

## Analiza czasochłonności podstawowych operacji pozyskaniowych wykonywanych pilarką

Analysis of the duration of basic logging operations performed using a chainsaw

Tomasz Gałęzia

Nadleśnictwo Pomorze, Pomorze 8, 16-506 Giby

Tel. +48 87 516 57 86, fax: +48 87 516 50 52, e-mail: tomasz.galezia@bialystok.lasy.gov.pl

**Abstract.** Motor-manual machinery, i.e. chainsaws, is still commonly used for timber harvesting in Poland, especially in northern-east part of the country. The main goal of this research was to analyze the duration of operations such as felling, delimiting and bucking of the main tree species in Augustów Primeval Forest. Our aim was also to estimate the quantity of fuel necessary to perform these operations as well as the CO<sub>2</sub> emission.

Working's day activity study was selected as a method of time measurement. Data was collected from 8 clear-cuts during the logging of 327 m<sup>3</sup> of timber.

On average, the most time-consuming operation was delimiting (26% of total time). Felling took 15% and bucking 18% of total time. Breaks took up a significant proportion of time (10% of total time), as well as technical maintenance, change of workplace and preparation of work-place that each took up 9%. The average exploitation productivity of lumberjacks reached 7.5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> and fuel consumption was 0.14 l m<sup>-3</sup>.

Results on the duration of operational times confirm earlier research, however due to final felling conditions and large dimensions of trees fuel consumption and emissions of CO<sub>2</sub> were smaller than those given in the existing literature. The most time-consuming operation for coniferous was delimiting (Scots pine 29%, Norway spruce 36% of working time) and for the broadleaves it was bucking (silver birch 27%, black alder 28% of working time). Workers' operational productivity depended on tree species and was the greatest in the case of Scots pine (15.2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>) and the smallest in the case of Norway spruce (6.2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>). Operational productivity was strongly correlated with the volume and the trunk diameter.

**Key words:** time-consumption, felling, chainsaw, efficiency, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)

### 1. Wprowadzenie

Pozyskiwanie drewna na poziomie ręczno-maszynowym, pomimo stale rosnącej ilości surowca pozyskiwanego maszynowo, jest nadal podstawową technologią prowadzenia prac zrębowych. W skali kraju około 90% drewna pozyskuje się z wykorzystaniem pilarek spalinowych (Kusiak et al. 2012), choć w warunkach zrębowych udział ten jest nieco mniejszy. W roku 2010, w ramach cięć zupełnych prowadzonych w Lasach Państwowych, pozyskano około 6,1 mln m<sup>3</sup> (DGLP 2011).

Dotychczasowe badania dotyczące wydajności i konsumpcji paliwa podczas prac pozyskaniowych prowadzonych pilarką spalinową dotyczyły w dużej mierze zachodnich lub centralnych części naszego kraju (Działuk 1988; Więsik 1988; Kusiak et al. 2012), trudno jednak znaleźć analizy czasochłonności prac w warunkach przyrodniczych Puszczy Augustowskiej. Dominującymi gatunkami drzew na terenie polskiego fragmentu tej puszczy są: sosna zwyczajna (76,20%), świerk pospolity (7,35%), olsza czarna (8,80%), brzoza brodawkowata (5,87%). Znaczna przewaga gatunków iglastych wynika z układu siedlisk – bór świeży stanowi 30,62%,

a bór mieszany świeży aż 38,09% powierzchni (Sokołowski 2010). Rzuca to na sposób gospodarowania w drzewostanach, efektem czego jest powszechne stosowanie rębni zupełnej pasowej (IB), a relatywnie duże wymiary drzew i ich silne ugałęzienie mogą znacznie utrudniać stosowanie harwesterów.

## 2. Cel badań

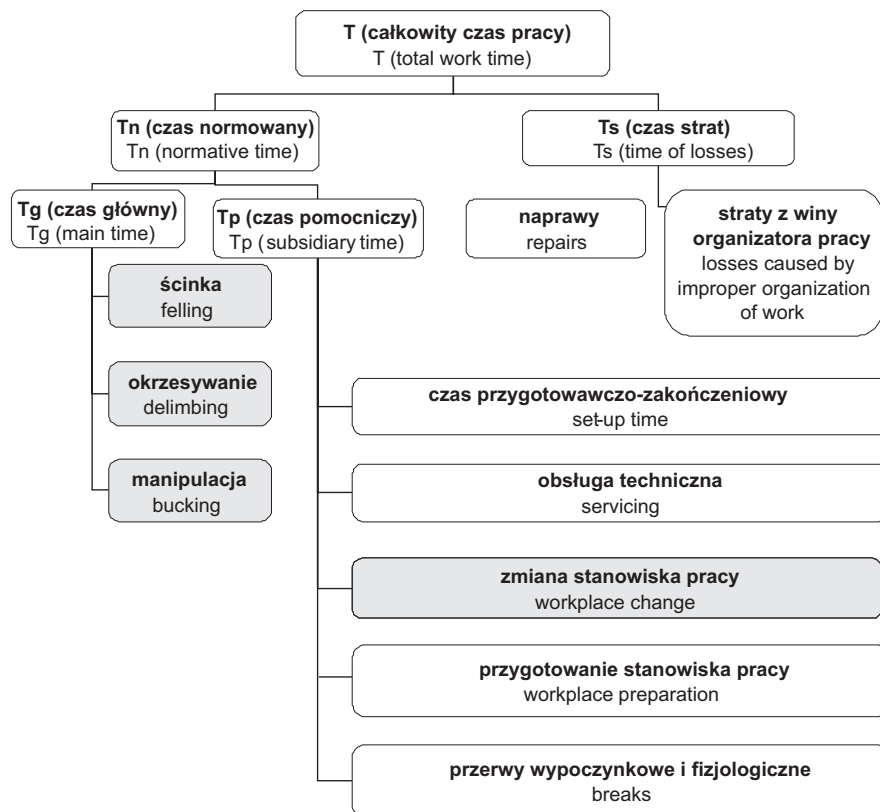
Celem badań była analiza czasochłonności wybranych operacji technologicznych wykonywanych w trakcie pozyskiwania drewna na zrębach oraz określenie przeciętnego zużycia paliwa i emisji dwutlenku węgla podczas prowadzenia prac na ręczno-maszynowym poziomie technologicznym w drzewostanach Puszczy Augustowskiej.

## 3. Materiał i metody

Pomiary terenowe prowadzono na obszarze nadleśnictw Augustów i Pomorze, na siedmiu zrębach zagospodarowanych rębnią IB i jednym zrębie zagospodarowanym rębnią IIIA, na siedliskach BMśw, OIJ i LMśw, przy temperaturze pomiędzy  $-5$  a  $0^{\circ}\text{C}$ , przy pokrywie śnieżnej wynoszącej około 5 cm.

Obserwacje przeprowadzono z zastosowaniem fotografii dnia roboczego. Pomiar czasu trwania poszczególnych operacji wykonywanych był za pomocą stopera elektronicznego z dokładnością do 1 sekundy. Zużycie paliwa określano na podstawie liczby zatankowanych zbiorników paliwa w trakcie zmiany roboczej z uwzględnieniem paliwa, które pozostało w zbiorniku po zakończeniu pracy. Nakład energetyczny w formie paliwa zużytego na pozyskanie drewna obliczony został przy założeniu wartości energetycznej benzyny równej  $33, \text{MJ l}^{-1}$ , a emisję  $\text{CO}_2$  określono z uwzględnieniem wskaźników emisji dwutlenku węgla (MŚ 2012). Wydatek energetyczny drwali obliczono na podstawie wyników chronometrażu oraz danych literaturowych (Józefaciuk, Nowacka 1999). Strukturę czasu przyjętą na potrzeby badań przedstawia rycina 1.

Ścinę, okrzesywanie i manipulację sortymentów prowadzono profesjonalnymi pilarkami spalinowymi Stihl 361, Stihl 362, Husqvarna 357 XP, Husqvarna 346 XPG oraz Husqvarna 550 XP. Prace wykonywano metodą drewna krótkiego, przy czym z reguły po ścinie najpierw okrzesywano całą sztukę, a następnie ją manipulowano. Wyjątkowo, w przypadku gatunków liściastych, przerzynki dokonywano przed zakończeniem okrzesywania, jednak czas poszczególnych czynności był dokładnie ewidencjonowany. W trakcie manipulacji – zarówno w przypadku gatunków iglastych, jak i liściastych – wyrabiano dłużycę lub kłody o określonej



Rycina 1. Struktura czasu pracy drwali (operacje wchodzące w strukturę czasu operacyjnego oznaczono szarym tłem)

Figure 1. The structure of lumberjack's working day (operations involved in the structure of operational time are on a grey background)

wielokrotności wymiaru) oraz papierówkę i opał o długości 1,2 m.

Ścinka oraz operacje obróbcze wykonywane były we wszystkich przypadkach jednoosobowo, przy czym na powierzchni zrębowej zawsze znajdowała się dodatkowo co najmniej jedna osoba obsługująca ciągnik zrywkowy. Drwal nie brał czynnego udziału w podczepianiu dłużyc do ciągnika, ani w układaniu gałęzi na stopy.

Przed ścinką każdego drzewa dokonywano pomiaru pierśnicy. Po ścinie drzew i wyróbce sortymentów (jednak przed zrywką drewna) dokonywano pomiaru miąższości sztuk za pomocą średnicomierza i taśmy. Ścince podlegały wyłącznie drzewa następujących gatunków: sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.), olszy czarnej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karsten), we wszystkich klasach grubości i jakości, stanowiące drzewostan główny. Drzewa powyższych gatunków pozyskiwane były oddzielnie, na różnych zrębach.

Analizę zgodności rozkładów zebranych obserwacji z rozkładem normalnym przeprowadzono za pomocą testu Shapiro-Wilka w programie StatSoft Statistica 6.0, w którym prowadzono również kolejne analizy. W celu

stwierdzenia występowania istotnych statystycznie różnic czasu operacyjnego stosowano analizę Kruskala-Wallisa z porównaniami wielokrotnymi.

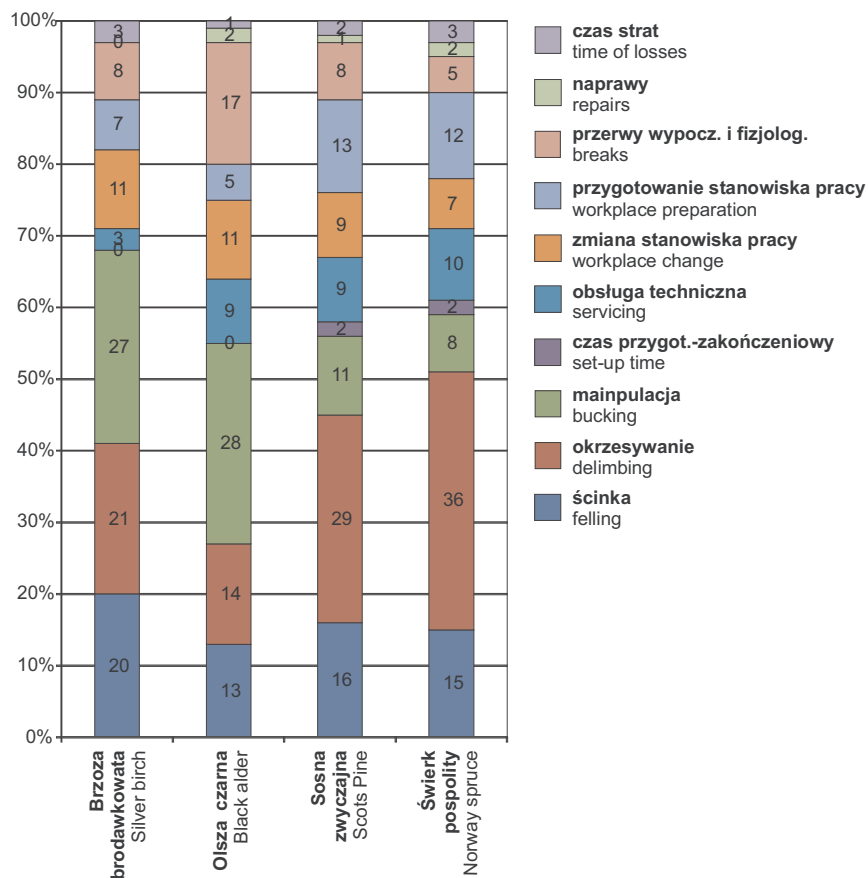
Do analizy zależności między cechami drzew a wydajnością pracy użyto współczynnika korelacji liniowej Pearsona w programie Microsoft Excel 2010.

## 4. Wyniki

Podczas pomiarów terenowych zaewidencjonowano ponad 43 godziny obserwacji. W tym czasie ścięto i poddano wyróbce 200 drzew o łącznej masie 327,70 m<sup>3</sup> (289,17 m<sup>3</sup> grubizny).

W wyniku badań stwierdzono, że okrzyszowanie jest najbardziej czasochłonną operacją w przypadku gatunków iglastych. Z kolei w przypadku brzozy i olszy w strukturze czasu dominowała manipulacja sortymentów. Zaobserwowano dość niski udział czasu strat z tytułu organizacji pracy oraz napraw sprzętu (ryc. 2).

Przeciętny czas operacyjny, obejmujący ścinkę, okrzyszowanie, manipulację sortymentów oraz zmianę stanowiska pracy w stosunku do jednej sztuki, wynosił



Rycina 2. Procentowy udział czasu trwania poszczególnych operacji związanych ze ścinką i obróbką drzew  
Figure 2. Percentage share of time of particular operations related to cutting and tree processing

**Tabela 1. Współczynniki wykorzystania czasu pracy, wydajność procesów, obciążenie środowiska**

Tabela 1. Time use coefficients, labor productivity, environmental impact

Wyszczególnienie Specification	Brzoza brodawkowata Silver birch	Olsza czarna Black alder	Sosna pospolita Scots pine	Świerk pospolity Norway spruce
<b>Współczynnik wykorzystania ogólnego czasu zmiany</b> General work shift time use coefficient	0,68	0,55	0,56	0,59
<b>Współczynnik wykorzystania czasu roboczego</b> Working time use coefficient	0,86	0,81	0,82	0,85
<b>Współczynnik wykorzystania czasu operacyjnego</b> Operational time use coefficient	0,86	0,84	0,86	0,90
<b>Współczynnik pewności techniczno-technologicznej</b> Technical-technological robustness coefficient	1,00	0,96	0,99	0,97
<b>Współczynnik pewności obsługi technicznej</b> Technical maintenance robustness coefficient	0,96	0,86	0,83	0,83
<b>Wydajność operacyjna (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>)</b> Operational productivity (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	10,4	11,3	15,2	6,2
<b>Wydajność robocza (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>)</b> Working productivity (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	10,0	9,6	13,2	5,2
<b>Wydajność eksploatacyjna (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>)</b> Exploitation productivity (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	8,1	7,4	9,9	4,1
<b>Nakład energetyczny (MJ m<sup>-3</sup>)</b> Energy input (MJ m <sup>-3</sup> )	8,26	3,87	2,48	5,01
<b>Emisja CO<sub>2</sub> (kg m<sup>-3</sup>)</b> CO <sub>2</sub> emission (kg m <sup>-3</sup> )	0,55	0,25	0,16	0,32

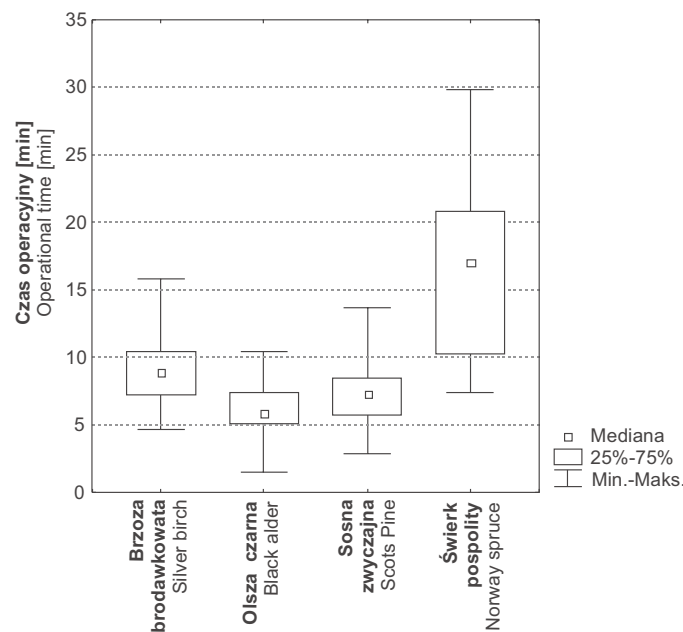
**Rycina 3. Czas operacyjny (ścinka, okrzesywanie, manipulacja, zmiana stanowiska pracy)**

Figure 3. Operational time (felling, delimiting, bucking, change of workplace)

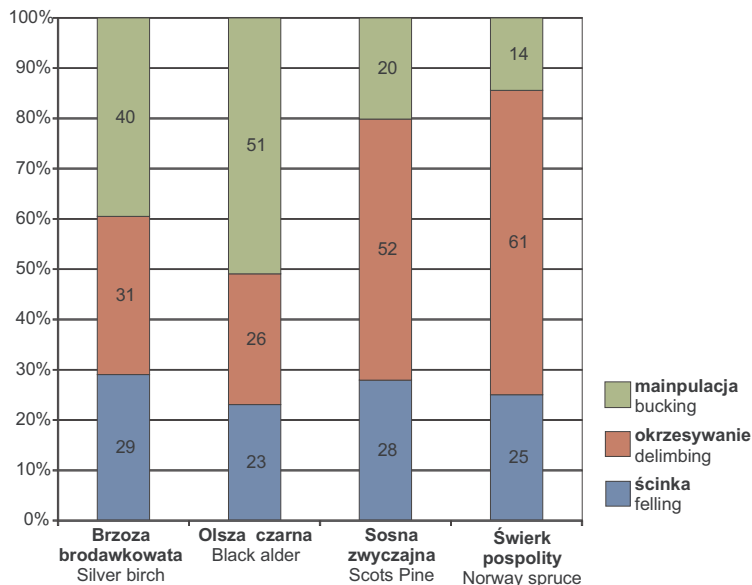
od 6,22 min dla olszy (średnia masa sztuki – 1,11 m<sup>3</sup>) poprzez 7,29 min dla sosny (średnia masa sztuki – 1,63 m<sup>3</sup>), 9,11 min dla brzozy (średnia masa sztuki – 1,43 m<sup>3</sup>) do 16,27 min dla świerka (średnia masa sztuki: 1,57 m<sup>3</sup>), co obrazuje rycina 3. Przeprowadzone testy statystyczne (analiza wariancji rang Kruskala-Wallisa,  $\alpha=0,05$ ) wykazały istotne różnice w zakresie czasu operacyjnego pomiędzy poszczególnymi gatunkami drzew ( $p=0,0000$ ).

Na podstawie danych uzyskanych w trakcie pomiarów terenowych określono wybrane współczynniki wykorzystania czasu pracy oraz obliczono wydajność pracy, bazując na metodyce podawanej przez Botwina (1993), a także sumaryczny nakład energii w formie paliwa i wydatku energetycznego pracowników (tab. 1).

Współczynnik wykorzystania czasu roboczego jest nieznacznie niższy od współczynnika wykorzystania czasu operacyjnego ze względu na ujęcie w nim, oprócz

**Rycina 4. Procentowy udział czasów głównych w odniesieniu do gatunków drzew**

Figure 4. Percentage participation of main times in reference to tree species



czasu zmiany stanowiska pracy, także czasu napraw i czasu przygotowawczo-zakończeniowego.

Bazując na uzyskanych wynikach, określono zależności pomiędzy niektórymi cechami drzew a wydajnością pracy drwali i czasem trwania poszczególnych operacji.

Wydajność operacyjna skorelowana była najsilniej z masą sztuk, przy czym współczynnik korelacji wahał się od 0,44 w przypadku olszy do 0,74 w przypadku brzozy. Z masą sztuk związany był też czas operacyjny – tu współczynnik korelacji wynosił 0,66 dla brzozy, 0,69 dla sosny, 0,94 dla świerka, ale jedynie 0,34 dla olszy. Podobne, choć nieznacznie słabsze, powiązanie występowało pomiędzy czasem operacyjnym a średnicą środkową drzew. Czas przygotowania stanowiska był słabo skorelowany z pierśnicą (od 0,25 w przypadku brzozy do 0,45 w przypadku świerka), a czas ścinki – nieco silniej (od 0,27 w przypadku olszy do 0,67 w przypadku świerka). Czas okrzyszowania był skorelowany z pierśnicą drzew (od 0,24 dla olszy do 0,81 dla świerka) i średnicą środkową (od 0,36 dla olszy do 0,87 dla świerka), silniej niż z długością sztuk. Z kolei czas manipulacji sortymentów był słabo powiązany z cechami drzew; współczynnik korelacji ze średnicą środkową wynosił od 0,24 (olsza) do 0,45 (świerk), choć w przypadku brzozy uzyskano współczynnik ujemny (0,12).

## 5. Dyskusja

Dominujący udział czasu manipulacji w przypadku pozyskiwania gatunków liściastych wynikał z konieczności wyróbki sortymentów w określonych wielokrotnościach długości. Zaobserwowano, że miało to znaczny

wpływ na wydajność procesu i powodowało frustrację operatorów.

Duży udział czasu okrzyszowania, szczególnie w przypadku drzew iglastych, wynikał w pewnej mierze ze sprzętu, jakim wykonywano operacje obróbcze – wszyscy drwale twierdzili, że stosując mniejsze pilarki do okrzyszowania (zamiast używania tej samej, mocnej, ale i ciężkiej pilarki, którą stosowano do ścinki) uzyskaliby większą wydajność, m.in. poprzez redukcję fizycznego zmęczenia. Pozwoliłoby to również na redukcję zużycia materiałów pędnych (Więsik, Wójcik 2007). Udział czasów głównych oraz czasu przerw fizjologicznych i wypoczynkowych w przypadku pozyskiwania świerka był bardzo zbliżony do podawanego przez Sowę i in. (2006), choć warunki terenowe i drzewostanowe prowadzonych badań różniły się. Proporcje udziału czasów głównych w przypadku sosny są bardzo podobne do wyników uzyskanych przez Wójcika (2007) (ryc. 4).

Z powodu trudnych warunków terenowych panujących na siedlisku OIJ udział czasu zmiany stanowiska pracy był nieco dłuższy niż na siedliskach BMśw i LMśw, jednak ze względu na pośpiech drwali i niespektowanie zasad BHP udział czasu przygotowania stanowiska pracy przy pozyskiwaniu brzozy i olszy był wyraźnie niższy niż w przypadku sosny i świerka. Przygotowanie stanowiska przed ścinką drzew iglastych, zajmujące około 12% czasu, wymagało okorowywania pni o średnicy w miejscu rządu przekraczających niejednokrotnie 50 cm, co miało wpływ na tak duży udział czasu tej operacji, pomimo nieznacznej pokrywy śnieżnej. Brak korowania pni mogłoby doprowadzić do wzrostu udziału czasu obsługi technicznej (w tym ostrzenia pił) oraz wzrostu zużycia paliwa. Warto zauważyć, że z powodu twardej i zmarzniętej kory drwale odstąpili od korowania pni brzożowych, co mogło mieć wpływ

na dwukrotnie większe zużycie paliwa niż w przypadku olszy. Niskie współczynniki korelacji pomiędzy średnią masą drzew a czasem przygotowania stanowiska potwierdzają obserwacje Gomuły (2004), czas ten w dużej mierze zależy od warunków terenowych i wstępnego przygotowania powierzchni zrębowej.

Zużycie paliwa wyniosło od 0,07 l m<sup>-3</sup> w przypadku sosny do 0,24 l m<sup>-3</sup> w przypadku brzozy, co kształtuje energochłonność procesu odpowiednio od 2,48 MJ m<sup>-3</sup> do 8,26 MJ m<sup>-3</sup>, przy czym udział wydatku energetycznego drwali wynosił od 2% (brzoza) do 6% (świerk). Zużycie paliwa w przypadku sosny było zbliżone do uzyskanego przez Więsika i Wójcika (2007), lecz niższe od podawanego w badaniach Kusiaka i in. (2012).

Zaobserwowana emisja CO<sub>2</sub> jest mniejsza w większości przypadków (poza pozyskiwaniem brzozy) od emisji podawanej przez Giefinga i innych (2012). Wynika to z warunków pracy na zrębie oraz dużych wymiarów drzew, co wpłynęło pozytywnie na wydajność pracy i powodowało małe zużycie paliwa.

Niska awaryjność sprzętu, odzwierciedlona bardzo wysokim współczynnikiem pewności techniczno-technologicznej, wynika z inwestowania drwali w nowoczesny, profesjonalny sprzęt oraz narzędzia wysokiej jakości. Żadna z obserwowanych pilarek nie była starsza niż 2 lata. Pozwoliło to na redukcję czasu strat i zwiększyło wydajność. Obserwowano jednak częste złamanie klinów – tracono przeciętnie 1 klin na 26 m<sup>3</sup> pozyskanego drewna.

## 6. Wnioski

Największy udział procentowy w ogóle czasu pracy ma w przypadku gatunków iglastych czas okrzyszowania (sosna 29%, świerk 36%), a w przypadku gatunków liściastych – czas manipulacji sortymentów (brzoza 27%, olsza 28%).

Wydajność pracy drwali podczas pozyskiwania drewna zmienia się zależnie od gatunku drzew. Największą wydajność operacyjną drwale osiągają podczas pozyskiwania sosny (15,2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>), a najmniejszą – podczas pozyskiwania świerka (6,2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>).

Czas operacyjny pracy drwali najsilniej skorelowany jest z masą pozyskiwanych drzew, a czas przygotowania stanowiska jest słabo powiązany z pierśnicą.

Udział wydatku energetycznego drwali w ogóle nakładów energetycznych na pozyskiwanie surowca drzewnego jest niski i wynosi do 6%.

## Podziękowania

Dziękuję Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Białymstoku za wsparcie w przeprowadzeniu niniejszych badań i umożliwienie prezentacji wyników w trakcie konferencji Forest Biomass Conference (Mierzęcin, 2013).

## Literatura

- Botwin M. 1993. Podstawy użytkowania maszyn leśnych, Warszawa, Wydawnictwo SGGW, 120 s. ISBN 83-00-02777-7.
- Działuk R. 1988. Wydajność i energochłonność procesów technologicznych pozyskiwania drewna w Lasach Państwowych. *Sylvan*, 2: 1–7.
- Giefing D.F., Bembenek M., Gackowski M., Grzywiński W., Karaszewski Z., Klentak I., Kosak J., Mederski P.S., Siewert S. 2012. Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. *Metodologia prac. Nauka Przyroda Technologie*, 6, 3, #59.
- Gomuła G. 2004. Badanie pracochłonności i energochłonności procesu ścinki pilarką spalinową, Praca magisterska wykonana w Zakładzie Mechanizacji Leśnictwa, Wydział Inżynierii Produkcji SGGW, Warszawa.
- Józefaciuk J., Nowacka W. 1999. Ćwiczenia z ergonomii i ochrony pracy. Warszawa Wydawnictwo SGGW 80 s. ISBN 83-7244-065-4.
- Kusiak W., Moliński K., Walkowiak R. 2012. Model zużycia paliwa przy pozyskiwaniu drewna sosnowego. *Sylvan*, 156(3): 218–224.
- Sokołowski A. W. 2010. Puszcza Augustowska, Warszawa, CILP, 292 s. ISBN 987-83-61633-03-7.
- Sowa J. M., Leszczyński K., Szewczyk G. 2006. Human energy expenditure in late thinning performed in mountain spruce stands. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*, 5(1): 73–80.
- Więsik J. 1988. Analiza wykorzystania maszyn i zużycie paliwa w nadleśnictwach. *Sylvan*, 2: 9–19.
- Więsik J., Wójcik K. 2007. Zużycie paliwa przez pilarkę spalinową przy pozyskiwaniu drewna. *Prace Komisji Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych*, 9: 265–274.
- Wójcik K. 2007. Wpływ parametrów drzewa na czas wykonywania operacji obróbczych przy pozyskiwaniu drewna pilarką spalinową. *Prace Komisji Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych*, 9: 275–283.

## Materiały źródłowe

- DGLP. 2011. Raport o stanie lasów w Polsce 2010, Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych. Warszawa, CILP, 84 s. ISSN 1641-3229.
- MŚ. 2012. Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji dwutlenku węgla (WE) w roku 2009 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2012. Warszawa, Ministerstwo Środowiska.

## Analysis of the duration of basic logging operations performed using a chainsaw

Tomasz Gałęzia

Pomorze Forest Inspectorate, Pomorze 8, 16–506 Giby, Poland.

Tel. +48 87 5165786, fax: +48 87 5165052, e-mail: tomasz.galezia@bialystok.lasy.gov.pl

**Abstract.** Motor-manual machinery, i.e. chainsaws, is still commonly used for timber harvesting in Poland, especially in northern-east part of the country. The main goal of this research was to analyse the duration of operations such as felling, delimiting and bucking of the main tree species in Augustów Primeval Forest. Our aim was also to estimate the quantity of fuel necessary to perform these operations as well as the CO<sub>2</sub> emission.

Working's day activity study was selected as a method of time measurement. Data was collected from 8 clear-cuts during the logging of 327 m<sup>3</sup> of timber.

On average, the most time-consuming operation was delimiting (26% of total time). Felling took 15% and bucking 18% of total time. Breaks took up a significant proportion of time (10% of total time), as well as technical maintenance, change of workplace and preparation of work-place that each took up 9%. The average exploitation productivity of lumberjacks reached 7.5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> and fuel consumption was 0.14 l m<sup>-3</sup>.

Results on the duration of operational times confirm earlier research, however due to final felling conditions and large dimensions of trees fuel consumption and emissions of CO<sub>2</sub> were smaller than those given in the existing literature. The most time-consuming operation for coniferous was delimiting (Scots pine 29%, Norway spruce 36% of working time) and for the broadleaves it was bucking (silver birch 27%, black alder 28% of working time). Workers' operational productivity depended on tree species and was the greatest in the case of Scots pine (15.2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>) and the smallest in the case of Norway spruce (6.2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>). Operational productivity was strongly correlated with the volume and the trunk diameter.

**Key words:** time-consumption, felling, chainsaw, efficiency, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)

### 1. Introduction

Motor-manual logging, despite increasing the volume of timber harvested by machines, is still basic working technology at clear-cuts. In the scale of the entire country, about 90% of timber is being harvested with the use of chainsaws (Kusiak et al. 2012), although in final felling this amount is smaller. In 2010, about 6.1 mln m<sup>3</sup> of timber was logged (DGLP 2011) within felling areas in State Forests.

Previous studies on productivity and fuel consumption during harvesting with the use of chainsaws concerned mostly western or central parts of Poland (Kusiak et al. 2012; Więsik 1988; Działuk 1988), but it is difficult to find any analysis of time consumption in the environmental conditions of Augustowska Primeval Forest. Dominant trees species in Polish part of this primeval forest are: Scots pine (76.20%), Norway spruce (7.35%), black alder (8.80%) and silver birch (5.87%). A significant share of coniferous trees results from the habitat – fresh coniferous

forest 30.62%, and fresh mixed coniferous forest 38.09% of the area (Sokołowski 2010). This affects the way of management in the stands, the effect of which is common use of clear-cuts. Relatively large trees and their strong branching can significantly limit the use of harvesters.

## 2. Aim of study

The aim of the study was to analyse time consumption of selected technological operations performed during timber harvesting at the clear-cuts and to determine the average fuel consumption and emissions of carbon dioxide during work at motor-manual technological level in the stands of Augustowska Primeval Forest.

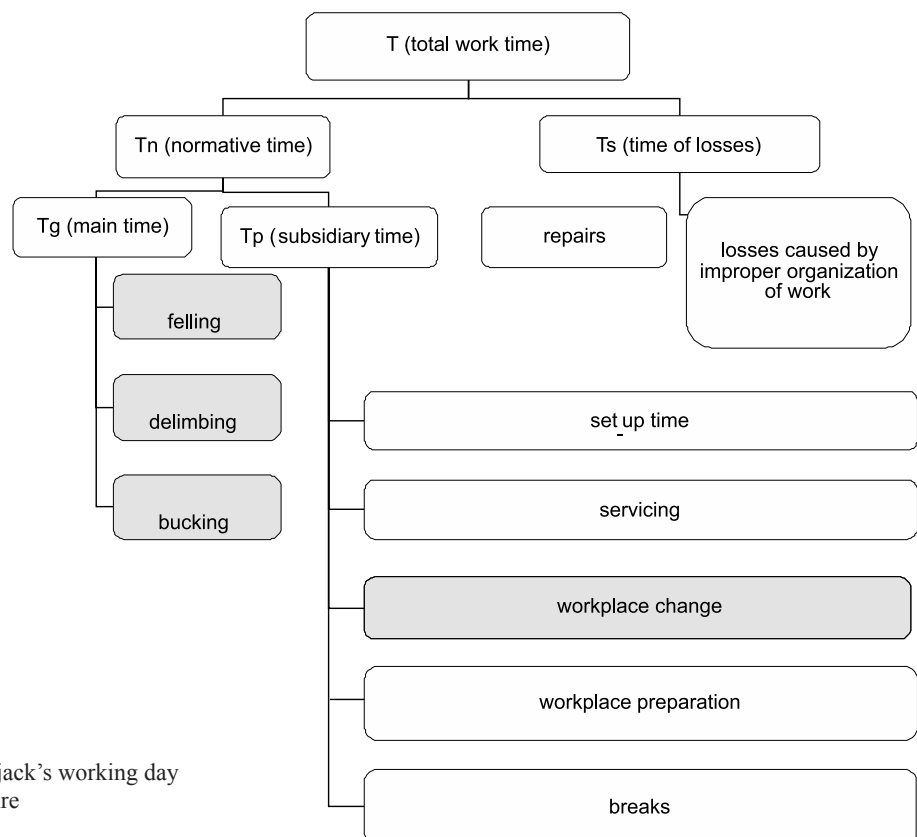
## 3. Material and methods

Field measurements were conducted in the area of Augustów and Pomorze Forest Districts, at seven strip clear-cuts and one group shelterwood, at sites of fresh mixed coniferous forest, fresh mixed broadleaved forest and ash-alder forest with temperature between  $-5$  and  $0^{\circ}\text{C}$  and a snow cover of about 5 cm.

Observations were conducted using working day activity study. The measurement of the duration for particular operations was performed with the use of electronic timer with an accuracy of 1 second. Fuel consumption was determined based on the number of full fuel tanks during working shift with regard to the fuel left in the tank after the work was finished. Energy expenditure in the form of fuel used to harvest the timber was calculated with the assumption of the fuel energy value equal to  $33.75 \text{ MJ l}^{-1}$ , and  $\text{CO}_2$  emissions were determined including indicators of carbon dioxide emissions (MŚ 2012). Lumberjacks' energy expenditure was calculated based on results of timing and published data (Józefaciuk and Nowacka 1999).

Figure 1 shows the structure of the time adopted for the purpose of the study.

Felling, delimiting and bucking were conducted using professional chainsaws Stihl 361, Stihl 362, Husqvarna 357 XP, Husqvarna 346 XPG and Husqvarna 550 XP. Timber was harvested in short-wood system. After the felling, the whole piece was delimited and bucked afterwards. Exceptionally, in the case of deciduous species, cross-cutting was done before finishing the delimiting, but the time of particular activities was accurately recorded. During



**Figure 1.** The structure of lumberjack's working day (operations involved in the structure of operational time are in bold)

bucking – for both coniferous and deciduous – log or long timber was made with certain multiples of dimension as well as pulpwood and firewood with a length of 1.2 m.

Felling and delimiting operations were always conducted solely, while there was always at least one more person operating the skidder on the cutting area. Lumberjack did not take part in hooking logs to the skidder nor in stacking up the branches.

The diameter at breast height of each tree was measured before felling. After the felling and delimiting (but before cross-cutting), volume was measured with the use of calipers and tape. Only the following species were felled: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), silver birch (*Betula pendula* Roth.), black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) in all classes of thickness and quality.

## 4. Results

During field measurements, more than 43 hours of observation were recorded. During this time, 200 trees of a total mass of 327.70 m<sup>3</sup> (289.17 m<sup>3</sup> of merchantable timber) were logged.

The delimiting was the most time-consuming operation in the case of coniferous species. On the other hand, in the case of silver birch and black alder, bucking dominated in the time structure. Relatively low share of time losses due to work organisation and repairs was reported (Fig. 2).

The average operational time, including felling, delimiting, bucking and workplace change compared with one tree, ranged from 6.22 min for alder (average mass per tree: 1.63 m<sup>3</sup>) to 16.27 min for Norway spruce (average mass per tree: 1.57 m<sup>3</sup>), which is shown in Figure 3. Statistical tests performed (Kruskal–Wallis analysis by ranks,  $\alpha=0.05$ ) showed significant differences in the range of operating time between particular species ( $p=0.0000$ ).

Based on the data received during field measurements, selected coefficients of working time use were determined based on the methodology suggested by Botwin (1993). The total energy input was a sum of energy of fuel and human energy expenditure (Table 1).

Working time use coefficient is slightly lower than operational time use coefficient as the time of repairs and set-up time were also included in it.

Based on results correlation between some tree attributes and lumberjacks' efficiency or duration of particular

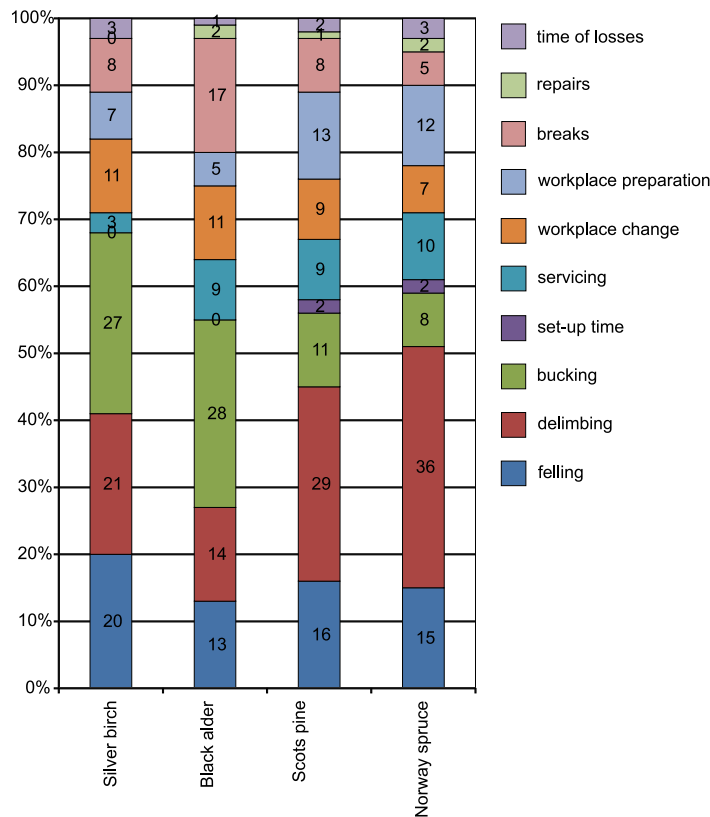
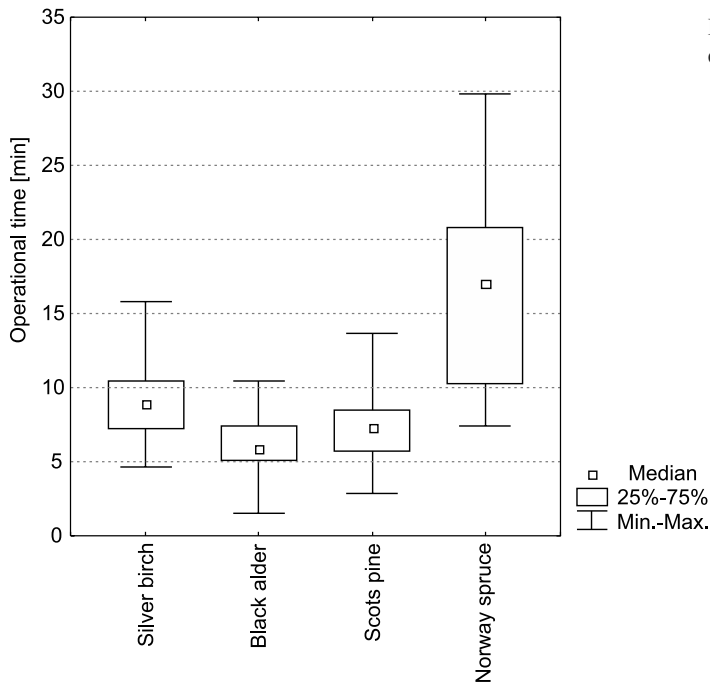


Figure 2. Percentage share of time of particular operations related to cutting and tree processing

**Table 1.** Time use coefficients, labour productivity, environmental impact

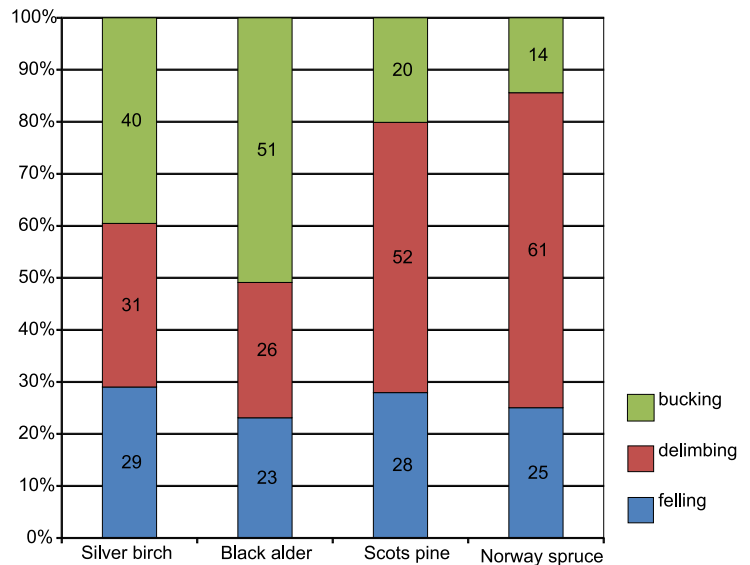
	silver birch	black alder	Scots pine	Norway spruce
General work shift time use coefficient	0.68	0.55	0.56	0.59
Working time use coefficient	0.86	0.81	0.82	0.85
Operational time use coefficient	0.86	0.84	0.86	0.90
Technical-technological robustness coefficient	1.00	0.96	0.99	0.97
Technical maintenance robustness coefficient	0.96	0.86	0.83	0.83
Operational productivity (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	10.4	11.3	15.2	6.2
Working productivity (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	10.0	9.6	13.2	5.2
Exploitation productivity (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	8.1	7.4	9.9	4.1
Energy input (MJ m <sup>-3</sup> )	8.26	3.87	2.48	5.01
CO <sub>2</sub> emission (kg m <sup>-3</sup> )	0.55	0.25	0.16	0.32

**Figure 3.** Operational time (felling, delimiting, bucking, change of workplace)

operations was determined. Operational productivity was the most strongly correlated to the mass of tree, while the correlation coefficient ranged from 0.44 in the case of black alder to 0.74 in the case of silver birch. Operational time was also related to mass of tree – in this case, correlation coefficient ranged from 0.66 for silver birch to 0.94 for Norway spruce, but only 0.34 for black alder. Similar, but a slightly weaker, relation occurred between operational time and middle diame-

ter of trees. Time of workplace preparation was weakly correlated to diameter at breast height (from 0.25 in the case of silver birch to 0.45 for Norway spruce) and felling time was slightly more (from 0.27 for black alder to 0.67 for Norway spruce). Delimiting time was correlated to diameter at breast height (from 0.24 for black alder to 0.81 for Norway spruce) and middle diameter (from 0.36 for black alder to 0.87 for Norway spruce) more than with stem's length. Bucking time was slightly

**Figure 4.** Percentage share of main times in reference to tree species



correlated to trees attributes: correlation coefficient with middle diameter ranged from 0.24 (black alder) to 0.45 (Norway spruce) while for silver birch the coefficient was negative (-0.12).

## 5. Discussion

The predominant share of bucking time in the case of harvesting deciduous species resulted from the necessity of bucking in certain multiples of length. It significantly influenced the process's efficiency and caused frustration of operators.

A large share of delimiting time, especially in the case of coniferous trees, resulted, in some way, from equipment that was used for work – all lumberjacks claimed that using smaller chainsaws for delimiting (instead of using the same, strong but heavy, which was used for felling) would reduce physical fatigue and increase productivity. That would also reduce the fuel consumption (Więsik and Wójcik 2007). The share of main time and share of breaks in the case of Norway spruce were similar to those reported by Sowa et al. (2006), although the terrain and stand conditions of conducted studies were different. Proportions on main times share for Scots pine are similar to results obtained by Wójcik (2007) (Figure 4).

Due to difficult terrain conditions on the site of ash-alder forest, workplace change lasted slightly longer than on sites of fresh mixed coniferous forest or fresh mixed broadleaved forest; however, because of the rush of lumberjacks (and disrespecting of safety rules) the time spent

on workplace preparation in the cases of silver birch and black alder was significantly lower than for Scots pine and Norway spruce. Workplace preparation before felling coniferous trees, taking about 12% of time, required debarking of stems with a diameter often exceeding 50 cm in the place of a cut, which resulted in a great share of this operation, despite a slight snow cover. Lack of stem bark-ing could lead to an increase in the share of service time (including sharpening chainsaws) and increase of fuel consumption. It is worth noticing that due to hard and frozen bark, lumberjacks did not debark birch stems, which influences consumption of fuel (twice as much as for black alder). Low correlation indicators between average mass of tree and workplace preparation time confirm the observations of Gomuła (2004) that time significantly depends on terrain conditions and felling area preparation.

Fuel consumption ranged from 0.07 l m<sup>-3</sup> for Scots pine to 0.24 l m<sup>-3</sup> for silver birch that refers to the process's energy consumption respectively from 2.48 MJ m<sup>-3</sup> to 8.26 MJ m<sup>-3</sup>, while the share of lumberjacks' energy expenditure ranged from 2% (silver birch) to 6% (Norway spruce). Fuel consumption for Scots pine was close to the one obtained by Więsik and Wójcik (2007), but lower than reported in the study of Kusiak et al. (2012).

Observed CO<sub>2</sub> emission was lower in most cases (apart from silver birch) from emission reported by Giefing et al. (2012). This was due to working conditions at the final felling area and big dimensions of trees, which had a positive influence on work efficiency and caused low fuel consumption.

Low failure rate of equipment, reflected by very high technical and technological coefficients, arises from lumberjacks' investment in modern, professional equipment and high quality tools. None of the chainsaws used was older than 2 years. This led to reduced time of losses and increased productivity. However, frequent breaking of felling wedges was observed – on average, there was one wedge lost on every 26 m<sup>3</sup> of logged timber.

## 6. Conclusions

The greatest percentage share in total work time for coniferous species was delimiting (Scots pine 29%, Norway spruce 36%), while in the case of deciduous species it was bucking (silver birch 27%, black alder 28%).

Lumberjacks' work productivity depended on the logged species. The greatest operational productivity of lumberjacks was gained while logging the Scots pine (15.2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>), while the lowest while logging the Norway spruce (6.2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>).

Operational time of logging work was most correlated to mass of logged trees, while workplace preparation time was slightly related to diameter.

The share of lumberjacks' energy expenditure in total energy input was low (up to 6%).

## Acknowledgements

I would like to thank the Regional Directorate of State Forests in Białystok for the support in conducting this study and enabling the presentation of results during the Forest Biomass Conference (Mierzęcin, 2013).

## References

- Botwin M. 1993. Podstawy użytkowania maszyn leśnych [Basics of forest machinery use], Warszawa, Wydawnictwo SGGW, 120 p. ISBN 83-00-02777-7.
- Działuk R. 1988. Wydajność i energochłonność procesów technologicznych pozyskiwania drewna w Lasach Państwowych [Efficiency and energy consumption of technological processes of wood harvesting in State Forests]. *Sylwan*, 2: 1–7.
- Giefling D.F., Bembenek M., Gackowski M., Grzywiński W., Karaszewski Z., Klentak I., Kosak J., Mederski P.S., Siwert S. 2012. Ocena procesów technologicznych pozyskiwania drewna w trzebieżach późnych drzewostanów sosnowych. Metodologia prac [Evaluation of thinning operations in older pine stands. Research methods]. *Nauka Przyroda Technologie*, 6, 3, 59.
- Gomuła G. 2004. Badanie pracochłonności i energochłonności procesu śinki pilarką spalinową, Praca magisterska wykonana w Zakładzie Mechanizacji Leśnictwa, Wydział Inżynierii Produkcji SGGW, Warszawa.
- Józefaciuk J., Nowacka W. 1999. Ćwiczenia z ergonomii i ochrony pracy. Warszawa Wydawnictwo SGGW, 80 p. ISBN 83-7244-065-4.
- Kusiak W., Moliński K., Walkowiak R. 2012. Model zużycia paliwa przy pozyskiwaniu drewna sosnowego [Model of fuel consumption during harvesting of pine wood]. *Sylwan*, 156 (3): 218–224.
- Sokołowski A. W. 2010. Puszcza Augustowska, Warszawa, CILP, 292 p. ISBN 987-83-61633-03-7.
- Sowa J. M., Leszczyński K., Szewczyk G. 2006. Human energy expenditure in late thinning performed in mountain spruce stands. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*, 5 (1): 73–80.
- Więsik J. 1988. Analiza wykorzystania maszyn i zużycie paliwa w nadleśnictwach [Analysis of the exploitation of machines and the consumption of fuel in forest districts]. *Sylwan*, 2: 9–19.
- Więsik J., Wójcik K. 2007. Zużycie paliwa przez pilarkę spalinową przy pozyskiwaniu drewna [Fuel consumption of a power chain saw during timber harvesting]. *Prace Komisji Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych*, 9: 265–274.
- Wójcik K. 2007. Wpływ parametrów drzewa na czas wykonywania operacji obróbczych przy pozyskiwaniu drewna pilarką spalinową [The effect of timber parameters on work time of timber harvesting operations using a power chain saw]. *Prace Komisji Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych*, 9: 275–283.

## Source materials

- DGLP 2011. Report on the state of forests in Poland 2010, Directorate-General of the State Forests. Warsaw, CILP, 84 p. ISSN 1641-3229.
- Ministry of the Environment. 2012. Calorific Values (CV) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) level emission in 2009 for reporting under the European Union Emissions Trading System (EU ETS) in year 2012. Warsaw, Ministry of the Environment.