....	5
5.1 Terminologia stosowana w badaniach i praktyce pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne .....	5
5.2 Klasyfikacja leśnej biomasy energetycznej .....	6
5.3 Rozwiązania metodyczne stosowane w badaniach pozyskania biomasy leśnej na cele energetyczne .....	7
5.4 Procesy technologiczne pozyskania biomasy leśnej na cele energetyczne .....	7
6. Metody kalkulacji kosztów .....	9
7. Podsumowanie .....	10

## 1. Wstęp

Na świecie rośnie zainteresowanie wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii (OZE). Wzrost udziału OZE w bilansie energetycznym jest konieczny w związku z prawdopodobnym wpływem użytkowania konwencjonalnych źródeł energii na ocieplenie klimatu, a także nieuniknioną perspektywą ich wyczerpania. Szacuje się, że zasoby węgla wystarczą na 220, gazu ziemnego – 60, a ropy naftowej – 30-40 lat (biomasa.org 2010).

Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii:

- niesie za sobą większy stopień uniezależnienia się od dostaw energii z importu,
- pozwala na zwiększenie stopnia dywersyfikacji źródeł dostaw oraz stworzenie warunków do rozwoju energetyki rozproszonej, opartej na lokalnie dostępnych surowcach,
- pozwala na podniesienie lokalnego bezpieczeństwa energetycznego oraz zmniejszenie strat przesyłowych,
- przyczynia się do rozwoju regionów słabiej rozwiniętych, ale bogatszych w zasoby energii odnawialnej (Polityka energetyczna Polski do 2030 roku).

Współcześnie, zarówno w Polsce, jak i na świecie, najczęściej wykorzystuje się energię biomasy (biomasa.org 2010). Jak podaje Gornowicz (2008), w Polsce, gdzie podstawowym źródłem energii stanowi węgiel, sytuacja jest skomplikowana, bowiem w połowie polskich kopalń za 15 lat, a w pozostałych – za 30 lat skończą się złoża węgla. W związku z powyższym, uwaga ludzi skupia się m.in. na odnawialnym, źródle zasobów, jakim są lasy, a przed sektorem leśnym stoi wyzwanie maksymalnej racjonalizacji pozyskania biomasy drzewnej na cele energetyczne. Wskazane są zatem przegląd, analiza i synteza rozwiązań metodycznych stosowanych w praktyce i nauce w zakresie obowiązującej klasyfikacji, terminologii i rozwiązań metodycznych.

Rezultaty prac wykonanych w ramach projektu będą przydatne w pracach Akcji COST FP0902 „Leśna biomasa energetyczna”, mającej na celu stworzenie jednolitych ram metodologicznych dla projektów badawczych w zakresie wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne.

## **2. Cel pracy**

Celem pracy jest przegląd, analiza i synteza opracowań naukowych oraz rozwiązań praktycznych w zakresie wykorzystania biomasy leśnej do celów energetycznych.

## **3. Zakres pracy**

Praca objęła piśmiennictwo naukowe i praktyczne poświęcone produkcji biomasy leśnej na cele energetyczne, ze szczególnym uwzględnieniem krajów europejskich.

W użytkowaniu biomasy leśnej na cele energetyczne zwrócono szczególną uwagę na następujące problemy i tematykę badawczą:

- nomenklatura i systemy klasyfikacji,
- rozwiązania metodyczne w zakresie pozyskiwania drewna na cele energetyczne,
- sposoby kalkulacji kosztów pozyskiwania drewna energetycznego.

Zakres pracy nie obejmował aspektów ekologicznych użytkowania biomasy leśnej do celów energetycznych (np. problemu ubytku pierwiastków biogennych).

## **4. Metodyka pracy**

W ramach pracy zostaną wykonane następujące zadania.

1. Przegląd, analiza i synteza terminologii oraz systemu pomiarów i klasyfikacji stosowanych w użytkowaniu biomasy leśnej na cele energetyczne.

W ramach zadania został dokonany przegląd piśmiennictwa popularnonaukowego, naukowego, obowiązujących instrukcji i wytycznych, a także terminologii i systemów pomiarów stosowanych w badaniach naukowych oraz praktyce użytkowania biomasy drzewnej na cele energetyczne. Przegląd zostanie dokonany pod kątem stosowanych terminów, ich definicji, oraz jednostek.

2. Przegląd, analiza i synteza rozwiązań metodycznych stosowanych w badaniach użytkowania biomasy leśnej do celów energetycznych, w tym metod pozyskania drewna energetycznego. Identyfikacja luk w wiedzy i obszarów problematycznych w tym zakresie. W ramach zadania zostanie dokonany przegląd rozwiązań metodycznych przyjętych w badaniach i praktyce wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne.

3. Przegląd, analiza i synteza metod kalkulacji kosztów pracy maszyn oraz analizy danych stosowanych w badaniach użytkowania biomasy leśnej na cele energetyczne. Identyfikacja najlepszych rozwiązań w tym zakresie.

W ramach zadania został dokonany przegląd, analiza i synteza metodyki kalkulacji kosztów pracy maszynowej i analizy danych przyjętych w badaniach nad wykorzystaniem biomasy leśnej do celów energetycznych.

## **5. Wyniki pracy**

### **5.1 Terminologia stosowana w badaniach i praktyce pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne**

Ponieważ w dużej części systemy pozyskania najważniejszej części leśnej biomasy energetycznej – drewna energetycznego – są identyczne, jak innych sortymentów drzewnych, również przy opracowaniu terminologii w tym zakresie występuje problem precyzyjnego ustalenia zakresu tej terminologii. Mianowicie – część stosowanych terminów odnosi się tak samo do pozyskania drewna energetycznego, jak i pozostałych sortymentów drzewnych.

Z przeglądu terminologii stosowanej w zakresie pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne wynika, że terminologia angielska jest znacznie bardziej ujednolicona i precyzyjna niż polska. I tak, w przypadku jednego terminu „forest residues” odnaleziono trzy polskie terminy: „pozostałości zrębowe”, „pozostałości pozrębowe” i „drobnica zrębowa”. Generalnie, stosowane słownictwo jest zrozumiałe i nie budzi wątpliwości, nawet, jeśli używane są różne terminy, jednak w można spotkać nowe, nie zdefiniowane wcześniej słowa – na przykład termin „konary” (Jodłowski 2003). Należy odróżnić zmienność stosowanych terminów od zmian wynikających z postępu w nauce i praktyce leśnej.

## 5.2 Klasyfikacja leśnej biomasy energetycznej

W Lasach Państwowych obowiązuje następująca klasyfikacja surowca drzewnego stosowanego do celów energetycznych (Ślęzak 2010):

- drewno stosowe na cele energetyczne S2ac (sortyment S2ac został wyodrębniony z S2a, stworzonego na potrzeby przemysłu celulozowo-papierniczego i płytowego),
- drewno opałowe S4 (głównym użytkownikiem tego sortymentu są odbiorcy indywidualni, wykorzystujący go do własnych potrzeb grzewczych)
- drewno małowymiarowe M1, M2,
- drobnica gałęziowo-chrustowa na zrębki energetyczne M2 Z (ten sortyment jest odpowiedzią LP na zainteresowanie kontrahentów biomasa energetyczną; został wprowadzony w lipcu br. do sprzedaży na aukcji e-drewno),
- baloty M2 BE (j.w.).

Niezależnie od stosowanej sortymentacji, ważna jest klasyfikacja części biomasy. Przyjęta klasyfikacja pozwala określić potencjalną bazę surowca energetycznego (udział poszczególnych części). Ogólne założenia przyjmowane przez różnych autorów wraz z procentowym udziałem poszczególnych części biomasy w masie ogólnej sosny zostały ujęte w poniższym zestawieniu.

Kubiak, Róžański 1985	Gornowicz 2008	1998-2007 Badania Katedry Techniki Leśnej UP w Poznaniu (Gornowicz 2008)	Bares i in. (2005)
- grubizna dłuźycowa 64% - grubizna stosowa 8% - drobnica gałęziowa 5% - chrust 7% - korzenie 16%	- drewno strzały 61% - kora strzały 8% - gałęzie 12% - igliwie 3% - karpa 16%	- wierzchołki drzew, gałęzie, igliwie 20% - gałęzie cieńsze niż 4 cm i igliwie 15% - gałęzie grubsze niż 4 cm 5%	- pień 69% - wierzchołek, gałęzie 16% - pniak, korzenie 15%

### **5.3 Rozwiązania metodyczne stosowane w badaniach pozyskania biomasy leśnej na cele energetyczne**

Na proces pozyskania biomasy leśnej składa się tyle elementów, że ujęcie syntetyczne jest bardzo trudne i wymaga dodatkowych studiów. Z przeprowadzonego przeglądu metodyki badań wynika, że poszczególni autorzy w bardzo różny sposób podchodzili do opracowywania metodyki swoich badań. Przede wszystkim, w różnym stopniu uwzględniali element szerszy, jakim jest pozyskanie surowca drzewnego na cele poza energetyczne. Publikując prace badawcze często nie odróżnia się dostatecznie precyzyjnie cech powierzchni próbnej od cech terenu badań (np. zrębu).

Być może w badaniach, które weszły do przeglądu nie uwzględniano w wystarczającym stopniu bardzo ważnego czynnika ludzkiego (operatorów maszyn), a przynajmniej nie było to dostatecznie podkreślone w publikacjach.

Nie ma różnicy w technologii i technice pozyskiwania tradycyjnego drewna opałowego oraz innych sortymentów drewna przemysłowego, natomiast przy pozyskaniu zrębków energetycznych kluczowy charakter ma operacja zrębkowania. Wybór urządzenia zrębkującego i umiejscowienie operacji zrębkowania jest najistotniejszym elementem technologicznym procesu pozyskiwania surowca energetycznego (Gornowicz 2008).

### **5.4 Procesy technologiczne pozyskania biomasy leśnej na cele energetyczne**

Jodłowski (2003) wyodrębnia następujące technologie pozyskiwania drewna na cele energetyczne w użytkowaniu rębny i przedrębny (odpowiadające tytułom następujących podrozdziałów).

#### **Pozyskiwanie drewna opałowego okrągłego**

Do tej pory nie opracowano odrębnych technologii pozyskiwania drewna opałowego, prawdopodobnie z powodu dużego rozdrobnienia odbiorców (braku odbiorców masowych). Pozyskiwanie drewna opałowego, bez względu na kategorię cięć, odbywa się niemal zawsze na marginesie pozyskania surowca właściwego,

czyli drewna okrągłego lepszej jakości, przy zastosowaniu typowych dla danych warunków metod i technologii.

W metodzie drewna krótkiego i dłużycowej wyrobienie tzw. „opału” następuje bezpośrednio w miejscu cięć, natomiast w metodzie całej strzały – po zrywce, przy drodze wywozowej. Tak przygotowane drewno opałowe może trafić bezpośrednio do odbiorcy lub zostać poddane dalszej wyróbce – przerzynce na krótsze długości i/lub szczapy (ręcznie, za pomocą pilarek łańcuchowych – siekier do łupania lub w sposób zmechanizowany) (Jodłowski 2003).

### **Pozyskiwanie leśnych zrębków opałowych**

Przy pozyskiwaniu leśnych zrębków opałowych stosowane są różne technologie, ponieważ bardzo zróżnicowana jest rozpiętość warunków, w jakich się ono odbywa (w zależności od kategorii cięć: od czyszczeń późnych do cięć rębnych). Różna jest także ilość biomasy możliwej do pozyskania w różnych fazach wzrostu drzewostanu (zrębkowaniu podlega drewno gorszej jakości lub trudne do zbycia w innej postaci) (Jodłowski 2003).

Operacją kluczową każdej technologii pozyskiwania leśnych zrębków opałowych jest samo zrębkowanie. W zależności od miejsca, gdzie odbywa się zrębkowanie, można wyróżnić trzy grupy technologii (w kolejności kolejnych podrozdziałów). Surowiec można zrębkować:

- na powierzchni cięć
- na składnicy zlokalizowanej przy powierzchni cięć
- w miejscu wykorzystania zrębków

Część technologii pozyskiwania zrębków pokrywa się z technologiami pozyskania drewna okrągłego, co najbardziej widoczne jest w drzewostanach starszych, złożonych z drzew o dużej miąższości. Z części odziomkowej strzał wyrabia się kłody lub wałki drewna stosowego, zaś wierzchołek jest pozostawiany do zrębkowania.

Z uwagi na swoją pracochłonność, bardzo ważnym elementem procesu pozyskania jest układanie surowca – wpływa istotnie na wydajność zrywki. Przy zrywce



nasiębiernej surowiec układa się w międzyrzędach, w tzw. strefie układania, w zasięgu żurawia zrywkowego, znajdującej się w odległości 1 m od szlaku zrywkowego. Szerokość stref zależy od wysięgu żurawia – w przypadku forwardera wyposażonego w żuraw o wysięgu 10 m, szerokość strefy wynosi ok. 6 m. Szerokość szlaku zrywkowego powinna wynosić 3-3,5 m – dla ciągnika rolniczego z przyczepką leśną lub 3,5-4 m – dla forwardera. Przyczepki leśne mają żurawie o wysięgu mniejszym niż forwardery więc w przypadku ich stosowania surowiec powinien być ułożony bliżej szlaku zrywkowego. Odstęp między szlakami powinien wynosić ok. 30 m w trzebieżach wczesnych i 20-25 m w trzebieżach późnych (Jodłowski 2003).

Źródłem surowca do zrębkowania w cięciach rębnych są przede wszystkim pozostałości zrębowe – wierzchołki drzew oraz konary i gałęzie. W zależności od cen drewna, rozdrabniać można również mniej cenną część drewna średniowymiarowego ze strzał (Jodłowski 2003).

### **Pozyskiwanie balotów opalowych**

Podobnie jak w przypadku procesu zrębkowania, produkcja balotów jest elementem dodatkowym, „marginalnym” wobec właściwego procesu pozyskania drewna. Procesy technologiczne produkcji balotów (poza przerobem drewna średniowymiarowego) są identyczne, jak procesy zrębkowania, tylko zamiast operacji zrębkowania występuje operacja formowania i zrywki/wywozu balotów.

Technologia produkcji balotów należy do najnowszych – została wprowadzona w Finlandii w 2001 r. Balot z zielonych pozostałości zrębowych ma średnicę 60-70 cm, długość – 3 m, a waży około 500 kg. Pozwala na uzyskanie energii równej 1 MWh (Jodłowski 2003). Technologię balotowania przy wykorzystaniu maszyny Slash Bundler 1490 D w warunkach polskich badał Sadowski (2008).

## **6. Metody kalkulacji kosztów**

Kalkulacja kosztów pozyskania drewna energetycznego powinna odbywać się na trzech poziomach:

- poziom strategiczny,

- poziom taktyczny (managerowie muszą zdecydować, na przykład, ile drewna rocznie będzie pozyskane z każdej jednostki i gdzie będzie ono przerabiane),
- poziom operacyjny – obejmujący drzewostany do pozyskania drewna i plan operacji (Zbiorowa 2002).

Można wyodrębnić następujące grupy czynników wpływających na pozyskanie drewna energetycznego:

**Czynniki związane ze stosowanymi maszynami**, w tym: stabilność maszyn, szybkość przejazdów, manewrowość, hauling capacity, szybkość załadunku i wyładunku, ładowność).

**Czynniki związane z warunkami pracy i otoczenia** (work-site conditions), w tym: ukształtowanie terenu, metody stosowane przy wcześniejszym bądź jednoczesnym pozyskaniu drewna okrągłego, odległość zrywki, ilość biomasy pozostawianej na miejscu)

**Czynnik ludzki** - operatorzy maszyn w znaczący sposób wpływają na koszty pozyskania drewna; należy tu wskazać: odporność, umiejętności i wprawę, wydajność fizyczna i psychologiczna, motywacja do pracy Harstela 1993 za Zbiorowa 2002).

**Interakcje między maszynami.** W łańcuchu produkcji, w pozyskaniu, przerobie i transporcie materiałów uczestniczą różne maszyny. Między poszczególnymi operacjami drewno energetyczne jest składowane – w różny sposób i w różnym czasie. Segmenty łańcucha wchodzi między sobą w interakcje – bezpośrednio, kiedy materiał przechodzi prosto z maszyny na maszynę, oraz pośrednio, kiedy pomiędzy maszynami jest faza składowania (Zbiorowa 2002).

## **7. Podsumowanie:**

1. W wielu publikacjach podkreśla się, że szczególną cechą bazy surowcowej biomasy leśnej użytkowanej na cele energetyczne jest jej duże rozproszenie (niska koncentracja energii).

2. Procesy właściwe wyłącznie dla pozyskania biomasy energetycznej (zrębkowanie, balotowanie) często są elementem dodatkowym w procesach pozyskania innych sortymentów drzewnych (np. zrębkowanie i balotowanie pozostałości zrębowych).

3. W warunkach polskich ważnym czynnikiem ograniczającym w części możliwości pozyskania biomasy leśnej na cele energetyczne jest duże zagęszczenie drzew w drzewostanach (utrudnione operowanie ciężkich maszyn).

4. Występują duże różnice w metodyce prowadzonych badań, a szczególnie, w sposobie ich publikacji, w tym: uwzględnieniu w opisie badań elementów pozyskiwania innych niż energetyczne sortymentów drzewnych, szczegółowości opisu terenu badań (drzewostanu) i powierzchni próbnych. Jest to o tyle istotne, że proces pozyskania surowca energetycznego zależy ściśle od warunków zewnętrznych, w tym – drzewostanowych. Autorzy zwracają małą uwagę na tzw. czynnik ludzki, odgrywający zasadniczą rolę w wykorzystaniu biomasy na cele energetyczne.

5. W niektórych przypadkach autorzy podają wyniki badań bez szczegółowego opisu ich metodyki.(np. jest napisane: przeprowadzono symulację, bez podania szczegółowych założeń symulacji).

6. Ponieważ zasoby drzewne są niewystarczające dla zaspokojenia potrzeb jednocześnie przemysłu drzewnego i energetycznych, poszukuje się nowych, innowacyjnych sposobów użytkowania biomasy leśnej na cele energetyczne, przede wszystkim w dotąd niekomercyjnych czyszczeniach i trzebieżach wczesnych i zagospodarowaniu odpadów pozrębowych.

## **Literatura**

Варес В., Касък Ю., Муйсте П. Пиху Т., Соосаар С. 2005: Справочник потребителя биотоплива [Poradnik użytkownika biopaliwa]. Таллиннский технический университет. Таллинн 2005.

Biomasa.org 2010:

- Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu 2010: Encyklopedia Leśna (serwis internetowy)
- Jabłoński K. 2002: Innovations in the use of woody biomass as a renewable energy source – an analysis of selected cases. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum. Ratio et Industria Lignaria (Leśnictwo i Drzewnictwo)*, 8 (3) 2009. 29-38 ss.
- Jodłowski 2003: Technologie pozyskiwania drewna na cele energetyczne w użytkowaniu rębnym i przedrębny. W: „Możliwości wykorzystania biomasy na cele energetyczne”. Konferencja w Malinówce k. Ełku, 16-17 października 2003 r. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Zarząd Główny SITLID, RDLP w Białymstoku.
- Georgia Forestry Commission 2010: Forest Bioenergy and Biomass for Georgia (<http://www.gfc.state.ga.us/ForestMarketing/BiomassEnergy.cfm> - dostęp z 22.10.2010 r.).
- Gornowicz R. 2010: Wykorzystanie biomasy ze zrębów i trzebieży na cele energetyczne. Biblioteczka leczniczego 274. Wyd. Świat. Warszawa 2008. 8 s.
- Harstela P. 1993: Forest Work Science and Technology. Part 1. University of Joensuu, Faculty of Forestry, Joensuu. 113 s.
- Helms A. (ed.) 1998: The dictionary of forestry. The Society of American Foresters.
- Kubiak M., Różański H. i inni 1985: Charakterystyka techniczna rębnych drzew i drzewostanów sosnowych pod kątem mechanizacji prac pozyskaniowych. Dokumentacja AR-IBL.
- Ministerstwo Gospodarki 2009: Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Warszawa.
- Różański H, Jabłoński K., 2003a: Analiza wybranych procesów technologicznych pozyskiwania zrębków energetycznych. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum. Ratio et Industria Lignaria (Leśnictwo i Drzewnictwo)*. 2. (R-38627)
- Różański H. i Jabłoński K., 2003b: Wykorzystanie zasobów drewna energetycznego w leśnictwie. W: "Możliwości wykorzystania biomasy na cele energetyczne". Konferencja naukowo-techniczna, Malinówka k/Ełku, 16-17 października. 2003 r.
- Różański H., Jabłoński K., Gornowicz R., Kusiak W. 1992: Analiza procesów technologicznych pozyskiwania drewna w drzewostanach liściastych. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych LXXIV*: 94-98.
- Sadowski 2008: Wykorzystanie maszyny pakietującej „Slash Bundler 1490 D do utylizacji pozostałości zrębowych. W: *Tendencje i problemy techniki leśnej w warunkach leśnictwa wielofunkcyjnego*. Red. H. Różański, K. Jodłowski. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. Poznań 2008. ss. 183-188.
- Sadowski 2009: Efekty pozyskiwania biomasy leśnej z cięć rębnych na cele energetyczne wybranymi maszynami. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 543: 275-282.
- Ślęzak G. 2010: Zasoby biomasy leśnej z lasów zarządzanych przez Lasy Państwowe w perspektywie lat 2015 i 2020. W: *Forum Leśne: Człowiek Las Drewno*. 9-11 września 2010, XII Targi Eko-Las, Mostki k. Świebodzina. 67-70 ss.
- Śmigiel R. 2006: Analiza wybranych metod pozyskiwania drewna przeznaczonego do celów energetycznych. Praca magisterska. SGGW. Warszawa.

- Zbiorowa 2002: Bioenergy from sustainable forestry. Ed. J. Richardson, R. Bjorheden, P. Hakkila, A.T. Lowem, C.T. Smith. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston/London. 343 s.
- Young H.E., Strand L., Altenberger R. 1964: Preliminary fresh and dry weight tables for seven tree species in Maine. Maine Agricultural Experiment Station, Tech. Bulletin 12. 76 s.

# **INSTYTUT BADAWCZY LEŚNICTWA**

## **Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi**

Temat: **660403**

Tytuł tematu: **Rozwój metodyki badań i projektowania rozwiązań praktycznych w zakresie wykorzystania biomasy leśnej do celów energetycznych**

Główny autor: dr inż. Michał Kalinowski

Współautorzy: dr inż. Mikołaj Huz



WYKONANO NA ZAMÓWIENIE  
MINISTRA ŚRODOWISKA  
SFINANSOWANO ZE ŚRODKÓW  
NARODOWEGO FUNDUSZU OCHRONY  
ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ

Kierownik Zakładu

Dyrektor Instytutu

Sękocin Stary, październik 2010

## Spis treści

1. Wstęp .....	3
2. Cel pracy .....	4
3. Zakres pracy .....	4
4. Metodyka pracy .....	5
5. Wyniki pracy .....	6
5.1 Terminologia stosowana w badaniach i praktyce pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne .....	6
5.2 Klasyfikacja leśnej biomasy energetycznej .....	11
5.3 Rozwiązania metodyczne stosowane w badaniach pozyskania biomasy leśnej na cele energetyczne .....	12
5.4 Procesy technologiczne pozyskania biomasy leśnej na cele energetyczne .....	15
5.4.1 Pozyskiwanie drzewna opałowego okrągłego .....	15
5.4.2 Pozyskiwanie leśnych zrębków opałowych .....	16
5.4.2.1 Zrębkowanie na powierzchni cięć .....	16
5.4.2.2 Zrębkowanie na składnicy zlokalizowanej przy powierzchni cięć .....	16
5.4.2.3 Zrębkowanie w miejscu wykorzystania zrębków .....	17
5.4.2.4 Pozyskiwanie leśnych zrębków opałowych w cięciach przedrębnych .....	17
5.4.2.5 Pozyskanie zrębków w użytkowaniu rębnym .....	19
5.4.2.5.1 Zrębkowanie na powierzchni cięć .....	20
5.4.2.5.2 Zrębkowanie na składnicy przy powierzchni cięć .....	20
5.4.2.5.2 Zrębkowanie w miejscu wykorzystania zrębków .....	20
5.4.2.5.3 Pozyskiwanie balotów opałowych .....	20
6. Metody kalkulacji kosztów .....	21
7. Podsumowanie .....	23

## 1. Wstęp

Na świecie rośnie zainteresowanie wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii (OZE). Wzrost udziału OZE w bilansie energetycznym jest konieczny w związku z prawdopodobnym wpływem użytkowania konwencjonalnych źródeł energii na ocieplenie klimatu, a także nieuniknioną perspektywą ich wyczerpania. Szacuje się, że zasoby węgla wystarczą na 220, gazu ziemnego – 60, a ropy naftowej – 30-40 lat (biomasa.org 2010).

Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii:

- niesie za sobą większy stopień uniezależnienia się od dostaw energii z importu,
- pozwala na zwiększenie stopnia dywersyfikacji źródeł dostaw oraz stworzenie warunków do rozwoju energetyki rozproszonej, opartej na lokalnie dostępnych surowcach,
- pozwala na podniesienie lokalnego bezpieczeństwa energetycznego oraz zmniejszenie strat przesyłowych,
- przyczynia się do rozwoju regionów słabiej rozwiniętych, ale bogatszych w zasoby energii odnawialnej (Polityka energetyczna Polski do 2030 roku).

Można wyróżnić następujące rodzaje odnawialnych źródeł energii:

- biomasa - najstarsze znane źródło energii,
- energia wody - dostarcza światu około 20% elektryczności,
- energia wnętrza Ziemi – zwana geotermalną,
- energia wiatru - wykorzystywana od 4 tys. lat,
- energia Słońca - trudna do akumulacji, lecz za to tysiącrotnie przekraczająca globalne zapotrzebowanie (biomasa.org 2010).

Współcześnie, zarówno w Polsce, jak i na świecie, najczęściej wykorzystuje się energię biomasy (biomasa.org 2010). Jak podaje Gornowicz (2008), w Polsce, gdzie podstawowym źródłem energii stanowi węgiel, sytuacja jest skomplikowana, bowiem w połowie polskich kopalń za 15 lat, a w pozostałych – za 30 lat skończą się złoża węgla. W związku z powyższym, uwaga ludzi skupia się m.in. na odnawialnym, źródle zasobów, jakim są lasy. Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe



(PGL LP) stara się odpowiedzieć na rosnące zapotrzebowanie na surowiec energetyczny, między innymi wprowadzając nowe sortymenty surowca drzewnego (Ślęzak 2010). Jednak wzrost popytu na drzewny surowiec energetyczny niepokoi przemysł drzewny, dużo słabszego niż energetyka partnera PGL LP.

W związku z powyższym, przed sektorem leśnym stoi wyzwanie maksymalnej racjonalizacji pozyskania biomasy drzewnej na cele energetyczne. Wskazane są zatem przegląd, analiza i synteza rozwiązań metodycznych stosowanych w praktyce i nauce w zakresie obowiązującej klasyfikacji, terminologii i rozwiązań metodycznych. Lektura prac naukowych wskazuje, że w badaniach użytkowania biomasy leśnej na cele energetyczne stosuje się różne rozwiązania metodyczne.

Rezultaty prac wykonanych w ramach projektu będą przydatne w pracach Akcji COST FP0902 „Leśna biomasa energetyczna” (Forest biomass sampling and work study development) mającej na celu stworzenie jednolitych ram metodologicznych dla projektów badawczych w zakresie wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne.

## **2. Cel pracy**

Celem pracy jest przegląd, analiza i synteza opracowań naukowych oraz rozwiązań praktycznych w zakresie wykorzystania biomasy leśnej do celów energetycznych.

## **3. Zakres pracy**

Praca objęła piśmiennictwo naukowe i praktyczne poświęcone produkcji biomasy leśnej na cele energetyczne, ze szczególnym uwzględnieniem krajów europejskich.

W użytkowaniu biomasy leśnej na cele energetyczne zwrócono szczególną uwagę na następujące problemy i tematykę badawczą:

- nomenklatura i systemy klasyfikacji,
- rozwiązania metodyczne w zakresie pozyskiwania drewna na cele energetyczne,
- sposoby kalkulacji kosztów pozyskiwania drewna energetycznego.

Zakres pracy nie obejmował aspektów ekologicznych użytkowania biomasy leśnej do celów energetycznych (np. problemu ubytku pierwiastków biogennych).

#### **4. Metodyka pracy**

W ramach pracy zostaną wykonane następujące zadania.

1. Przegląd, analiza i synteza terminologii oraz systemu pomiarów i klasyfikacji stosowanych w użytkowaniu biomasy leśnej na cele energetyczne.

W ramach zadania został dokonany przegląd piśmiennictwa popularnonaukowego, naukowego, obowiązujących instrukcji i wytycznych, a także terminologii i systemów pomiarów stosowanych w badaniach naukowych oraz praktyce użytkowania biomasy drzewnej na cele energetyczne. Przegląd zostanie dokonany pod kątem stosowanych terminów, ich definicji, oraz jednostek. Pod uwagę zostanie wzięta między innymi:

- terminologia i jednostki stosowane w klasyfikacji poszczególnych rodzajów surowca energetycznego pochodzącego z biomasy leśnej,
- terminologia i jednostki stosowane w badaniach i praktyce operacji leśnych (systemu technologicznego).

2. Przegląd, analiza i synteza rozwiązań metodycznych stosowanych w badaniach użytkowania biomasy leśnej do celów energetycznych, w tym metod pozyskania drewna energetycznego. Identyfikacja luk w wiedzy i obszarów problematycznych w tym zakresie.

W ramach zadania został dokonany przegląd rozwiązań metodycznych przyjętych w badaniach i praktyce wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne, ze szczególnym uwzględnieniem następujących elementów:

- rodzaje biomasy leśnej (wałki, zrębki, pozostałości pozrębowe itp.),
- procesy technologiczne (zrębkowanie, wyróbka wałków, kłód, metoda całego drzewa, balotowanie),
- zastosowane maszyny i inne urządzenia,
- przyjęte w badaniach rozwiązania metodyczne (kryteria wyboru do badań powierzchni próbnych i ich parametry, systemy pomiarowe itp.).

3. Przegląd, analiza i synteza metod kalkulacji kosztów pracy maszyn oraz analizy danych stosowanych w badaniach użytkowania biomasy leśnej na cele energetyczne. Identyfikacja najlepszych rozwiązań w tym zakresie.

W ramach zadania został dokonany przegląd, analiza i synteza metodyki kalkulacji kosztów pracy maszynowej i analizy danych przyjętych w badaniach nad wykorzystaniem biomasy leśnej do celów energetycznych.

## **5. Wyniki pracy**

### **5.1 Terminologia stosowana w badaniach i praktyce pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne**

Ponieważ w dużej części systemy pozyskania najważniejszej części leśnej biomasy energetycznej – drewna energetycznego – są identyczne, jak innych sortymentów drzewnych, również przy opracowaniu terminologii w tym zakresie występuje problem precyzyjnego ustalenia zakresu tej terminologii. Mianowicie – część stosowanych terminów odnosi się tak samo do pozyskania drewna energetycznego, jak i pozostałych sortymentów drzewnych.

Z przeglądu terminologii stosowanej w zakresie pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne wynika, że terminologia angielska jest znacznie bardziej ujednolicona i precyzyjna niż polska. I tak, w przypadku jednego terminu „forest residues” odnaleziono trzy polskie terminy: „pozostałości zrębowe”, „pozostałości pozrębowe” i „drobnica zrębowa”. Generalnie, stosowane słownictwo jest zrozumiałe i nie budzi wątpliwości, nawet, jeśli używane są różne terminy, jednak w można spotkać nowe, nie zdefiniowane wcześniej słowa – na przykład termin „konary” (Jodłowski 2003). Należy odróżnić zmienność stosowanych terminów od zmian wynikających z postępu w nauce i praktyce leśnej.

**Tabela 1.** Terminologia stosowana w badaniach i praktyce pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne

Termin polski	Termin angielski	Definicja terminu	Autorzy stosujący termin
<b>Terminy ogólne</b>			
odnawialne źródło energii	renewable energy source	źródło wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz <b>energię pozyskiwaną z biomasy</b> , biogazu wysypiskowego, a także biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych	ustawa – Prawo energetyczne
energia	energy	energia przetworzona w dowolnej postaci	ustawa – Prawo energetyczne
biomasa	biomass	biomasa — stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, <b>odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty</b> , a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, oraz ziarna zbóż nie spełniające wymagań jakościowych dla zbóż w zakupie interwencyjnym	ROZPORZĄDZENIE MINISTRA GOSPODARKI1) z dnia 23 lutego 2010 r.
biomasa leśna	forest biomass	1. produkt drzewny otrzymywany zwykle poprzez zrębkowanie drzew – w całości lub w częściach (konary, wierzchołki, nie nadające się do sprzedaży części	Zbiorowa 2002, Ślęzak 2010, Helms 1998

		pnia, z reguły na cele energetyczne (Helms 1998) 2. wszystkie rośliny lub materiały drzewne otrzymywane z lasu (by forest growth)	
(bio) energia leśna	Forest (bio)energy	użytkowanie odnawialnej biomasy leśnej w celu wytworzenia produktów energetycznych (Giorgia Forestry Commision 2010)	Zbiorowa 2002, Giorgia Forestry Commision 2010
leśne zasoby drewna do produkcji paliw	fuel resources from the forest	leśne zasoby drewna do produkcji paliw	Zbiorowa 2002
drewno do produkcji paliw	Fuelwood	drewno używane do przekształcenia na jakąś formę energii (Helms 1998)	Zbiorowa 2002
<b>Biomasa – części drzew (biomass components of trees)</b>			
części biomasy drzewnej	biomass components of trees	Dobrze ugruntowaną koncepcję nadającego się do sprzedaży pnia (merchantable-stem concept) Young i in. (1964) zastąpili koncepcją całego drzewa, od końców korzeni po końce liści	Zbiorowa 2002, Young i in. 1964
całe drzewo	whole-tree	masa drzewa ponad pniakiem; łącznie z masą pnia korony, bez systemu korzeniowego (karpy)	Zbiorowa 2002, Young i in. 1964
pień	stem	bez pniaka i jego podziemnej kontynuacji; strzała, w korze, dzieli się na części komercyjne i niekomercyjne	Zbiorowa 2002, Young i in. 1964
wierzchołek nie nadający się do sprzedaży	unmerchantable top	górną część pnia nie użytkowaną z powodu małej średnicy i dużego ugałęzienia; wielkość wierzchołka zależy od regulacji w praktyce lokalnej; w krajach uprzemysłowionych dolna średnica wierzchołka waha się w granicach 5-10 cm.	Zbiorowa 2002, Young i in. 1964
korona	crown	Korona składa się z wszystkich, żywych i martwych gałęzi, listowia i organów reprodukcyjnych	Zbiorowa 2002, Young i in. 1964

		(w niektórych opracowaniach do korony włącza się tylko gałęzie żywe).	
gałęzie	branches	drewno i kora żywych, jak i martwych gałęzi (wyłączone: liście, pędy i organy reprodukcyjne)/	Zbiorowa 2002, Young i in. 1964
listowie	foliage	wszystkie liście, młode pędy i organy reprodukcyjne (w niektórych opracowaniach organy reprodukcyjne traktowane są osobno)	Zbiorowa 2002, Young i in. 1964
pniak	stump	nie użytkowana nadziemna część poniżej dolnego końca pnia i jego podziemne przedłużenie w postaci korzenia głównego; wyłączone korzenie boczne	Zbiorowa 2002, Young i in. 1964
karpa	stump-root system	pniak i wszystkie korzenie	Zbiorowa 2002, Young i in. 1964
korzenie	roots	wszystkie korzenie boczne, bez korzenia głównego	Zbiorowa 2002, Young i in. 1964
<b>Typy biomasy leśnej (types of forest biomass - Georgia Forestry Commission 2010)</b>			
pnie drzew pozyskiwane w celach handlowych	merchantable stem wood	pnie dobrej jakości, o pierśnicy ponad 5 cali	Georgia Forestry Commission 2010
wierzchołki i gałęzie pozyskanych drzew	tops and branches of harvested trees	gałęzie i wierzchołki	Georgia Forestry Commission 2010
drzewa przygłuszone i wyselekcjonowane	understory and cull trees	drzewa o pierśnicy mniejszej niż 5 cali; nie spełniają standardów i są zwykle pozostawiane na zrębie	Georgia Forestry Commission 2010
czyszczenia i trzebieże	fuel-reduction thinning	drzewa pozyskiwane z czyszczeń i trzebieży	Georgia Forestry Commission 2010
<b>Klasyfikacja sortymentów i części biomasy</b>			
baloty	composite residue logs (CRLs)	cyldryczne bele formowane z pozostałości zrębowych; w typowej postaci mają średnicę 60-75 cm i długość 3m, a ważą 400-600 kg (Zbiorowa 2002); wiązka (pakiet) drobnicy zrębowej	Zbiorowa 2002, Jodłowski 2003, Sadowski 2008

		o średnicy 60-80 cm, długości ok. 3 m i wadze ok. 300-700 kg (Sadowski 2008), balot z zielonych pozostałości zębowych ma średnicę 60-70 cm, długość 3 m i waży około 500 kg (Jodłowski 2003)	
zrębki	forest chips	rozdrobiony za pomocą rębarek surowiec drzewny; zrębkowaniu poddaje się surowiec mało- lub średniowymiarowy; zrębki przeznacza się do produkcji płyt wiórowych, celulozy, ekstrakcji garbników lub na cele energetyczne (Encyklopedia leśna, opr. Dieter Giefing)	Jodłowski 2003,
leśne zrębki opałowe (energetyczne)	forest cheaps	zrębki przeznaczone na cele energetyczne; spalane w specjalnie przystosowanych piecach; traktowane są jako nośnik energii odnawialnej (Encyklopedia leśna, opr. D. Giefing)	Zbiorowa 2003,
drobnica zrębowa	forest residues	odpady drzewne pozostałe po wyrobieniu sortymentów	Zbiorowa 2002
pozostałości pozrębowe			Sadowski 2008
pozostałości zrębowe			Sadowski 2008 Jodłowski 2003
konary	bough, limb	brak definicji w piśmiennictwie leśnym; można domniemywać, że chodzi o grube gałęzie	Jodłowski 2003
drobnica gałęziowa	small pieces of branches	drewno małowymiarowe o maksymalnej średnicy 7 cm w korze, wyrabiane w trakcie realizacji cięć w drzewostanach bliskorębnych i rębnych z gałęzi i konarów drzew; przeznaczona głównie na cele energetyczne (Encyklopedia leśna, opr. D. Giefing, W. Pazdrowski)	Kubiak, Róžański 1985
chrust	dry twigs, sticks	część dendromasy drzew no średnicach nie przekraczających 7 cm	Kubiak, Róžański 1985

## 5.2 Klasyfikacja leśnej biomasy energetycznej

W Lasach Państwowych obowiązuje następująca klasyfikacja surowca drzewnego stosowanego do celów energetycznych (Ślęzak 2010):

- drewno stosowe na cele energetyczne S2ac (sortyment S2ac został wyodrębniony z S2a, stworzonego na potrzeby przemysłu celulozowo-papierniczego i płytowego),
- drewno opałowe S4 (głównym użytkownikiem tego sortymentu są odbiorcy indywidualni, wykorzystujący go do własnych potrzeb grzewczych)
- drewno małowymiarowe M1, M2,
- drobnica gałęziowo-chrustowa na zrębki energetyczne M2 Z (ten sortyment jest odpowiedzią LP na zainteresowanie kontrahentów biomasą energetyczną; został wprowadzony w lipcu br. do sprzedaży na aukcji e-drewno),
- baloty M2 BE (j.w.).

Niezależnie od stosowanej sortymentacji, ważna jest klasyfikacja części biomasy. Przyjęta klasyfikacja pozwala określić potencjalną bazę surowca energetycznego (udział poszczególnych części). Ogólne założenia przyjmowane przez różnych autorów wraz z procentowym udziałem poszczególnych części biomasy w masie ogólnej sosny zostały ujęte w poniższym zestawieniu.

Kubiak, Róžański 1985	Gornowicz 2008	1998-2007 Badania Katedry Techniki Leśnej UP w Poznaniu (Gornowicz 2008)	Bares i in. (2005)
- grubizna dłuźycowa 64% - grubizna stosowa 8% - drobnica gałęziowa 5% - chrust 7% - korzenie 16%	- drewno strzały 61% - kora strzały 8% - gałęzie 12% - igliwie 3% - karpa 16%	- wierzchołki drzew, gałęzie, igliwie 20% - gałęzie cieńsze niż 4 cm i igliwie 15% - gałęzie grubsze niż 4 cm 5%	- pień 69% - wierzchołek, gałęzie 16% - pniak, korzenie 15%



### 5.3 Rozwiązania metodyczne stosowane w badaniach pozyskania biomasy leśnej na cele energetyczne

W tab. 2 przedstawiono próbę syntetycznego ujęcia elementów metodycznych stosowanych w badaniach pozyskania biomasy leśnej do celów energetycznych. Na proces pozyskania biomasy leśnej składa się tyle elementów, że ujęcie syntetyczne jest bardzo trudne i wymaga dodatkowych studiów. Z przeglądu metodyki badań (tab. 2) wynika, że poszczególni autorzy w bardzo różny sposób podchodzili do opracowywania metodyki swoich badań. Przede wszystkim, w różnym stopniu uwzględniali element szerszy, jakim jest pozyskanie surowca drzewnego na cele poza energetyczne. Publikując prace badawcze często nie odróżnia się dostatecznie precyzyjnie cech powierzchni próbnej od cech terenu badań (np. zrębu).

Być może w badaniach, które weszły do przeglądu nie uwzględniano w wystarczającym stopniu bardzo ważnego czynnika ludzkiego (operatorów maszyn), a przynajmniej nie było to dostatecznie podkreślone w publikacjach.

**Tabela 2.** Przegląd rozwiązań metodycznych stosowanych w badaniach użytkowania biomasy leśnej na cele energetyczne

Autor	Różański H, Jabłoński K. 2003a						
Parametry badań	Zrębki	zrębki	zrębki	zębki	zrębki	zrębki	Zrębki
Sortyment	CP	CP	TW	TW	TP	PK	PK
Zabieg -	CP	CP	TW	TW	TP	PK	PK
<b>Opis drzewostanu</b>							
gat. panujący	So	Brz	So	Db	Brz	So	So
śr. wiek	16	27	27	35	93	115	110
śr. pierśnica (cm)	-	6	-	12	43	34	38
śr. wysokość (m)	-	9	-	13	34	24	26
powierzchnia	-	-	-	8,04	-	0,89	6,33
liczba drzew/ha	-	-	-	-	-	-	452
adres	●	●	●	●	●	●	●
pow. próbna wielkość (inne parametry)	3,80	1,67	2,40	-	-	-	-
<b>Opis operacji</b>							
ścinka	Jons. 2054	Jons. 2054	Jons. 2054	Jons. 2054	Jons. 2054	Jons. 2054	harw. Timj. 758
okrzesywanie	siekiera		Jons. 2054		Jons. 2054	Jons. 2054	harw. Timj. 758
wyróbka sortymentów					Jons. 2054	Jons. 2054	harw. Timj. 758

układanie w stosy					ręcznie		
zrywka (do szlaku/drogi)	ręcznie		ręcznie	koń	forw. Timj 1010	forw. Timj 1010	forw. Timj 1010
układanie w stosy przy szlaku		ręcznie					
zrębkowania przy szlaku							
zrywka szlakiem	koń	Koń	koń				
odległość zrywki		110		45	150	150	150
składanie w stosy przy drodze wywozowej			•				
zrębkowania przy drodze wywozowej	DVWB 112	Bruks 1002 CT	DXZA	Bruks 1002 CT	Bruks 1002 CT	Bruks 1002 CT	
załadunek przy drodze wywozowej							
Struktura czasu – pomiar ciągły							
formuła wydajności: $W02=W/T02$ [m <sup>3</sup> /ha]	•	•	•	•	•	•	

Tabela 2. cd.

autor	Sadowski 2008	Sadowski 2009	Rózański i in. 1992				
parametry badań	baloty	zrębki	zrębki	zrębki	zrębki		
Zabieg	rębnia Ib i Vd	rębnia Ib	CP	TW	TP		
Opis drzewostanu							
gat. panujący	-	So	Bk	Db	Bk		
śr. wiek	-	95-105	27	35	93		
śr. pierśnica	-	-	6	12	43		
śr. wysokość	-	-	9	13	34		
powierzchnia	-	3 ha	1,67	8,04	5,53		
liczba drzew/ha	-	-	-	-	-		
adres	-	-	•	•	•		
pow. próbna wielkość (inne parametry)	-	-	-	-	-		
Opis operacji							
Ścinka	-	-	Husq 154	Husq 154 i 444	PS-180		
Okrzesywanie	-	-	-	-	Husq 154 i 444		
Wyróbka sortymentów	-	-	-	-	wyrzynka drewna dłużyco-wego i stoso-wego Husq 154 i 444		
układanie w stosy	•	-	całe drzewa	-	drewno gałęziowe		

wyróbka sortymentu na powierzchni cięć	Slash Bundler 1490D	Silvatec 878, Bruks 800CT	-	-	-		
zrywka do szlaku	-	Silvatec 878, Bruks 800CT		koń (40 m)	drewno dłużyco- we (+myglowanie) ciągnik Tree Farmer C5D zrywka drewna gałęziowego zestawem ciągnik + przyczepa LTPA + żuraw HD-30		
układanie w stosy przy szlaku	-	dla Skorpion a 160 R i Bandita 254	-	-	-		
wyróbka sortymentu (zrębkowanie/balotowanie) przy szlaku	-	Skorpion 160 R Bandit 254	-	-	-		
zrywka szlakiem/drogą leśną	Ciągnik Zetor 14441 Forterra z przyczepką	Silvatec 878, Bruks 800CT	koń (110 m) wciągarka Robox PS 30 (40 m)	wciągarka Roboks PS 30 na ciągniku Ursus 1204	drewno stosowe ciągnik z dwukółką		
odległość zrywki	-	-	110 i 40m	94 m	150 m		
składanie w stosy przy drodze wywozowej	-	-	-	myglowanie: żuraw HD-30 na przyczepie LTPA	drewno gałęziowe		
zrębkowania przy drodze wywozowej	-	-	Bruks 1002 CT	Bruks 1002 CT	Bruks 1002 CT		
załadunek przy drodze wywozowej	-	-	Star 244 Rs	Star 244 Rs	Star 244 Rs		
Pomiar czasu operacji	chronometraż	-	chronometraż ciągły i wyrywkowy				
Formuła wydajności: $W02=W/T02$ [m3/ha]	•	-	-	-	-		

## **5.4 Procesy technologiczne pozyskania biomasy leśnej na cele energetyczne**

Ślęzak (2010) wymienia następujące bariery, utrudniające pełne wykorzystanie biomasy leśnej jako surowca energetycznego:

- niska koncentracja surowca na jednostce powierzchni,
- rozproszenie powierzchni cieć,
- duże odległości transportowe,
- wyzwania logistyczne.

Nie ma różnicy w technologii i technice pozyskiwania tradycyjnego drewna opałowego oraz innych sortymentów drewna przemysłowego, natomiast przy pozyskaniu zrębków energetycznych kluczowy charakter ma operacja zrębkowania. Wybór urządzenia zrębkującego i umiejscowienie operacji zrębkowania jest najistotniejszym elementem technologicznym procesu pozyskiwania surowca energetycznego (Gornowicz 2008).

Jodłowski (2003) wyodrębnia następujące technologie pozyskiwania drewna na cele energetyczne w użytkowaniu rębnym i przedrębnym (odpowiadające tytułom następujących podrozdziałów).

### **5.4.1 Pozyskiwanie drewna opałowego okrągłego**

Do tej pory nie opracowano odrębnych technologii pozyskiwania drewna opałowego, prawdopodobnie z powodu dużego rozdrobnienia odbiorców (braku odbiorców masowych). Pozyskiwanie drewna opałowego, bez względu na kategorię cieć, odbywa się niemal zawsze na marginesie pozyskania surowca właściwego, czyli drewna okrągłego lepszej jakości, przy zastosowaniu typowych dla danych warunków metod i technologii.

W metodzie drewna krótkiego i dłużycowej wyrobienie tzw. „opału” następuje bezpośrednio w miejscu cieć, natomiast w metodzie całej strzały – po zrywce, przy drodze wywozowej. Tak przygotowane drewno opałowe może trafić bezpośrednio do odbiorcy lub zostać poddane dalszej wyróbce – przerzynce na krótsze długości i/lub szczapy (ręcznie, za pomocą pilarek łańcuchowych – siekier do łupania lub w sposób zmechanizowany) (Jodłowski 2003).

## **5.4.2. Pozyskiwanie leśnych zrębków opałowych**

Przy pozyskiwaniu leśnych zrębków opałowych stosowane są różne technologie, ponieważ bardzo zróżnicowana jest rozpiętość warunków, w jakich się ono odbywa (w zależności od kategorii cięć: od czyszczeń późnych do cięć rębnych). Różna jest także ilość biomasy możliwej do pozyskania w różnych fazach wzrostu drzewostanu (zrębkowaniu podlega drewno gorszej jakości lub trudne do zbycia w innej postaci) (Jodłowski 2003).

Operacją kluczową każdej technologii pozyskiwania leśnych zrębków opałowych jest samo zrębkowanie. W zależności od miejsca, gdzie odbywa się zrębkowanie, można wyróżnić trzy grupy technologii (w kolejności kolejnych podrozdziałów).

### **5.4.2.1 Zrębkowanie na powierzchni cięć**

W tej grupie samobieżna rębarka, najczęściej na podwoziu forwardera, wyposażona w samowyladowczy zasobnik o pojemności 10-20 m<sup>3</sup> i żuraw do podawania surowca do gardzieli rębarki porusza się po powierzchni cięć, zrębkując nagromadzony surowiec. Po napełnieniu zasobnika rębarka podejżdża do drogi wywozowej i opróżnia go, ładując zrębki do kontenera samochodowego.

Do wad tej technologii można zaliczyć: konieczność ścisłej koordynacji (duża zależność między rębarką a samochodem wywozowym), duży ciężar rębarki (ograniczenia związane z nośnością podłoża), praca tylko na płaskim i równym podłożu, mała pojemność zasobnika (maksymalna odległość zrywki zrębków: 300-400 m), zależność od pory roku (zrębki produkowane zimą mają większą wilgotność) (Jodłowski 2003).

### **5.4.2.2 Zrębkowanie na składnicy zlokalizowanej przy powierzchni cięć**

W tej technologii można wykorzystać zarówno małe rębarki zawieszane na ciągnikach rolniczych, rębarki samobieżne, duże rębarki montowane na podwoziach samochodowych, jak i specjalne kruszarki. Surowiec do zrębkowania jest dostarczany forwarderem lub przyczepą nasiębierną, zagregatowaną z ciągnikiem

rolniczym i układany w stosy. Surowiec jest zrębkowany bezpośrednio do kontenerów samochodowych o pojemności 100-130 m<sup>3</sup>.

Tę technologię można stosować również w trudnym terenie, w warunkach zimowych, a także – przy większych odległościach zrywki (Jodłowski 2003).

#### **5.4.2.3 Zrębkowanie w miejscu wykorzystania zrębków**

W tym wariantcie surowiec jest transportowany samochodami wywozowymi do zrębkowania w miejscu przeznaczenia (przy terminalu, instalacji grzewczej, elektrociepłowni). Może być przewożony w postaci całych drzew, okrzęsanych strzał, luźnych pozostałości zrębowych lub balotów (tzw. składowanych pozostałości zrębowych”). Zrębkowanie na dużych, stacjonarnych rębarkach obniża znacząco koszt operacji (Jodłowski 2003).

Dobór technologii będzie zależał przede wszystkim od:

- rodzaju surowca, jaki będzie pozyskiwany,
- rozmiaru pozyskania,
- kategorii cięć,
- posiadanych środków technicznych.

#### **5.4.2.4 Pozyskiwanie leśnych zrębków opałowych w cięciach przedrębnych**

W przypadku drzewostanów młodszych, poddawanych czyszczeniom późnym lub trzebieżom wczesnym, zrębkowane mogą być całe drzewa lub okrzęsane strzały. Rębarka porusza się wyłącznie po szlakach zrywkowych, dostosowanych do jej rozmiarów. W związku z tym, że surowiec jest układany w międzyrzędach, rębarka powinna mieć możliwość bocznego podawania surowca.

Przykładowe procesy technologiczne ze zrębkowanie podano w tab. 3. Technologie zrębkowaniu całych drzew (w istocie – tylko ich nadziemnych części) zostały opracowane w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku są stosowane w ograniczonym zakresie głównie w Finlandii, w drzewostanach o niewielkiej miąższości drzew (0,02-0,03 m<sup>3</sup>). W każdym przypadku konieczne jest stosowanie szlaków zrywkowych o szer. 4 m położonych w odstępach wymaganych przez

zastosowane środki techniczne. Proces 2 byłby trudny do zastosowania w warunkach polskich z uwagi na duże zagęszczenie drzew w drzewostanie. W procesie 3 z okrzyszanych strzał formuje się wiązki, które w zależności od wielkości pozyskiwanych drzew liczą od kilku do kilkunastu sztuk.

**Tabela 3.** Propozycje procesów technologicznych pozyskania zrębków opałowych w cięciach przedrębnych (opracowane na podstawie Jodłowski 2003)

Zrębkowanie na powierzchni cięć		Zrębkowanie na składnicy zlokalizowanej przy powierzchni cięć		
całe drzewa	Okrzesane strzały	całe drzewka	drzewa w sekcjach	przerzynane strzały
<p>Proces 1 (ręczno-maszynowy)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ścinka drzew pilarką</li> <li>- układanie ściętych drzew wzdłuż szlaku zrywkowego</li> <li>- zrębkowanie i zrywka</li> <li>- wywóz zrębków</li> </ul> <p>Odstęp między szlakami zrywkowymi – ok. 30m.</p>	<p>Proces 3 (ręczno-maszynowy)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ścinka i okrzyszanie drzew pilarką (w przypadku strzał dłuższych niż 8-9 m dopuszczalna przerzynka na odcinki 4,5-5 m)</li> <li>- ręczne układanie drewna</li> <li>- zrębkowanie i zrywka</li> <li>- wywóz zrębków.</li> </ul>	<p>Proces 4 (ręczno-maszynowy)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ścinka drzew pilarką</li> <li>- ręczne układanie ściętych drzew przy szlaku zrywkowym w zasięgu żurawia załadowniczego forwardera lub przyczepki leśnej</li> <li>- zrywka</li> <li>- zrębkowanie</li> <li>- wywóz zrębków</li> </ul> <p>Odstęp między szlakami zrywkowymi – ok. 30m</p>	<p>Proces 6 (ręczno-maszynowy)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ścinka drzew pilarką</li> <li>- przerzynka ściętych drzew na odcinki o dł. 4-5 m</li> <li>- układanie ręczne drewna</li> <li>- zrywka przyczepką leśną lub forwarderem</li> <li>- zrębkowanie</li> <li>- wywóz zrębków</li> </ul> <p>Szlaki zrywkowe o szer. 3,5-4 m powinny być odległe od siebie o ok. 30m</p>	<p>Proces 7 (ręczno-maszynowy)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ścinka i okrzyszanie drzew pilarką</li> <li>- przerzynka okrzyszanych strzał na odcinki dł. 4,5-5 m</li> <li>- układanie ręczne drewna</li> <li>- zrywka forwarderem</li> <li>- zrębkowanie</li> <li>- wywóz zrębków</li> </ul>
<p>Proces 2 (maszynowy)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ścinka i układanie drzew za pomocą maszyny ścinkowo-układającej lub harwestera wyposażonego w głowicę typu MTH (multi tree-handling)</li> </ul> <p>Odstęp między szlakami</p>	/	<p>Proces 5 (maszynowy)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ścinka i układanie drzew za pomocą maszyny ścinkowo-układającej lub harwestera wyposażonego w głowicę typu MTH (multi tree-handling)</li> <li>- zrywka forwarderem lub przyczepką leśną</li> <li>- zrębkowanie</li> <li>- wywóz zrębków</li> </ul> <p>Odstęp między szlakami</p>	/	/

zrywkowymi uzależniony od wysięgu żurawia		zrywkowymi uzależniony od wysięgu żurawia		
---	--	---	--	--

Technologie zrębkowania na składnicy przy powierzchni cięć mogą być stosowane do pozyskiwania zrębków w drzewostanach zarówno młodszych, jak i starszych klas wieku. W drzewostanach młodszych, tak w jak w poprzedniej grupie, surowcem do zrębkowania mogą być całe drzewa, drzewa w sekcjach, całe strzały lub ich części; w drzewostanach starszych – wierzchołki drzew, gałęzie, ewentualnie część drzewa średniowymiarowego.

Część technologii pozyskiwania zrębków pokrywa się z technologiami pozyskania drewna okrągłego, co najbardziej widoczne jest w drzewostanach starszych, złożonych z drzew o dużej miąższości. Z części odziomkowej strzał wyrabia się kłody lub wałki drewna stosowego, zaś wierzchołek jest pozostawiany do zrębkowania.

Z uwagi na swoją pracochłonność, bardzo ważnym elementem procesu pozyskania jest układanie surowca – wpływa istotnie na wydajność zrywki. Przy zrywce nasiębiernej surowiec układa się w międzyrzędach, w tzw. strefie układania, w zasięgu żurawia zrywkowego, znajdującej się w odległości 1 m od szlaku zrywkowego. Szerokość stref zależy od wysięgu żurawia – w przypadku forwardera wyposażonego w żuraw o wysięgu 10 m, szerokość strefy wynosi ok. 6 m. Szerokość szlaku zrywkowego powinna wynosić 3-3,5 m – dla ciągnika rolniczego z przyczepką leśną lub 3,5-4 m – dla forwardera. Przyczepki leśne mają żurawie o wysięgu mniejszym niż forwardery więc w przypadku ich stosowania surowiec powinien być ułożony bliżej szlaku zrywkowego. Odstęp między szlakami powinien wynosić ok. 30 m w trzebieżach wczesnych i 20-25 m w trzebieżach późnych (Jodłowski 2003).

#### **5.4.2.5 Pozyskanie zrębków w użytkowaniu rębny**

Źródłem surowca do zrębkowania w cięciach rębnych są przede wszystkim pozostałości zrębowe – wierzchołki drzew oraz konary i gałęzie. W zależności od cen drewna, rozdrabniać można również mniej cenną część drewna średniowymiarowego ze strzał (Jodłowski 2003).



#### **5.4.2.5.1 Zrębkowanie na powierzchni cięć**

W odróżnieniu od cięć przedrębnych, stosowane agregaty zrębkujące lub rębarki samobieżne mogą być większe (brak ograniczeń wynikających z zagęszczenia drzewostanu i szerokości szlaków zrywkowych). Maszyny poruszają się pasami, systematycznie zrębkując surowiec (Jodłowski 2003).

#### **5.4.2.5.2 Zrębkowanie na składnicy przy powierzchni cięć**

Brak ograniczeń dotyczących szerokości szlaków zrywkowych pozwala na stosowanie, oprócz forwarderów, specjalnych przyczepek, agregatowanych z ciągnikami rolniczymi, umożliwiających częściowe zgniatanie przewożonego ładunku. Na forwardery i przyczepki nakładane są dodatkowe ramy, zwiększające przestrzeń ładowną (Jodłowski 2003).

#### **5.4.2.5.2 Zrębkowanie w miejscu wykorzystania zrębków**

Podobnie, jak w przypadku cięć przedrębnych, surowiec jest transportowany samochodami do zrębkowania w miejscach przeznaczenia. Ponieważ wydajność przewozu zależy w sposób istotny od stopnia wypełnienia ładunku, podjęto prace nad jego zagęszczeniem. W efekcie powstała technologia z zastosowaniem balotów (Jodłowski 2003).

#### **5.4.2.5.3 Pozyskiwanie balotów opałowych**

Podobnie jak w przypadku procesu zrębkowania, produkcja balotów jest elementem dodatkowym, „marginalnym” wobec właściwego procesu pozyskania drewna. Procesy technologiczne produkcji balotów (poza przerobem drewna średniowymiarowego) są identyczne, jak procesy zrębkowania, tylko zamiast operacji zrębkowania występuje operacja formowania i zrywki/wywozu balotów.

Technologia produkcji balotów należy do najnowszych – została wprowadzona w Finlandii w 2001 r. Balot z zielonych pozostałości zrębowych ma średnicę 60-70 cm, długość – 3 m, a waży około 500 kg. Pozwala na uzyskanie energii równej 1

MWh (Jodłowski 2003). Technologię balotowania przy wykorzystaniu maszyny Slash Bundler 1490 D w warunkach polskich badań Sadowski (2008).

## 6. Metody kalkulacji kosztów

Kalkulacja kosztów pozyskania drewna energetycznego powinna odbywać się na trzech poziomach:

- poziom strategiczny,
- poziom taktyczny (managerowie muszą zdecydować, na przykład, ile drewna rocznie będzie pozyskane z każdej jednostki i gdzie będzie ono przerabiane),
- poziom operacyjny – obejmujący drzewostany do pozyskania drewna i plan operacji (Zbiorowa 2002).

Można wyodrębnić następujące grupy czynników wpływających na pozyskanie drewna energetycznego:

**Czynniki związane ze stosowanymi maszynami**, w tym: stabilność maszyn, szybkość przejazdów, manewrowość, hauling capacity, szybkość załadunku i wyładunku, ładowność).

**Czynniki związane z warunkami pracy i otoczenia** (work-site conditions), w tym: ukształtowanie terenu, metody stosowane przy wcześniejszym bądź jednoczesnym pozyskaniu drewna okrągłego, odległość zrywki, ilość biomasy pozostawianej na miejscu)

**Czynnik ludzki** - operatorzy maszyn w znaczący sposób wpływają na koszty pozyskania drewna; należy tu wskazać: odporność, umiejętności i wprawę, wydajność fizyczna i psychologiczna, motywacja do pracy Harstela 1993 za Zbiorowa 2002).

**Interakcje między maszynami**. W łańcuchu produkcji, w pozyskaniu, przerobie i transporcie materiałów uczestniczą różne maszyny. Między poszczególnymi operacjami drewno energetyczne jest składowane – w różny sposób i w różnym czasie. Segmenty łańcucha wchodzi między sobą w interakcje – bezpośrednio, kiedy materiał przechodzi prosto z maszyny na maszynę, oraz pośrednio, kiedy pomiędzy maszynami jest faza składowania (Zbiorowa 2002).

Specyficzna dla drewna energetycznego jest tylko część procesów pozyskania drewna (np. wytwarzanie zrębków), w związku z czym w części pozyskanie tego drewna przebiega tak samo, jak w przypadku innych sortymentów. Dlatego też, przy badaniu procesów (technologii i techniki) pozyskania drewna energetycznego analizie poddaje się całe procesy, z elementami ogólnymi, charakterystycznymi dla pozyskania innych sortymentów (np. ze ścinką, okrzesywaniem i przerzynką drzew), a także, osobno, elementy procesu specyficzne tylko dla drewna energetycznego (np. zastosowanie rębarek).

Czynniki, które uwzględnił autor badań przy kalkulacji kosztów znajdują swój wyraz w przyjętych formułach kalkulacji.

Poniżej podano przykład szczegółowej kalkulacji kosztów zrębkowania rębakiem Śmigiel (2006):

- koszt zakupu maszyny  $M$  (zł),
- wartość po okresie amortyzacji  $B$  (zł),
- okres amortyzacji  $G$  (lata),
- liczba dni roboczych w roku  $H$  (dni/rok),
- liczba godzin pracy w ciągu dnia  $h$  (h/dzień),
- stopa procentowa kapitału  $O$  (%),
- ubezpieczenie garażowanie  $U$  (%),
- koszty napraw w stosunku do amortyzacji  $Y$  (%),
- zużycie paliwa  $F$  (l/h),
- cena paliwa  $C_p$  (zł/l),
- zużycie oleju i smarów w stosunku do zużycia paliwa  $S_m$  (%),
- koszt oleju i smarów  $C_s$  (zł/l),
- koszt opon  $C_o$  (zł),
- przewidywana żywotność opon  $R$  (h),
- płaca operatora  $Z$  (zł/h),
- narzuty od płac  $T$  (%),
- czas pracy bez maszyny  $h_b$  (h/dzień),
- czas pracy z maszyną  $h_z$  (h/dzień).

**koszy inwestycyjne  $K_i$  (zł/h):**  $(A+O/100)*S_r+(U/100)*S_r/H_h$

**koszty eksploatacyjne  $K_e$  (zł/h):**  $(Y/100)*A/H_h+FC_p+(S_m/100)*FC_s+Co/R$

**koszty plac  $K_p$  (zł/h):**  $Z*(1+T/100)*(h_b+H_z)$ .

**Razem koszty godzinowe  $K_g = K_i+K_e+K_p$**

Sadowski (2008) nie podaje szczegółów metodycznych kalkulacji kosztów pracy maszyn przy produkcji balotów, ograniczając się do stwierdzenia, że wykonano symulację kosztów w przypadku pracy na jedną/dwie zmiany. Podano koszty godzinowe [zł/ha] i jednostkowe [zł/m<sup>2</sup>] pracy maszyny balotującej Slash Bundler 1490D oraz ciągnika z przyczepą. W pracy poświęconej porównaniu efektów pozyskiwania biomasy leśnej różnymi maszynami ten sam autor (Sadowski 2009) również nie podał szczegółów dotyczących sposobu kalkulacji kosztów, ograniczając się do podania ich wielkości i autorów metody.

## **7. Podsumowanie:**

1. W wielu publikacjach podkreśla się, że szczególną cechą bazy surowcowej biomasy leśnej użytkowanej na cele energetyczne jest jej duże rozproszenie (niska koncentracja energii).
2. Procesy właściwe wyłącznie dla pozyskania biomasy energetycznej (zrębkowanie, balotowanie) często są elementem dodatkowym w procesach pozyskania innych sortymentów drzewnych (np. zrębkowanie i balotowanie pozostałości zrębowych).
3. W warunkach polskich ważnym czynnikiem ograniczającym w części możliwości pozyskania biomasy leśnej na cele energetyczne jest duże zagęszczenie drzew w drzewostanach (utrudnione operowanie ciężkich maszyn).
4. Występują duże różnice w metodyce prowadzonych badań, a szczególnie, w sposobie ich publikacji, w tym: uwzględnieniu w opisie badań elementów pozyskiwania innych niż energetyczne sortymentów drzewnych, szczegółowości opisu terenu badań (drzewostanu) i powierzchni próbnych. Jest to o tyle istotne, że proces pozyskania surowca energetycznego zależy ściśle od warunków

zewnątrznych, w tym – drzewostanowych. Autorzy zwracają małą uwagę na tzw. czynnik ludzki, odgrywający zasadniczą rolę w wykorzystaniu biomasy na cele energetyczne.

5. W niektórych przypadkach autorzy podają wyniki badań bez szczegółowego opisu ich metodyki (np. jest napisane: przeprowadzono symulację, bez podania szczegółowych założeń symulacji).

6. Ponieważ zasoby drzewne są niewystarczające dla zaspokojenia potrzeb jednocześnie przemysłu drzewnego i energetycznych, poszukuje się nowych, innowacyjnych sposobów użytkowania biomasy leśnej na cele energetyczne, przede wszystkim w dotąd niekomercyjnych czyszczeniach i trzebieżach wczesnych i zagospodarowaniu odpadów pozrębowych.

## Literatura

- Варес В., Касък Ю., Муйсте П. Пиху Т., Соосаар С. 2005: Справочник потребителя биотоплива [Poradnik użytkownika biopaliwa]. Таллиннский технический университет. Таллинн 2005.
- Biomasa.org 2010:
- Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu 2010: Encyklopedia Leśna (serwis internetowy)
- Jabłoński K. 2002: Innovations in the use of woody biomass as a renewable energy source – an analysis of selected cases. Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum. Ratio et Industria Lignaria (Leśnictwo i Drzewnictwo), 8 (3) 2009. 29-38 ss.
- Jodłowski 2003: Technologie pozyskiwania drewna na cele energetyczne w użytkowaniu rębny i przedrębny. W: „Możliwości wykorzystania biomasy na cele energetyczne”. Konferencja w Malinówce k. Ełku, 16-17 października 2003 r. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Zarząd Główny SITLID, RDLP w Białymstoku.
- Georgia Forestry Commission 2010: Forest Bioenergy and Biomass for Georgia (<http://www.gfc.state.ga.us/ForestMarketing/BiomassEnergy.cfm> - dostęp z 22.10.2010 r.).
- Gornowicz R. 2010: Wykorzystanie biomasy ze zrębów i trzebieży na cele energetyczne. Biblioteczka leczniczego 274. Wyd. Świat. Warszawa 2008. 8 s.
- Harstela P. 1993: Forest Work Science and Technology. Part 1. University of Joensuu, Faculty of Forestry, Joensuu. 113 s.
- Helms A. (ed.) 1998: The dictionary of forestry. The Society of American Foresters.

- Kubiak M., Róžański H. i inni 1985: Charakterystyka techniczna rębnych drzew i drzewostanów sosnowych pod kątem mechanizacji prac pozyskaniowych. Dokumentacja AR-IBL.
- Ministerstwo Gospodarki 2009: Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Warszawa.
- Róžański H, Jabłoński K., 2003a: Analiza wybranych procesów technologicznych pozyskiwania zrębków energetycznych. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum. Ratio et Industria Lignaria (Leśnictwo i Drzewnictwo)*. 2. (R-38627)
- Róžański H. i Jabłoński K., 2003b: Wykorzystanie zasobów drewna energetycznego w leśnictwie. W: "Możliwości wykorzystania biomasy na cele energetyczne". Konferencja naukowo-techniczna, Malinówka k/Ełku, 16-17 października. 2003 r.
- Róžański H., Jabłoński K., Gornowicz R., Kusiak W. 1992: Analiza procesów technologicznych pozyskiwania drewna w drzewostanach liściastych. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych LXXIV*: 94-98.
- Sadowski 2008: Wykorzystanie maszyny pakietującej „Slash Bundler 1490 D do utylizacji pozostałości zrębowych. W: *Tendencje i problemy techniki leśnej w warunkach leśnictwa wielofunkcyjnego*. Red. H. Róžański, K. Jodłowski. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. Poznań 2008. ss. 183-188.
- Sadowski 2009: Efekty pozyskiwania biomasy leśnej z cięć rębnych na cele energetyczne wybranymi maszynami. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 543: 275-282.
- Ślęzak G. 2010: Zasoby biomasy leśnej z lasów zarządzanych przez Lasy Państwowe w perspektywie lat 2015 i 2020. W: *Forum Leśne: Człowiek Las Drewno*. 9-11 września 2010, XII Targi Eko-Las, Mostki k. Świebodzina. 67-70 ss.
- Śmigiel R. 2006: Analiza wybranych metod pozyskiwania drewna przeznaczonego do celów energetycznych. Praca magisterska. SGGW. Warszawa.
- Zbiorowa 2002: *Bioenergy from sustainable forestry*. Ed. J. Richardson, R. Bjoeheden, P. Hakkila, A.T. Lowem, C.T. Smith. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston/London. 343 s.
- Young H.E., Strand L., Altenberger R. 1964: Preliminary fresh and dry weight tables for seven tree species in Maine. *Maine Agricultural Experiment Station, Tech. Bulletin* 12. 76 s.