

Struktura czasu pracy i wydajność maszyn podczas rozdrabniania karp

Time usage and efficiency of machinery during stump crushing

Tomasz Gałęzia

Nadleśnictwo Głęboki Bród, Głęboki Bród 4, 16-506 Giby

Tel. +48 87 5165203, fax: +48 87 5165231, e-mail: tomasz.galezia@bialystok.lasy.gov.pl

Abstract. This study was carried out at a roadside landing of the Augustów Forest District in order to determine the structure of a typical working day for machines involved in stump crushing as well as the overall efficiency of the process and the machinery's fuel consumption. The machines involved in the entire process were a front-loader, a shredder, a screen and a truck-tractor unit.

Machinery activity was recorded using a sampling method with a three-minute interval. During 16 hours of observation, 533 stumps were crushed to produce 362 m³ lv of timber particles in total and the average operational productivity reached 28 m³ lv h⁻¹. Based on the amount of consumed fuel and its energy content, the energy input of the process was calculated to be 103.33 MJ m⁻³ lv which is 3640.53 MJ m⁻³ lv less than the output of energy gained at the power plant. Total CO₂ emissions of the processing machinery and transport off the forest site were estimated using previously published data and amounted to 7.58 kg m⁻³ lv.

Keywords: stump, crushing, time, energy, efficiency

1. Wprowadzenie

Globalne ocieplenie wywiera istotny wpływ na zmianę klimatu Ziemi. Dalsze spalanie paliw kopalnych, w przypadku najbardziej negatywnego scenariusza (RCP 8.5), może doprowadzić do wzrostu temperatury powierzchni kuli ziemskiej w Europie o więcej niż 6°C w 2100 roku (IPCC 2014). W znaczący sposób wpłynie to na wszystkie ekosystemy oraz obszary działalności gospodarczej człowieka. Nawiązując do Porozumienia Paryskiego (COP 21) jest niezmiernie istotnym, aby nie tylko powstrzymać wzrost średniej temperatury Ziemi poniżej 2°C w stosunku do okresu preindustrialnego, ale wręcz ograniczyć ocieplenie do 1,5°C powyżej średniej temperatury sprzed okresu rewolucji przemysłowej.

Zastosowanie biomasy leśnej jako źródła energii jest jedną z alternatyw dla spalania tylko i wyłącznie paliw kopalnych, co może przyczynić się do redukcji emisji gazów cieplarnianych.

Poza drewnem opałowym i pozostałościami poeksploatacyjnymi gospodarki leśnej, karpiny drzew mogą stanowić wydajne źródło biomasy. W ostatnich latach ilość energii wytworzonej z karpiny rośnie, w szczególności w krajach skandynawskich – w 2012 roku w Finlandii około 1,1 mln m³ rozdrobnionej

karpiny zostało zużytych w kotłowniach i elektrowniach (Ylitalo 2013).

Dotychczasowe badania dotyczące pozyskiwania karpiny na cele energetyczne prowadzono głównie w Europie Północnej (Laitila et al. 2008; Lazdins et al. 2009), chociaż jedne z pierwszych doświadczeń w zakresie technologii karczowania plantacji w celu uzyskania źródła energii przeprowadzono we Włoszech (Spinelli et al. 2005). Również w Stanach Zjednoczonych przeprowadzono doświadczenia w zakresie wydobywania karp z gleby, m. in. z zastosowaniem koparek z chwytakiem do wyburzania elementów konstrukcyjnych (Mitchell 2009) oraz wykorzystaniem mobilnych rozdrabniaczy do przetwarzania pozostałości zrębowych oraz całych drzew na zrębki energetyczne (Anderson et al. 2012). Wiele analiz dotyczy strony ekonomicznej pozyskiwania karp (Eriksson, Eliasson 2015; Eriksson et al. 2014; Laitila et al. 2015), ale badaniom poddawane były także zagadnienia natury ekologicznej i kwestie wpływu na środowisko (Moffat et al. 2011; Berg et al. 2015). Celem niniejszej pracy było określenie struktury dnia roboczego maszyn uczestniczących w procesie kruszenia karp, całkowitej wydajności tego procesu oraz zużycia paliwa (z uwzględnieniem transportu do elektrociepłowni) oraz bilans nakładów procesu pozyskiwania i efektów ze spalania tej biomasy w formie energii.

2. Materiał i metody

Badania przeprowadzono na tymczasowej składnicy leśnej w Leśnictwie Żyliny (Nadleśnictwo Augustów). Karpy pochodziły z terenu przeznaczanego na poletka łowieckie, co spowodowało konieczność jego wykarczowania, po uprzednim usunięciu drzewostanu. Proces wydobywania karp z gleby przeprowadzony został przy pomocy koparki, a do ich przetransportowania z terenu poletka na składnicę wykorzystano ciągnik nasiębierny, lecz ten etap nie był analizowany w ramach niniejszych badań. Karpy ułożone były na przyzmach o wysokości do dwóch metrów lub obok siebie, a okres przelegiwania wynosił 10 miesięcy.

Opis taksacyjny drzewostanu przed adaptacją wydzielenia na poletka łowieckie przedstawiono w tabeli 1.

Na powierzchni dokonano pomiaru średnic karp (w miejscu rzazu ścinającego) na próbie 100 sztuk (ryc. 1), zdejmowanych kolejno przez chwytak ciągnika siodłowego z różnych miejsc stosu.

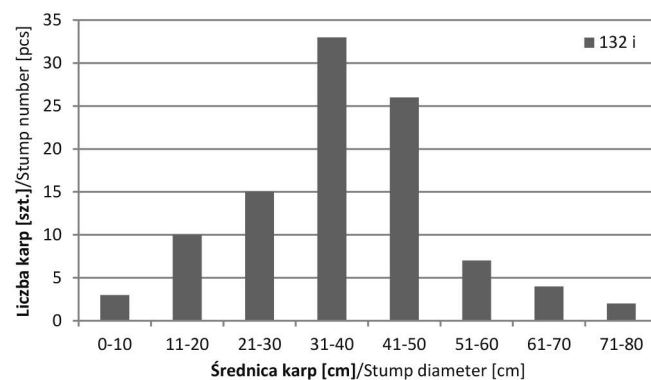
W proces rozdrabniania karp zaangażowane były cztery maszyny: ładowarka czołowa Doosan DL 250, jednowalowy rozdrabniacz wolnoobrotowy Doppstadt DW 3060, przesiewacz bębnowy Doppstadt SM 518 oraz ciągnik siodłowy MAN 27.463 wyposażony w manipulator hydrauliczny z chwytakiem.

Wszystkie maszyny pracowały jednocześnie, tworząc linię produkcyjną. Ładowarka czołowa wykonywała kilka zadań: przemieszczała karpy ze stosu w bezpośrednie pobliże ciągnika siodłowego, przemieszczała, a następnie ładowała rozdrobnione i przesiane zrębki na środki transportu, usuwała spod przesiewacza odseparowane zanieczyszczenia (głównie piasek) i plantowała ten materiał na terenie składnicy oraz zmieniała lokalizację rozdrabniacza i przesiewacza w obrębie składnicy. Zadaniem ciągnika siodłowego było ładowanie karp do rozdrabniacza oraz przemieszczanie rozdrabniacza i przesiewacza na większe odległości. Ponieważ rozdrabniacz i przesiewacz pracowały niemal przez cały czas w sposób zautomatyzowany, do obsługi procesu wystarczyły

dwie osoby – operator ładowarki i kierowca ciągnika siodłowego. W przypadku wszystkich maszyn pojawiła się kategoria czasu pod nazwą „przejazdy długodystansowe”. Jest to czas poświęcony na przemieszczanie maszyn ze składnicy do miejsca garażowania oraz pomiędzy różnymi składnicami w obrębie leśnictwa. Konieczność zaewidencjonowania tego czasu wynikała z chęci ukazania nakładów energii oraz czasu pracy generowanych przez sytuację, w której nie można pozostawić maszyn w terenie leśnym na noc z obawy przed kradzieżą paliwa i części, co także dodatkowo wpływało na wydłużenie czasu poświęconego na działania przygotowawczo-zakończeniowe oraz transport (holowanie) rozdrabniacza i sita przez ciągnik siodłowy.

Transport biomasy z lasu na składnicę przy elektrociepłowni w Białymstoku realizowany był na trasie o długości 172 km (w obie strony) pojazdami wywozowymi Scania R580 w dwóch kontenerach skrzyniowych o pojemności przeciętnie 36 m³(p) każdy.

Do określenia udziału poszczególnych czynności wykonywanych przez maszyny wykorzystano obserwacje migawkowe. Obserwacje prowadzono co 3 minuty przez pełne dwa



Rycina. 1. Liczba karp w przedziałach średnic na podstawie prób w miejscu rozdrabniania

Figure. 1. Number of stumps in diameter ranges based on a sample from the shredding site

Tabela. 1. Opis taksacyjny wydzielenia, z którego pochodziły rozdrabniane karpy

Table. 1. Stand characteristics of the source of stumps, before clear cutting

Lokalizacja Location	TSL Forest site type	Warstwa Layer	Udział, gatunek Share, species	Wiek Age	Zadrzewienie Stocking	Zwarcie Canopy density	Pierśnica DBH	Wysokość Height	Bonitacja Site Index	Jakość Quality	Grubizna na 1 ha Stand volume per 1 ha
Żyliny, 132i	BMw	drzew. main stand	4 Brz	89	0,8	przerywane / broken	28	27	I	2	129
			2 So	89			35	24	I.5	2	71
			2 Św	89			34	24	II.5	2	48
			2 Św	63			21	19	II	3	71
		podrost undergrowth	Św	23	0,1		6		22		
			1 Św	64			21	17	II.5	4	20

Explanation: BMw – moist mixed coniferous forest, Brz – silver birch, So – Scots pine, Św – Norway spruce

dni robocze. Zastosowanie powyższego interwału czasowego pozwalało na precyzyjne określenie czynności wykonywanych kolejno przez wszystkie maszyny i dawało czas na dokonanie wpisu do raptularza terenowego przy zachowaniu dużej powtarzalności pomiarów (20 obserwacji w ciągu godziny). Zużycie paliwa określone zostało na podstawie odczytów z komputerów pokładowych maszyn, a emisję CO₂ obliczono na podstawie wartości zawartych w opracowaniu Ministerstwa Środowiska (Wartości opałowe..., 2015). Do określenia nakładu energetycznego zastosowano wydajność operacyjną ze względu na ograniczenie operacyjnego czasu pracy do czynności głównych oraz zmiany stanowiska pracy, czyli do tych elementów procesu, przy których występuje praca silników maszyn. Także obciążenie środowiskowe obliczono względem paliwa zużytego w czasie realizacji operacji głównych oraz zmiany położenia maszyny na terenie składnicy.

Aby uzyskać obraz rzeczywistej efektywności użytkowanych maszyn leśnych określono bilans czasu ich pracy w oparciu o terminologię Krajowego Systemu Maszyn Leśnych (Botwin 1993). Współczynnik wykorzystania ogólnego czasu zmiany stanowił stosunek czasów głównych (np. rozdrabniania, przesiewania czy załadunku karp) do czasu całkowitego. Współczynnik wykorzystania czasu roboczego określał z kolei stosunek czasów głównych do sumy czasów głównych, czasu zmiany miejsca pracy w obrębie danej składnicy, czasu przygotowawczo-zakończeniowego (rozłożenie elementów maszyny, konfiguracja do rozpoczęcia pracy) oraz czasu poświęconego na naprawy sprzętu. Natomiast współczynnik wykorzystania czasu operacyjnego określony został jako stosunek czasów głównych do sumy czasów głównych i czasu zmiany miejsca pracy. Współczynnik pewności techniczno-technologicznej był ściśle związany z czasem strat z tytułu napraw (stosunek czasów głównych do sumy czasów głównych i czasu napraw), a współczynnik pewności obsługi technicznej – odpowiednio – z czasem przygotowawczo-zakończeniowym oraz czasem obsługi technicznej (regulacje maszyn, konfiguracje w trakcie pracy, tankowanie).

W celu obliczenia sumarycznego nakładu energetycznego oraz całkowitej emisji CO₂ procesu zostały uwzględnione nakłady i emisje generowane przez środki transportu, w oparciu o wcześniejsze badania prowadzone w Puszczy Augustowskiej (Gałęzia 2013a).

Zebrane wielkości nakładów energetycznych odniesiono do wartości energetycznej czterech reprezentatywnych próbek surowca pobieranych sukcesywnie (co 4 godziny) ze stosu zrębków za przesiewaczem. Próbkę poddano analizie pod kątem wartości opałowej, wilgotności całkowitej, zawartości popiołu oraz zawartości siarki.

3. Wyniki

W czasie prowadzonych pomiarów terenowych zaewidencjonowano ogółem 16 godz. i 6 min pracy kompletu maszyn. W tym czasie rozdrobniono 533 karpę uzyskując 362 m³(p) zrębków. Współczynnik zamienny liczby (sztuk) karp na

m³(p) wahał się od 0,54 do 0,77. Wydajność operacyjna całego procesu rozdrabniania karp wynosiła pomiędzy 33,95 szt. h⁻¹ a 37,62 szt. h⁻¹.

Ponad połowę czasu pracy ładowarki czołowej stanowiło przemieszczanie karp w pobliże rozdrabniacza (ryc. 2), poprzez przenoszenie ich w łyżce lub (rzadziej) spychanie. Pozostałe zadania kwalifikowane do czasów głównych stanowiły: przemieszczanie i plantowanie ziemi odseparowanej w trakcie przesiewania zrębków, przemieszczanie oczyszczonych zrębków na oddzielny stos oraz załadunek zrębków na pojazdy wywozowe. Sumaryczny udział czasów głównych wyniósł 84%. Czteroprocentowy udział czasu przejazdów poza składnicę, na której odbywało się rozdrabnianie spowodowany był koniecznością prowadzenia załadunku zrębków przygotowanych wcześniej na innej składnicy, odległej o ponad kilometr.

Rozdrabniacz wolnoobrotowy prowadził tylko jedną operację główną – rozdrabnianie karp, która zajmowała 80% czasu jego pracy, podobnie jak w przypadku przesiewacza bębnowego, gdzie odseparowywanie zanieczyszczeń od zrębków zajmowało 81% czasu pracy. Obie maszyny pracowały w trybie automatycznym, w sposób ściśle ze sobą powiązany, stąd struktura czasu ich pracy jest niemalże bliźniacza.

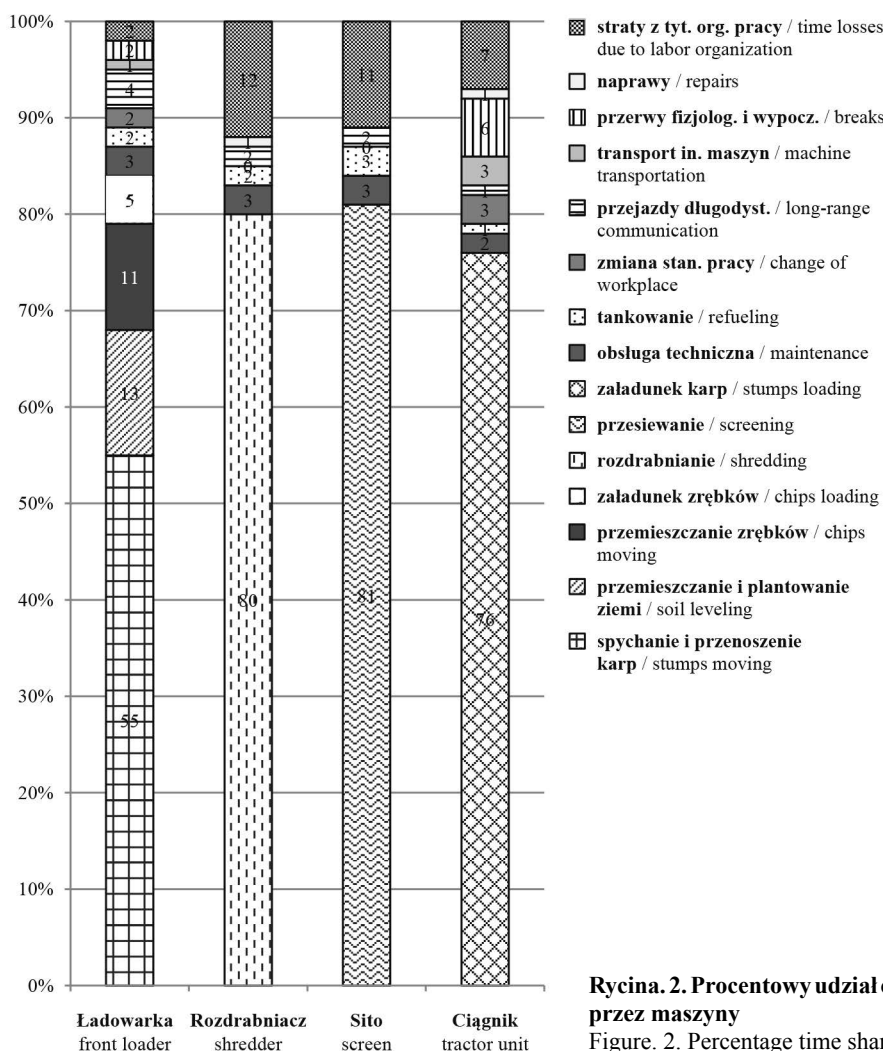
W strukturze czasu pracy ciągnika siodłowego wyposażonego w chwytak dominujący (76%) był udział operacji głównej (podawania karp do rozdrabniacza). Z powodu wykorzystania tego pojazdu do przemieszczania rozdrabniacza i przesiewacza między składnicami, 3% czasu zużyto na tę czynność.

W oparciu o dane uzyskane w trakcie pomiarów terenowych określono wybrane współczynniki wykorzystania czasu pracy oraz obliczono wydajność pracy bazując na metodyce podawanej przez Botwina (1993). Współczynnik wykorzystania czasu roboczego był nieznacznie niższy od współczynnika wykorzystania czasu operacyjnego ze względu na ujęcie w nim – oprócz czasu zmiany stanowiska pracy – także czasu napraw i czasu przygotowawczo-zakończeniowego.

Obliczono także nakłady energetyczne oraz emisje dwutlenku węgla generowane przez poszczególne maszyny (tab. 2).

Celem obliczenia sumarycznego nakładu energetycznego oraz całkowitej emisji CO₂ procesu uwzględniono nakłady i emisje generowane przez środki transportu. Nakład energetyczny maszyn pracujących na składnicy tj. 63,05 MJ m⁻³(p) został powiększony o wartość 40,28 MJ m⁻³(p), co w efekcie dało wynik 103,33 MJ m⁻³(p). Podobnie, w przypadku emisji CO₂, określone emisje czterech maszyn 4,63 kg m⁻³(p) zwiększono o emisje powstające podczas transportu zrębków wynoszące 2,95 kg m⁻³(p) uzyskując w sumie 7,58 kg m⁻³(p).

Pobrane do analizy próbki pozwoliły na ocenę niektórych parametrów biomasy. Uśrednione wyniki czterech próbek rozdrobnionego surowca znajdującego się w stanie roboczym przedstawiały się następująco: wartość opałowa 15545,00 MJ t⁻¹, wilgoć całkowita 13,30%, zawartość popiołu 9,79%, zawartość siarki 11,40%. Gęstość biomasy wynosiła przeciętnie 301,05 kg m⁻³(p), co przy uwzględnieniu sprawności bloku energetycznego wynoszącej 80% (Gałęzia 2013a) pozwoliło na uzyskanie efektu energetycznego równego 3743,86 MJ m⁻³(p).



Rycina. 2. Procentowy udział czasów poszczególnych operacji wykonywanych przez maszyny

Figure. 2. Percentage time share of operations performed by machinery

4. Dyskusja

Pozyskiwanie biomasy energetycznej z karp wymaga zastosowania innych maszyn niż popularne już w Polsce systemy balotowania czy zrębkowania pozostałości zrębkowych. O ile w skład zestawu zawsze wchodzić musi urządzenie do rozdrabniania karp, o tyle różne technologie prac pozwalają na zintegrowanie go z przesiewaczem (Laitila, Nuutinen 2013) albo zrezygnowanie z użycia separatora (Lazdins et al. 2009). Możliwe jest również agregatowanie w jedną maszynę rozdrabniacza i przesiewacza oraz zabudowanie ich na podwoziu ciągnika siodłowego wyposażonego w chwytak (Nuutinen et al. 2014), co przy właściwym przygotowaniu stosów karp pozwala na ograniczenie liczby operatorów do jednego.

Użycie nowoczesnego sprzętu, w formie częściowo zautomatyzowanej linii produkcyjnej, pozwoliło na uzyskanie bardzo wysokich wskaźników efektywności pracy. Współczynnik wykorzystania czasu operacyjnego wynosił dla poszczególnych maszyn od 0,96 do 1,00 co jest wynikiem zdecydowanie lepszym niż w przypadku systemu pozyskiwania balotów, gdzie współczynnik ten wahał się od 0,79 do 0,92 (Gałęzia 2013b). Także współczynnik pewności techniczno-technolo-

gicznej, pomimo zaistnienia konieczności przeprowadzania drobnych napraw (6 minut naprawy ciągnia podajnika w rozdrabniaczu i 12 minut na wymianę uszkodzonego przewodu hydraulicznego ciągnika siodłowego) świadczy o wysokiej jakości sprzętu i utrzymywaniu go przez operatorów we właściwej kondycji, co z kolei minimalizuje koszty napraw (wahające się średnio od 11,2 €/rg w przypadku forwarderów do 20,2 €/rg w przypadku harwesterów); trudno jednak odnaleźć korelację pomiędzy kosztami napraw a średnim rocznym czasem pracy takich maszyn (Holzleitner et al. 2011).

Uzyskana w niniejszych badaniach wydajność operacyjna poszczególnych maszyn jest zbliżona, a współczynnik pewności techniczno-technologicznej bliski 1,00, co pozwala określić wydajność całego systemu na 28 m³(p) h⁻¹. Jest to wydajność czterokrotnie mniejsza niż w przypadku maszyny w pełni zintegrowanej Crambo 6000 (Laitila, Nuutinen 2013) i dwukrotnie mniejsza niż w przypadku rozdrabniacza szybkoobrotowego CBI 5800 (Nuutinen et al. 2014). W przypadku procesu rozdrabniania karp kruszarkami stacjonarnymi na terminalu wydajność jest o około 15% większa (10 t s.m. h⁻¹) (Lazdins et al. 2009). Przyczyny niskiej wydajności można upatrywać w relatywnie dużym udziale

Tabela. 2. Współczynniki wykorzystania czasu pracy, wydajność pracy, nakład energetyczny i emisja CO₂ w procesie rozdrabniania karp

Table. 2. Coefficients of time use, labor efficiency, energy input and carbon dioxide emissions during stump crushing

Charakterystyka efektywności Characteristics of efficiency	Ładowarka czołowa Front loader	Rozdrabniacz Shredder	Przesiewacz Screen	Ciągnik siodłowy Tractor unit
Współczynnik wykorzystania ogólnego czasu zmiany General work shift time use coefficient	0,85	0,80	0,81	0,76
Współczynnik wykorzystania czasu roboczego Working time use coefficient	0,95	0,96	0,96	0,93
Współczynnik wykorzystania czasu operacyjnego Operational time use coefficient	0,98	1,00	1,00	0,96
Współczynnik pewności techniczno-technologicznej Technical-technological robustness coefficient	1,00	0,99	1,00	0,98
Współczynnik pewności obsługi technicznej Technical maintenance robustness coefficient	0,95	0,94	0,93	0,96
Wydajność operacyjna [m³(p) h⁻¹] Operational productivity [m ³ lv h ⁻¹]	27,42	28,50	28,28	28,50
Wydajność robocza [m³(p) h⁻¹] Working productivity [m ³ lv h ⁻¹]	26,81	27,53	27,32	27,63
Wydajność eksploatacyjna [m³(p) h⁻¹] Exploitation productivity [m ³ lv h ⁻¹]	23,13	22,98	23,06	22,41
Nakład energetyczny [MJ m⁻³(p)] Energy input [MJ m ⁻³ (p)]	13,24	31,74	6,35	11,72
Emisja CO₂ [kg m⁻³(p)] CO ₂ emission [kg m ⁻³ (p)]	0,97	2,33	0,47	0,86

strat czasu spowodowanych organizacją pracy, co wynikało z wielofunkcyjności ładowarki czołowej. Konieczność załadunku pojazdów wywozowych (również na składnicy innej niż ta, na której odbywało się rozdrabnianie) miało wpływ na udział przejazdów długodystansowych w rozmiarze większym niż dla innych maszyn. Powodowało to przestoje całej linii produkcyjnej i miało zauważalny wpływ na wydajność procesu.

Pomimo, że obserwacje wykazały wydajność przesiewacza na nieco niższym poziomie (o 0,22 m³(p) h⁻¹) niż rozdrabniacza wolnoobrotowego, nie zanotowano sytuacji, w której przesiewacz przyczyniał się do strat czasu pracy. Jego zastosowanie powodowało wprawdzie wzrost nakładów energetycznych o ok. 6%, jednak wpływało również na poprawę jakości wytwarzanego produktu. Przesiewanie na składnicy ma też korzystny wpływ na efektywność transportu zrębków, redukując ich masę o udział odseparowanych zanieczyszczeń (Eriksson, Eliasson 2015).

Uzyskane wyniki pomiaru parametrów biomasy różnią się od pomiarów publikowanych przez innych badaczy. Laurila i Lauhanen (2010) uzyskali zawartość popiołu na poziomie 1,7% dla karp przelegujących 36 miesięcy, a Laitila i Nuutinen (2015) – pomiędzy 1 a 1,5% dla karp przelegujących od

10 do 20 miesięcy; są to wyniki znacznie niższe niż uzyskane w Puszczy Augustowskiej (9,79%). Wynika to jednak z tego, że w przypadkach tych badań analizowano czyste drewno z pni, podczas gdy w zrębkach z karpiny uzyskano już zdecydowanie wyższą zawartość popiołu – 12,9% (Nuutinen et al. 2014), a nawet 14% (Alakangas 2000). Wartość opałowa drewna ze świerkowych karp pozyskanych w zachodniej Finlandii po okresie trzyletniego składowania wynosiła 5680 MJ m⁻³(p) (Laurila, Lauhanen 2010), czyli o 1000 MJ m⁻³(p) więcej niż w przypadku Nadleśnictwa Augustów, jednak zrębki z karp świerkowych (Nuutinen et al. 2014) miały wartość opałową bliską tej uzyskanej w Polsce (16,4 MJ kg⁻¹ względem 15,5 MJ kg⁻¹). Wyższy wynik uzyskali Bergström i Matisons dla karp z gleb mineralnych (od 17,1 do 17,9 MJ kg⁻¹), jednak znacznie niższą wartością opałową, tj. 14,3 MJ kg⁻¹, charakteryzowały się karpy pozyskiwane na gruntach podmokłych (Forest refine... 2014).

Różnice w zawartości popiołu i wartości opałowej mogą być generowane nie tylko przez odmienny skład gatunkowy karp, ale również przez okres ich ekspozycji na czynniki atmosferyczne, w szczególności na opady deszczu, które wspomagają opłukiwanie karp z zanieczyszczeń mineralnych, a przez to mogą zmniejszyć ryzyko uszkodzenia roz-

drabniaczy i spadku wydajności kotłów (Oteпка 2013). Na biomase ma również wpływ wilgotność względna powietrza, szczególnie w klimacie Północnej Europy, gdzie obserwuje się znaczną korelację zmian wilgotności drewna wraz ze zmianami pór roku (Laurila, Lauhanen 2010).

5. Wnioski

Badania wykazały, że karpy mogą być efektywnym źródłem biomasy energetycznej. Pomimo zaangażowania w proces produkcyjny szeregu maszyn, działalność ta jest uzasadniona pod względem bilansu energetycznego. Rozdrabniacz wolnobrotowy oraz przesiewacz charakteryzują się dużą niezawodnością, a wytworzony surowiec – wartością energetyczną zbliżoną do drewna opałowego.

Konflikt interesów

Autor deklaruje brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródła finansowania

Badania sfinansowano ze środków własnych. Dziękuję Nadleśnictwu Augustów za zgodę na przeprowadzenie badań i wykorzystanie danych źródłowych.

Literatura

- Alakangas E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia [Właściwości paliw używanych w Finlandii]. Technical Research Centre of Finland, VTT Research Notes 2045: 1–189.
- Anderson N., Chung W., Loeffler D., Jones J.G. 2012. Productivity and cost comparison of two systems for producing biomass fuel from roadside forest treatment residues. *Forest Products Journal* 62(3): 222–233. DOI 10.13073/0015-7473-62.3.222.
- Berg S., Bergström D., Nordfjell T. 2015 Effect of stump size and timing of stump harvesting on ground disturbance and root breakage diameter. *Silva Fennica* 49(5): 1–17. DOI 10.14214/sf.1312.
- Bergström D., Matisons M. (ed.) 2014. Forest Refine, 2012–2014 : efficient forest biomass supply chain management for biorefineries: synthesis report. Umeå, SLU, Uppsala, 1–113.
- Botwin M. 1993. Podstawy użytkowania maszyn leśnych, Warszawa, Wydawnictwo SGGW, 120 s. ISBN 83-00-02777-7.
- Eriksson A., Eliasson L. 2015. Analyzing machine concepts and delivery strategies to cut delivery costs for forest fuels using a discrete-event simulation model. Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference, 3194–3195. ISSN 1558-4305.
- Eriksson A., Eliasson L., Hansson P.-A., Jirjis R. 2014. Effects of supply chain strategy on stump fuel cost: a simulation approach. *International Journal of Forestry Research* 2014, article ID 984395: 1–11. DOI 10.1155/2014/984395.
- Gałęzia T. 2013a. Bilans energetyczny oraz czasochłonność wybranych elementów w łańcuchu technologicznym pozyskiwania biomasy leśnej. *Sylwan* 157(6): 419–424.
- Gałęzia T. 2013b: Analiza efektywności wybranych metod pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne na przykładzie Puszczy Augustowskiej, w: Biomasa leśna na cele energetyczne. Instytut Badawczy Leśnictwa. Sękocin Stary, 127–137. ISBN 978-83-62830-18-3.
- Holzleitner F., Stampfer K., Visser R. 2011. Utilization rates and cost factors in timber harvesting based on long-term machine data. *Croatian Journal of Forest Engineering* 32(2): 501–508.
- IPCC. 2014. Summary for Policymakers, in: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: 1–32. ISBN 978-92-9169-143-2.
- Laitila J., Nuutinen Y. 2013. Efficiency of integrated grinding and screening of stump wood for fuel at roadside landing with a Crambo 6000 grinder equipped with a star screen. Demo Report 4: Innovative and effective technology and logistics for forest residual biomass supply in the EU: 1–11.
- Laitila J., Nuutinen Y. 2015. Efficiency of integrated grinding and screening of stump wood for fuel at roadside landing with a low-speed double-shaft Grinder and a star screen. *Croatian Journal of Forest Engineering* 36(1): 19–32.
- Laitila J., Ranta T., Asikainen A. 2008. Productivity of stump harvesting for fuel. *International Journal of Forest Engineering* 19(2): 37–47.
- Laitila J., Ranta T., Asikainen A., Jäppinen E., Korpinen O.-J. 2015. The cost competitiveness of conifer stumps in the procurement of forest chips for fuel in Southern and Northern Finland. *Silva Fennica* 49(2): 1–23. DOI 10.14214/sf.1280.
- Laurila J., Lauhanen R. 2010. Moisture content of Norway spruce stump wood at clear cutting areas and roadside storage sites. *Silva Fennica* 44(3): 427–434. DOI 10.14214/sf.140.
- Lazdinš A., Von Hofsten H., Lazdina D., Lazdans L. 2009. Productivity and costs of stump harvesting for bioenergy production in Latvian conditions. Proceedings of 8th International Scientific Conference “Engineering for rural development”, Jelgava, 28-29.05.2009: 194–201. ISSN 1691-5976.
- Mitchell D. 2009. Stump harvesting. Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: “Environmentally Sound Forest Operations”. Lake Tahoe, June 15-18, 2009: 1–6.
- Moffat A., Nisbet T., Nicoll B. 2011. Environmental effects of stump and root harvesting. Forestry Commission Research Note (FCRN009). Forestry Commission, Edinburgh. ISBN 978-0-85538-847-8.
- Nuutinen Y., Laitila J., Rytönen E. 2014. Grinding of stumps, logging residues and small diameter wood using a CBI 5800 grinder with a truck as a base machine (brief report). *Baltic Forestry* 20(1): 176–188.
- Oteпка P. (ed.) 2013. Guidebook on local bioenergy supply based on woody biomass. Scientific & Academic Publishing, Rosemead, 1–145. ISBN 978-1-938681-99-8.
- Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. 2005. Harvesting and transport of root biomass from fast-growing poplar plantations. *Silva Fennica* 39(4): 539–548. DOI 10.14214/sf.365.
- Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2013 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2016, 2015: Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa.
- Ylitalo E. 2013. Puun energiäkäyttö 2012 [Konsumpcja drewna w produkcji energii w roku 2012]. *Metsätalustietodote* 15: 1–7.