

TOMASZ GAŁĘZIA

## Bilans energetyczny oraz czasochłonność wybranych elementów w łańcuchu technologicznym pozyskiwania biomasy leśnej\*

Energy balance and time-consumption of selected components  
in technological chain of forest biomass harvesting

### ABSTRACT

Gałęzia T. 2013. Bilans energetyczny oraz czasochłonność wybranych elementów w łańcuchu technologicznym pozyskiwania biomasy leśnej. Sylwan 157 (6): 419-424.

The purpose of the research performed in the Augustowska Primeval Forest (NE Poland) was to estimate the energy spent on preparation and transportation of energetic biomass in form of chips made of final felling residues and comparing it with an energetic output received at the power plant in nearby Białystok. Data was collected in form of working's day activity study on 18 clear-cut areas during 67 hours of research. Research proved that currently used methods of harvesting, processing and transportation of forest biomass in form of chips are highly efficient from point of view of energy balance. However, this efficiency can even be raised by localizing of felling sites closer to the power plant. In such case, energy spent on chipping would probably be the most significant input.

### KEY WORDS

forest biomass, chips, energy

### ADDRESSES

Tomasz Gałęzia – e-mail: t.galezia@bialystok.lasy.gov.pl

Nadleśnictwo Pomorze; Pomorze 8; 16-506 Giby

### Wstęp

Postępujący proces globalnego ocieplenia i wyczerpujące się źródła kopalin wymuszają poszukiwanie alternatywnych źródeł energii. Za główną przyczynę obserwowanych zmian klimatu uważa się wzmożoną w ostatnich latach emisję gazów cieplarnianych, ze szczególnym uwzględnieniem dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>). Roczne emisje tego gazu w okresie 1970-2004 wzrosły z 21 do 38 Gt i obecnie stanowią 77% emisji wszystkich gazów cieplarnianych. W latach 1995-2004 wskaźnik wzrostu emisji ekwiwalentu CO<sub>2</sub> rósł znacznie szybciej (0,94 Gt/rok) niż w latach 1970-1994 (0,43 Gt/rok). Obecne emisje takich gazów jak CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O czy halony daleko przewyższają emisje okresu preindustrialnego. Aktualne stężenie CO<sub>2</sub> w atmosferze wynosi 379 ppm, gdy w okresie poprzedzającym gwałtowny rozwój przemysłu wynosiło jedynie 280 ppm. Średni wskaźnik wzrostu stężenia CO<sub>2</sub> w latach 1995-2005 wyniósł 1,9 ppm/rok, a w latach 1960-2005 1,4 ppm/rok. Obecne stężenie metanu w atmosferze to 1774 ppb, a podtlenku azotu – 319 ppb [Climate... 2007].

Kontynuacja wzrostu stężenia gazów cieplarnianych w atmosferze prowadząca do dalszego wzrostu temperatury może mieć katastrofalne skutki dla ludzkości. Za jeden ze sposobów

\* Praca powstała dzięki finansowemu wsparciu z grantu NN309 112838.

ograniczenia emisji gazów cieplarnianych postrzega się zastąpienie produkcji energii z paliw kopalnych produkcją energii z biomasy, w tym z drewna w różnym stanie przetworzenia. Zagadnienia związane z analizą różnych procesów technologicznych pozyskiwania biomasy, w tym również pod względem kosztochłonności, są aktualne i często omawiane na łamach prasy leśnej, rzadko jednak znaleźć można analizę wydatków energii związanych z pozyskiwaniem biomasy leśnej. Problematykę tę w warunkach polskich analizowali Różański i Jabłoński [2010], a w odniesieniu do produkcji pelletów i brykietu – Drobnik [2007].

Celem badań było porównanie wydatków energetycznych na pozyskanie i transport biomasy leśnej w formie zrębków z przychodem energetycznym powstałym ze spalenia tej biomasy wraz ze stwierdzeniem, która operacja cyklu jest najbardziej energochłonna, oraz analiza czasochłonności poszczególnych etapów procesu.

## Material i metody

Badania terenowe prowadzono na obszarze Puszczy Augustowskiej w nadleśnictwach Augustów i Pomorze. Zaewidencjonowano ponad 67 godzin obserwacji na 18 zrębach.

Analizę wydatków energetycznych podzielono na kilka etapów: określenie energii wbudowanej w maszynę, pomiar energii zużytej na ścinę drzew, zrębkowanie pozostałości zrębowych, ich zrywkę oraz transport do elektrociepłowni. Przychody energetyczne określono, bazując na danych z Elektrociepłowni Białystok. Określenia energii wbudowanej dokonano w oparciu o wartości energetyczne opublikowane w literaturze oraz informacje o masie maszyn uzyskane od producentów. Na potrzeby niniejszej pracy, dla forwaderów z zabudowanymi na nich rębakami, wartość energii wbudowanej przyjęto na poziomie 66 MJ/kg, a przeciętny czas eksploatacji maszyny ustalono na 18 000 mtg [Athanassiadis i in. 2002].

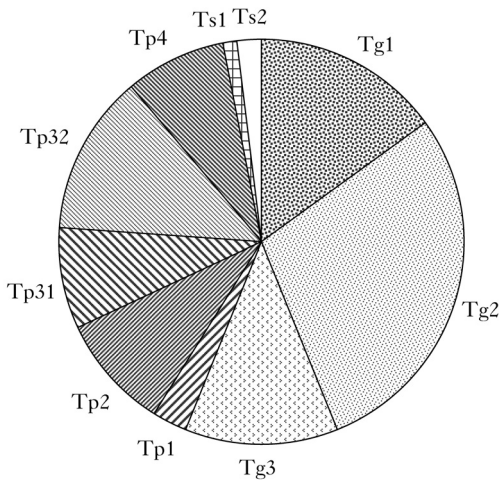
Zdecydowano, że najlepszą metodą uzyskania informacji o bilansie energetycznym procesów pozyskiwania biomasy będzie prowadzenie fotografii dnia roboczego w odniesieniu do poszczególnych maszyn biorących udział w łańcuchu technologicznym. Pomiaru czasu trwania poszczególnych operacji dokonywano za pomocą zegarka elektronicznego z dokładnością do sekundy i notowano w raptularzu. Zużycie paliwa przez drwala określono na podstawie pomiarów ilości benzyny w odniesieniu do pozyskanej ilości gałęzi. Procentowy udział gałęzi w części nadziemnej drzewa określono na 15% [Różański, Jabłoński 2009]. Zużycie paliwa przez rębak i ciągnik oraz samochody wywozowe określono na podstawie odczytu z komputera pokładowego maszyn. Wartość kaloryczną paliw uzyskano od dostawców materiałów pędnych obsługujących stacje paliw, na których tankowano sprzęt.

Ścinę, okrzesywanie i manipulację sortymentów prowadzono profesjonalnymi pilarkami spalinowymi Husqvarna 357 XP, Stihl 361 oraz Stihl 362. Gałęzie na stosy składano ręcznie. Zrębkowanie i zrywka realizowane były przez zestaw składający się z ciągnika specjalistycznego John Deere 1410 B i zabudowanego na tym podwoziu rębaka Bruks 804 CT lub John Deere 1410 B Eco III i zabudowanego na tym podwoziu rębaka Bruks 805 CT. Zestaw zrębkujący poruszał się po powierzchni zrębowej pomiędzy stosami ułożonych gałęzi pozostałych po pozyskaniu drewna wielko- i średniowymiarowego. Po dotarciu do stosu gałęzie ładowane były za pomocą chwytaka do gardzieli rębaka, zrębkowane i poprzez wydmuch podawane do skrzyni ładunkowej o pojemności około 18 m<sup>3</sup>(p). Po wypełnieniu skrzyni maszyna zrywała zrębki do drogi wywozowej i przesypywała surowiec do kontenerów pojazdów wywozowych Scania 124 L. Po przeładunku maszyna wracała na powierzchnię. Załadowanie jednego zestawu wywozowego składającego się z 2 kontenerów wymagało wykonania 4 cykli pracy, czyli dostarczenia 72 m<sup>3</sup>(p) zrębków. Zdjęcie i założenie kontenerów na samochód wywozowy odbywało się za pomocą

manipulatora hydraulicznego, w który wyposażony był samochód [Kubiak 1998]. Pojazdy wywozowe transportowały surowiec na plac elektrociepłowni w Białymstoku, gdzie następował ich rozładunek. Dystans przejazdu samochodu wywozowego w obie strony wynosił przeciętnie 192 km.

## Wyniki

Pośród operacji wykonywanych pilarką spalinową najbardziej czasochłonne okazało się okrzyszanie, zajmujące 29% czasu (ryc. 1). Czasy główne (ścinka, okrzyszanie i manipulacja sortymentów) obejmowały łącznie 56% całości zaewidencjonowanego czasu. Interesujący jest aż trzynastoprocentowy udział czasu przeznaczony na przygotowanie stanowiska pracy, mimo braku pokrywy śnieżnej i dość ubożego siedliska. Należy jednak wziąć pod uwagę dużą czasochłonność okorowywania pni sosen o obwodzie przekraczającym 2 metry. Niemal połowę obserwowanego czasu prac wykonywanych przez zestaw zrębkujący (49%) zajmowało zrębkowanie gałęzi (ryc. 2). Do czasów głównych zaliczono też zrywkę i powrót na powierzchnię po wyładunku zrębków, zajmujące odpowiednio 8 i 7% czasu całkowitego. Bardzo sprawnie



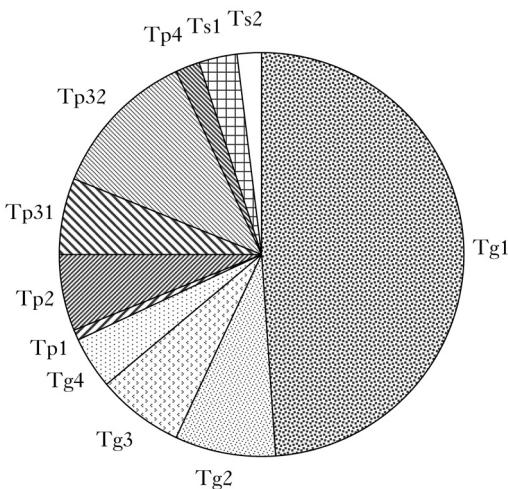
Ryc. 1.

Struktura [%] czasu procesu technologicznego ścinka, okrzyszania i manipulacji drzew

Time structure [%] for felling, pruning and timber manipulation processes

Tg1 – ścinka; Tg2 – okrzyszanie; Tg3 – manipulacja; Tp1 – czas przygotowawczo-zakończeniowy; Tp2 – obsługa techniczna; Tp31 – zmiana stanowiska pracy; Tp32 – przygotowanie stanowiska pracy; Tp4 – przerwy wypoczynkowe i fizjologiczne; Ts1 – naprawy; Ts2 – czas strat z tytułu organizacji pracy

Tg1 – felling; Tg2 – pruning; Tg3 – manipulation; Tp1 – preparation and finishing; Tp2 – technical support; Tp31 – work post change; Tp32 – work post preparation; Tp4 – rest and physiological breaks; Ts1 – repairs; Ts2 – time lost because of work organisation



Ryc. 2.

Struktura [%] czasu procesu technologicznego zrębkowania, zrywki zrębków i ich wyładunku

Time structure [%] for chips production, transportation and manipulation processes

Tg1 – zrębkowanie; Tg2 – zrywka; Tg3 – powrót na zrąb bez ładunku; Tg4 – wyładunek zrębków; Tp1 – czas przygotowawczo-zakończeniowy; Tp2 – obsługa techniczna; Tp31 – zmiana stanowiska pracy; Tp32 – przejazdy długodystansowe; Tp4 – przerwy wypoczynkowe i fizjologiczne; Ts1 – naprawy; Ts2 – czas strat z tytułu organizacji pracy

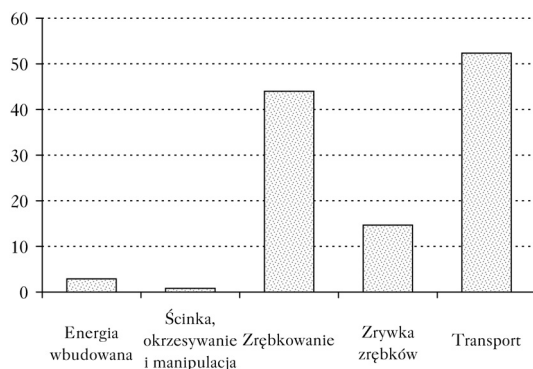
Tg1 – chips production; Tg2 – transportation; Tg3 – loadless travel; Tg4 – chips disembarking; Tp1 – preparation and finishing; Tp2 – technical support; Tp31 – work post change; Tp32 – long-distance travels; Tp4 – rest and physiological breaks; Ts1 – repairs; Ts2 – time lost because of work organisation

wyładunek zrębków zdecydował o jedynie czteroprocentowym udziale tej operacji. Przejazdy długodystansowe, wynikające z braku koncentracji przestrzennej prac, zajmowały aż 12% czasu. Czas strat z tytułu organizacji pracy – tak w przypadku prac na poziomie ręczno-maszynowym, jak i maszynowym – wyniósł około 2% (ryc. 1 i 2). Najbardziej energochłonną częścią procesu pozyskiwania i transportu zrębków jest transport surowca. Obejmuje on niemal 46% nakładów energetycznych. Bardzo istotną rolę odgrywa też nakład energetyczny rębaka sięgający ponad 38%. W przypadku skrócenia dystansu transportowego do około 160 km w obie strony, to właśnie nakład energetyczny rębaka odgrywałby kluczową rolę w procesie. Udział energii wbudowanej w maszynę (pomimo jej masy przekraczającej 30 t) i energii zużytej na ścinę, okrzesywanie i manipulację nie przekracza w sumie 4%.

W efekcie przeprowadzonych analiz uzyskano uśrednione wartości nakładów energetycznych na poszczególne etapy procesu pozyskiwania i transportu biomasy leśnej w formie zrębków (ryc. 3). Obejmują one zarówno wartości nakładów na wytworzenie maszyny (energia wbudowana), jak i na poszczególne etapy pozyskiwania, przetwarzania i transportu biomasy. Ze względu na dużą zmienność w obrębie odległości zrywki zrębków (obserwowano zrywkę na odległość 2 km, jak i na dystansach nieprzekraczających 100 m), a co za tym idzie możliwość manipulacji tego nakładu poprzez dobór zrębków położonych blisko dróg wywozowych, zdecydowano o rozdzieleniu nakładów na zrębkowanie i zrywkę zrębków mimo realizacji obu operacji przez ten sam środek techniczny. Przeciętna wartość energetyczna zrębków, przy założonym cieple spalania na poziomie 18596 MJ/t, pozwala na uzyskanie wartości opałowej równej 9298 MJ/t. Przeciętne wartości wilgotności dostarczanych partii surowca oscyływały wokół 50%, a sprawność bloku energetycznego wynosiła 80%. Zakładając masę zrębków równą 300 kg/m<sup>3</sup>, przeciętnie uzyskiwano 2231,52 MJ energii/m<sup>3</sup>(p) zrębków.

## Dyskusja

Sumaryczna energochłonność całego procesu pozyskiwania wyniosła 114,72 MJ/m<sup>3</sup>(p). Przy założeniu, że 1 m<sup>3</sup> odpowiada 2,63 m<sup>3</sup>(p) zrębków [Kofman 2010], to wydatki energetyczne w przeliczeniu wynoszą 301,79 MJ/m<sup>3</sup>. Jest to wartość o blisko 65% wyższa niż uzyskana w badaniach Różańskiego i Jabłońskiego [2010], mimo że w swych analizach uwzględnili oni zrywkę kłód. Ze względu na odmienną technologię przetwarzania pozostałości zrębowych nie ma możliwości bezpośredniego porównania tych procesów, jednak procentowy udział energii użytkowanej na ścinę i operacje towarzyszące oraz wywóz jest praktycznie taki sam w obu badaniach. Drobnik [2007] podaje wartość nakładów energetycznych na transport zrębków na dystansie 100 km na poziomie przeciętnie 40,66 MJ/m<sup>3</sup>, co jest wartością wyższą o około 42% od uzyskanej w niniej-



**Ryc. 3.** Nakłady energetyczne [MJ/m<sup>3</sup>(p)] poszczególnych operacji procesu technologicznego pozyskiwania i transportu zrębków  
Energy consumption [MJ/m<sup>3</sup>(p)] for individual components in chips production and transportation process

szych badaniach. Uzyskana wartość  $52,36 \text{ MJ/m}^3$  obejmuje przejazd pojazdu w obie strony na dystansie 192 km, jednak biorąc pod uwagę jedynie przejazd pojazdu załadowanego na odległość 100 km, uzyskano by wartość  $28,57 \text{ MJ/m}^3$ . Z kolei Różański i Jabłoński [2010] otrzymali wartość nakładu na transport zrębków w wysokości  $69,94 \text{ MJ/m}^3$  dla dystansu 100 km. Tak znaczna różnica wynikać może z analizy różnych środków transportu (różne modele o odmiennych ładownościach) oraz stosowania innych współczynników zamiennych z metrów przestrzennych zrębków na metry sześcienne drewna.

Całość procesu pozyskiwania i transportu surowca w postaci zrębków z przeznaczeniem na cele energetyczne jest uzasadniona pod względem energetycznym. Nakłady energetyczne na obserwowanym poziomie są zdecydowanie niższe niż efekt energetyczny uzyskiwany w kotle elektrociepłowni. Dysproporcja ta mogłaby być dodatkowo zwiększona poprzez pozyskiwanie surowca w nadleśnictwach położonych w bezpośredniej okolicy Białegostoku lub wdrażanie instalacji grzewczych na biomasę leśną w ciepłowniach w Suwałkach albo Augustowie, co wydaje się uzasadnione w porównaniu z transportem węgla z południowo-zachodnich części naszego kraju. Zaznaczyć należy jednak, że w przypadku braku produkcji energii elektrycznej przy okazji wytwarzania ciepła w instalacjach grzewczych sprawność bloków energetycznych sięgałaby powyżej 35%. Mimo to jednak proces pozyskiwania i transportu nadal byłby uzasadniony z punktu widzenia bilansu energetycznego.

Warto wziąć pod uwagę, że uzyskana wartość energii na poziomie ponad  $2200 \text{ MJ/m}^3(\text{p})$  jest wielkością uzyskaną na wyjściu z bloku energetycznego. Celowym wydaje się kontynuacja prac badawczych mających na celu określenie wielkości energii dostarczonej do odbiorcy końcowego, m.in. poprzez uwzględnienie wartości napięć prądu elektrycznego na wyjściu z elektrowni oraz strat powstających w sieci energetycznej podczas przesyłu.

## Literatura

- Athanassiadis D., Lidestav G., Nordfjell T. 2002. Energy use and emissions due to the manufacture of a forwarder. *Resources, Conservation and Recycling* 34: 149-160.
- Climate change 2007: synthesis report. 2007. IPCC, Genewa. 26-36.
- Drobnik P. 2007. Analiza wydatków energetycznych niezbędnych do wytworzenia biopaliw formowanych. Materiały Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych. 97-103.
- Kofman P. D. 2010. Units, conversion factors and formulae for wood for energy. *Harvesting/Transportation* 21.
- Kubiak M. 1998. Transport leśny. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań.
- Różański H., Jabłoński K. 2009. Economic effectiveness of logging residue bundling and chipping. *Acta Scientiarum Polonorum, Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 8 (2): 47-51.
- Różański H., Jabłoński K. 2010. Energy consumption in the production of chips and bundles from logging residues. *Acta Scientiarum Polonorum, Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 9 (2): 25-30.

## SUMMARY

### Energy balance and time-consumption of selected components in technological chain of forest biomass harvesting

Humanity is rapidly searching for new, alternative to fossil fuels, sources of energy that would decrease negative balance of  $\text{CO}_2$  and other greenhouse gases. Chips made of final felling residues are popular form of an energy source used in power plants.

Main objectives of the research was to find out whether energy inputs (in forms of embodied energy and energy covered in fuel) for harvesting and transportation of biomass are smaller

or greater than energy output generated in a power plant. Recognition of energy consumption of particular components of whole biomass delivery chain was also an important task. Working's day activity study was selected as a method of time measurement. In-built energy was estimated basing on another research. Fuel consumption was estimated basing on readings of machinery computers. Field measurements were performed on 18 felling sites during 67 hours of observations.

The most energy-consuming operation was transportation of chips. It represented almost 46% of whole energy input. It has to be mentioned, that transportation distance was relatively large: average 96 km in one direction. Second, essential, factor was chipping, that represented above 38% of energy consumption. In-built energy and energy spent on felling, delimiting and manipulation did not have significant participation in an energy balance. Total quantity of energy, required to harvest, process and transport one cubic meter of loose volume of chips was 114.72 MJ on average. An average energy effect of burning of 1 m<sup>3</sup> lv of chips was 2231.52 MJ (considering 80% of efficiency of the oven).

Research proved that currently used methods of harvesting, processing and transportation of forest biomass in form of chips are highly efficient from point of view of energy balance. However, this efficiency can even be raised by localizing of felling sites closer to the power plant. In such case, energy spent on chipping would probably be the most significant input.