

OPTYMALNE TECHNOLOGIE POZYSKIWANIA DREWNA ENERGETYCZNEGO Z CIĘĆ RĘBNYCH. CZEŚĆ I. ZRĘBKI ENERGETYCZNE

Streszczenie

Pozostałości zrębowe stanowią w obecnych uwarunkowaniach wzrastającego wykorzystania odnawialnych źródeł energii istotną rezerwę surowca możliwą do energetycznego wykorzystania. Stopień wykorzystania tego surowca istotnie zależy od możliwości technologicznych. Maszynowe technologie pozyskiwania drewna i produkcji zrębków z pozostałości zrębowych są opłacalne w zakresie wydajności i energochłonności. Nakłady energetyczne na wytworzenie zrębków energetycznych z pozostałości zrębowych stanowią ok. 5% energii w nich zawartej. W strukturze nakładów energii na pozyskanie tego surowca energetycznego dominuje energia zawarte w paliwie zastosowanym do napędu maszyn.

Słowa kluczowe: drewno; energia odnawialna; zrębki energetyczne; energochłonność; badania

Wprowadzenie

Wzrastające zapotrzebowanie na energię na świecie, konieczność przeciwdziałania zmianom klimatycznym oraz skończone zasoby kopalnych źródeł energii zmuszają do rozwoju technologii wykorzystujących odnawialne źródła energii. Energia odnawialna ma minimalny negatywny wpływ na środowisko naturalne. Szczególnie istotne są zobowiązania wynikające z przynależności do Unii Europejskiej, w myśl których w 2020 r. Polska powinna uzyskać udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto na poziomie 15%. Obecnie wynosi on 6,6% [2].

Biomasa leśna od dawna stanowiła, stanowi i stanowić będzie ważne źródło energii. Pozyskiwanie drewna w cięciach rębnych w drzewostanach sosnowych związane jest z wyróbką sortymentów drewna okrągłego znajdujących zastosowanie w przemyśle tartacznym i celulozowo papierniczym. Pozostałą część pozyskiwanego surowca stanowią tzw. pozostałości zrębowe w postaci gałęzi i wierzchołków drzew, które przed przystąpieniem do prac odnowieniowych muszą być uprzątnięte. Pozostałości te stanowią cenny materiał odżywczy dla nowego pokolenia lasu. Można je wykorzystać także w celach energetycznych, jako odnawialne źródło energii. Racjonalne wykorzystanie odnawialnych źródeł energii jest jednym z istotnych elementów zrównoważonego rozwoju państwa. Stopień wykorzystania odnawialnych źródeł energii zależy od ich zasobów i technologii przetwarzania. Generalnie można powiedzieć, że biomasa leśna realnie oferuje największy potencjał do wykorzystania tej energii w Polsce. W ostatnim okresie roczne pozyskiwanie drewna kształtuje się na poziomie ok. 35 mln m³ [5]. W cięciach rębnych drzewostanów sosnowych pozyskuje się około 40% tej masy, a pozostałości zrębowe mogą stanowić około 3 mln m³. Jak wykazują badania, w przypadku rębnych drzewostanów sosnowych, pozostałości zrębowe stanowią około 16% biomasy nadziemnej drzew, co daje średnio około 45 ton tego typu surowca na 1 ha powierzchni zrębowej [6]. Pozyskiwanie drewna energetycznego jest efektywne pod warunkiem stosowania optymalnych technologii maszynowych w całym procesie technologicznym. W Polsce z roku na rok wzrasta stopień umaszynowienia technologii pozyskiwania sortymentów drzewnych. Częstą postacią drewna energetycznego są zrębki, uzyskiwane w trak-

cie operacji zrębkowania drewna w lesie przy użyciu rębarek. Inną postacią drewna energetycznego, pochodzącego z pozostałości zrębowych, są pakiety (opisane w części drugiej opracowania).

W badaniach zastosowano maszynowy proces technologiczny pozyskiwania drewna wraz z pozyskaniem pozostałości zrębowych do celów energetycznych: technologia z rozdrabnianiem pozostałości zrębowych na powierzchni leśnej wraz z transportem drewna energetycznego w postaci sypkiej do odbiorcy.

Metodyka

- Zastosowana w badaniach technologia pozyskiwania drewna energetycznego w postaci zrębków obejmowała następujące operacje technologiczne:
- ścinka, okrzesywanie i wyrzynka sortymentów drzewnych przy użyciu harwestera Timberjack 1270D,
 - zrywka kłód przy użyciu forwardera Valmet 890.3,
 - zrywka pozostałości zrębowych przy użyciu forwardera Valmet 890.3,
 - zrębkowanie pozostałości zrębowych przy użyciu agregatu zrębkującego Bruks 804CT (rys. 1) wraz z przemieszczeniem wytworzonych zrębków i przesypaniem do kontenera,
 - wywóz zrębków w systemie kontenerowym na odległość 36 km zestawem Volvo FH16 z przyczepą.

Badania przeprowadzono na powierzchniach leśnych porośniętych borami sosnowymi w wieku ok. 100 lat na terenie Nadleśnictwa Dąbrowa. Na powierzchniach tych przeprowadzono pomiary pozyskanego drewna okrągłego (kłody i wyrzynki) oraz ważono pozostałości zrębowe (drobnica gałęziowa i chrust z igliwem) oraz ustalono proporcję masową pozostałości zrębowych do masy nadziemnej drzew.

W trakcie badań określono pracochłonności poszczególnych operacji procesu technologicznego oraz nakłady energetyczne konieczne do pozyskania surowca energetycznego. Wydajność poszczególnych operacji technologicznych określono na podstawie przeprowadzonego chronometrażu i pomiaru biomasy pozyskanego surowca drzewnego. W przypadku operacji ścinki, okrzesywania i wy-

rzynki kłód i wyrzynków wartość wydajności pracy (pracochłonności) dotycząca pozostałości zrębowych ustalono przez pomnożenie wydajności tych operacji przez udział pozostałości zrębowych w całej pozyskanej biomase. Podobnie w przypadku zrywki drewna okrągłego, koniecznej do realizacji zrywki pozostałości zrębowych z powierzchni.



Rys. 1. Agregat zrębkujący Bruks 804CT
Fig. 1. Mobile chipper Brusks 804CT

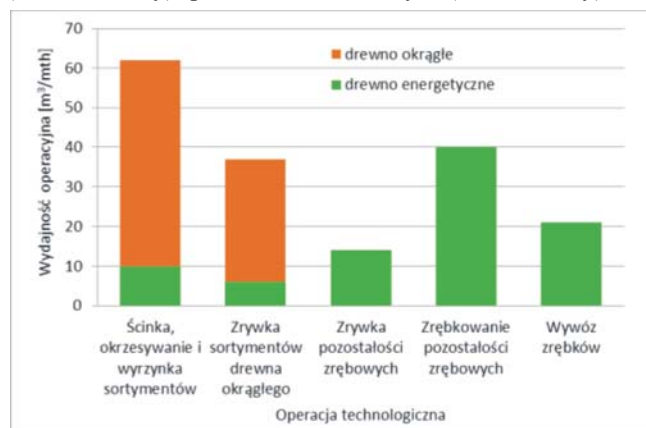
Nakłady energetyczne konieczne do pozyskania surowca energetycznego określano jako sumę energii: zawartej w maszynie, energii zawartej w spalonym oleju napędowym zasila-jącym zastosowane maszyny oraz energii wydatkowanej przez operatorów maszyn. Ilość energii zawartej w maszynie przyjęto w oparciu o pracę Forbriga [3], przyjmując wartość $98 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ masy maszyny zakładając realne wykorzystanie maszyn na poziomie 20 tys. motogodzin. Energię wydatkowaną na pracę maszyny w wyniku spalania oleju napędowego obliczono przez pomnożenie zużycia paliwa ($\text{dm} \cdot \text{mth}^{-1}$) przez zawartość energetyczną oleju przyjętą za Forbrigiem [3] na poziomie $38,2 \text{ MJ} \cdot \text{dm}^{-3}$. Jako wartość energii wydatkowanej przez operatorów maszyn przyjęto jednostkowy wydatek energetyczny - określony przez Grzywińskiego [4] - o wartości $3,1 \text{ kJ} \cdot \text{min}^{-1}$. Wydatek energetyczny wyrażony w $\text{MJ} \cdot \text{mth}^{-1}$ przeliczono na $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ surowca przez podzielenie wartości wyrażonej w $\text{MJ} \cdot \text{mth}^{-1}$ przez wydajność operacyjną. Ilość energii wydatkowaną w operacjach ścinki, okrzesywania i wyrzynki sortymentów oraz podczas zrywki kłód przypisano do pozostałości zrębowych w proporcji, jaką stanowił udział pozostałości zrębowych do całkowitej pozyskanej biomasy (sortymenty drewna okrągłego + pozostałości zrębowe).

Obliczone w ten sposób nakłady energetyczne porównano z ilością energii zawartej w świeżym materiale energetycznym utworzonym z pozostałości zrębowych. Przyjęto, że zawartość energii w świeżych pozostałościach zrębowych wynosi $9,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ [1].

Wyniki badań

Przeprowadzone pomiary biomasy drzew na powierzchniach, na których prowadzono prace pozyskaniowe wykazały, że średni udział pozostałości zrębowych w biomase nadziemnej części drzew wynosił 16%, co w przeliczeniu na masę daje ok. $42 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Całkowita pozyskana masa drewna okrągłego wynosiła 328 m^3 (ok. 262 tony surowca). Uzyskane wydajności pracy poszczególnych maszyn w założonym procesie technologicznym pozyskiwania zrębków energetycznych z pozostałości zrębowych przedstawiono na rys. 2. Rozróżnione na tym rysunku wartości wydajności dla dwóch

pierwszych operacji (harwester oraz forwarder zrywający drewno okrągłe) przedstawiono oddzielnie dla drewna okrągłego (kolor brązowy) i pozostałości zrębowych (kolor zielony).



Rys. 2. Wydajności pracy operacji procesu technologicznego pozyskiwania zrębków energetycznych z pozostałości zrębowych

Fig. 2. Productivities of technological operations in the fuel wood chip harvesting process from logging residues

Najbardziej pracochłonną operacją technologiczną badanego procesu była zrywka pozostałości zrębowych przy użyciu forwardera ($0,07 \text{ mth} \cdot \text{m}^{-3}$). Technologia maszynowa z zastosowaniem harwestera umożliwia, poza operacjami ścinki, okrzesywania i wyrzynki sortymentów, również układanie wymanipulowanych kłód i wyrzynków w pasy. Pozostała biomasa (pozostałości zrębowe) również tworzy uporządkowane, zwarte pasy. Uzyskany w ten sposób pewien ład przestrzenny na powierzchni roboczej wpływa na pracochłonność kolejnych operacji technologicznych - w tym przypadku na zrywkę kłód i wyrzynków oraz na zrywkę samych pozostałości zrębowych. Stosunkowo duża pracochłonność operacji zrywki pozostałości zrębowych wynikała z faktu, że pozostałości zrębowe to surowiec w postaci gałęzi i czubów drzew - dość trudny do załadunku. Całkowita pracochłonność procesu zrębków energetycznych z pozostałości zrębowych wynosiła $0,42 \text{ mth} \cdot \text{m}^{-3}$ (wydajność: $2,38 \text{ m}^3 \cdot \text{mth}^{-1}$).

Nakłady energii poniesione na wykonanie poszczególnych operacji pozyskiwania zrębków energetycznych, z rozbiciem na wartość energii zawartej w maszynie, pochodzącej ze spalonego oleju napędowego, i poniesioną przez operatora przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Nakłady energii poniesione na operacje technologiczne pozyskiwania zrębków energetycznych z pozostałości zrębowych

Table 1. The energy input spent on the production of energy chips from logging residues

| Operacja | Nakład energii [MJ · m ⁻³] | Struktura ponoszonych nakładów energii | | |
|---------------------------------|---|--|--------|----------|
| | | maszyna | paliwo | operator |
| | | | [%] | |
| ścinka, okrzesywanie i wyrzynka | 1,60 | 13,81 | 86,16 | 0,03 |
| zrywka drewna okrągłego | 2,59 | 13,75 | 86,21 | 0,03 |
| zrywka pozostałości zrębowych | 42,75 | 13,75 | 86,21 | 0,03 |
| zrębkowanie | 41,65 | 8,23 | 91,75 | 0,01 |
| wywóz zrębków | 47,84 | 42,92 | 57,06 | 0,02 |
| Razem | 136,43 | - | - | - |

Całkowite nakłady energii poniesione w trakcie realizacji procesu technologicznego pozyskiwania zrębków energetycznych z pozostałości zrębowych wynosiły około $136 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$. Przyjmując, że 1 m^3 pozostałości zrębowych waży ok. 800 kg, nakłady energii na ich pozyskanie stanowią 5,7% energii zawartej w świeżych pozostałościach zrębowych. Nakłady energii poniesione na ścinkę, okrzesywanie i wyrzynkę sortymentów drewna okrągłego oraz na zrywkę kłód i wyrzynków stanowiły jedynie 3% całkowitych nakładów, z uwagi na relatywnie niski udział procentowy pozostałości zrębowych w całkowitej masie pozyskanego i zerwanego surowca. Pozostałe operacje technologiczne związane całkowicie z produkcją zrębków energetycznych charakteryzowały się podobną energochłonnością. Analiza energochłonności poszczególnych operacji w rozbiciu na energię zawartą w maszynie i pochodzącą ze spalonego paliwa wykazała, że operacje oparte o specjalistyczne nośniki (harwester, forwarder, rębarka) o podobnych mocach charakteryzowały się podobnymi udziałami w ogólnej energochłonności. Paliwo jest zdecydowanie najważniejszym czynnikiem kształtującym energochłonność operacji, przy przyjętych wartościach czasu eksploatacji poszczególnych maszyn. Około 90% całkowitej energii wydawkowanej na prowadzenie operacji technologicznej pochodzi z energii zawartej w paliwie. Wydatek energetyczny operatorów praktycznie nie ma wpływu na energochłonność operacji technologicznych. Operatorzy tych maszyn ponoszą znaczny wysiłek umysłowy wynikający z powierzenia im drogiego sprzętu technicznego o skomplikowanych systemach operacyjnych.

Podsumowanie

Wzrastające zapotrzebowanie na energię odnawialną skłania do poszukiwania jej źródeł przede wszystkim w leśnictwie i rolnictwie. Planowa gospodarka leśna w większości krajów europejskich oparta jest na pozyskiwaniu drewna bez trwałego uszczuplenia zasobów, a nawet dąży do ich zwiększenia. Część pozyskiwanego drewna, ze względu na niską jakość, przeznaczana jest do celów energetycznych, zamiast do wykorzystania przemysłowego. Zastosowanie drewna do celów energetycznych ma długą tradycję, jednak w cywi-

lizacjach stojących na niskim poziomie rozwoju spalanie drewna było i jest stosunkowo mało wydajne. W nowoczesnych systemach spalania biomasy uzyskuje się znaczną efektywność. W dążeniu do zapewnienia bezpieczeństwa środowiska, redukcji kosztów i zmniejszenia zatrudnienia w procesach produkcyjnych, powszechne staje się umaszynowanie technologii pozyskiwania drewna, szczególnie w cięciach rębnych. Zastosowany w badaniach proces technologiczny znajduje zastosowanie tam, gdzie podmioty realizujące pozyskanie leśnego surowca energetycznego posiadają tego typu sprzęt, ale w przyszłości podobne technologie muszą dominować. Ze względu na trudności w przemieszczaniu nierozdrobnionych pozostałości zrębowych na większe odległości, powinny one być rozdrabniane na lub w pobliżu powierzchni zrębowej, przy zastosowaniu agregatów zrębkujących z mechanicznym podawaniem surowca do gardzieli. Przeprowadzone badania wykazały, że przy pozyskiwaniu drewna z cięć rębnych, średnio z 1 ha zrębu można zagospodarować w celach energetycznych około 45 ton pozostałości, nakłady energii na ich pozyskanie są stosunkowo niewielkie. Powszechne stosowanie maszynowych technologii pozyskiwania drewna energetycznego w naszym kraju uwarunkowane jest dostępem do odpowiednich maszyn.

Bibliografia

- [1] Energi fran skogen. Red. P.O. Nilsson. SLU Kontakt 9. Uppsala, 1999.
- [2] Energia ze źródeł odnawialnych. GUS, Warszawa, 2011.
- [3] Forbrig A.: Konzeption und Anwendung eines Informationssystems ueber Forstmaschinen auf der Grundlage von Maschinenbuchfuerung, Leistungsnachweisen und Technischen Daten. KWF-Ber., 2000, 29.
- [4] Grzywiński W.: Comparison of work arduousness during motor-manual and mechanized timber harvesting. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, 2005, Zeszyt 91.
- [5] Leśnictwo 2011. GUS, Warszawa, 2012.
- [6] Różański H., Jabłoński K.: Analysis of selected technological processes of fuel wood chip harvesting. Acta Scientiarum Polonorum. Silv. Col. Ratio et Ind. Lign., 2003, nr 2(2).

OPTIMAL TECHNOLOGIES OF ENERGY WOOD HARVESTING FROM FINAL CUTTINGS. PART I. ENERGY WOOD CHIPS

Summary

In today's increasing use of renewable energy sources, logging residues are a vital energy resource. How this resource will be made use of, depends on technological possibilities. Mechanized technologies of wood harvesting and chip production from logging residues are effective in terms of their productivity and energy consumption. The energy input spent on the production of energy chips from logging residues is about 5% of their energy content. In the energy input structure, the energy in the fuels to drive the machines plays the dominant role.

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



A DICTIONARY OF AGRICULTURAL ENGINEERING IN SIX LANGUAGES

Jest pierwszym tego typu słownikiem wydanym w Polsce.

Zawiera on ponad 13.350 wiodących angielskich terminów podanych w układzie alfabetycznym z odpowiednikami w języku polskim, niemieckim, francuskim, włoskim i rosyjskim.

Wydawca: PIMR Poznań.