

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 CO₂ 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 m³ 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 m³ h⁻¹ and fuel consumption was 0.14 l m⁻³.

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 CO₂ 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 m³ h⁻¹) and the smallest in the case of Norway spruce (6.2 m³ h⁻¹). 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 m³ (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). Rzutuje 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

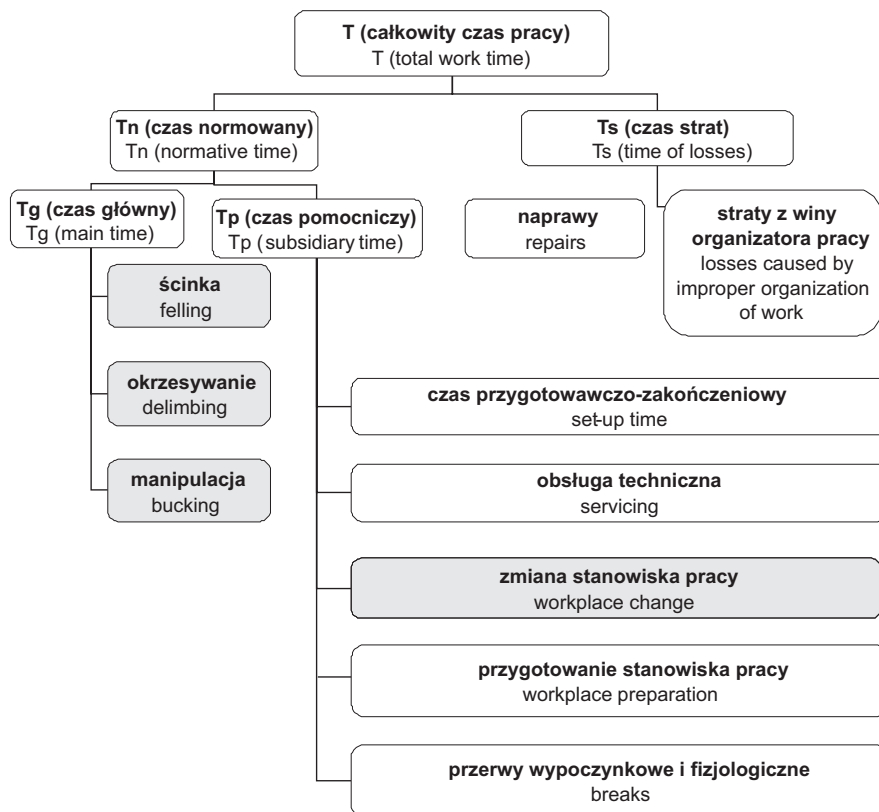
Celem badań była analiza czasochłonności wybranych operacji technologicznych wykonywanych w trakcie pozyskiwania drewna na zrębach oraz określenie przeciętnego zużycia paliwa i emisji dwutlenku węgla podczas prowadzenia prac na ręczno-maszynowym poziomie technologicznym w drzewostanach Puszczy Augustowskiej.

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°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, MJ l⁻¹, a emisję CO₂ 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 stosy.

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.

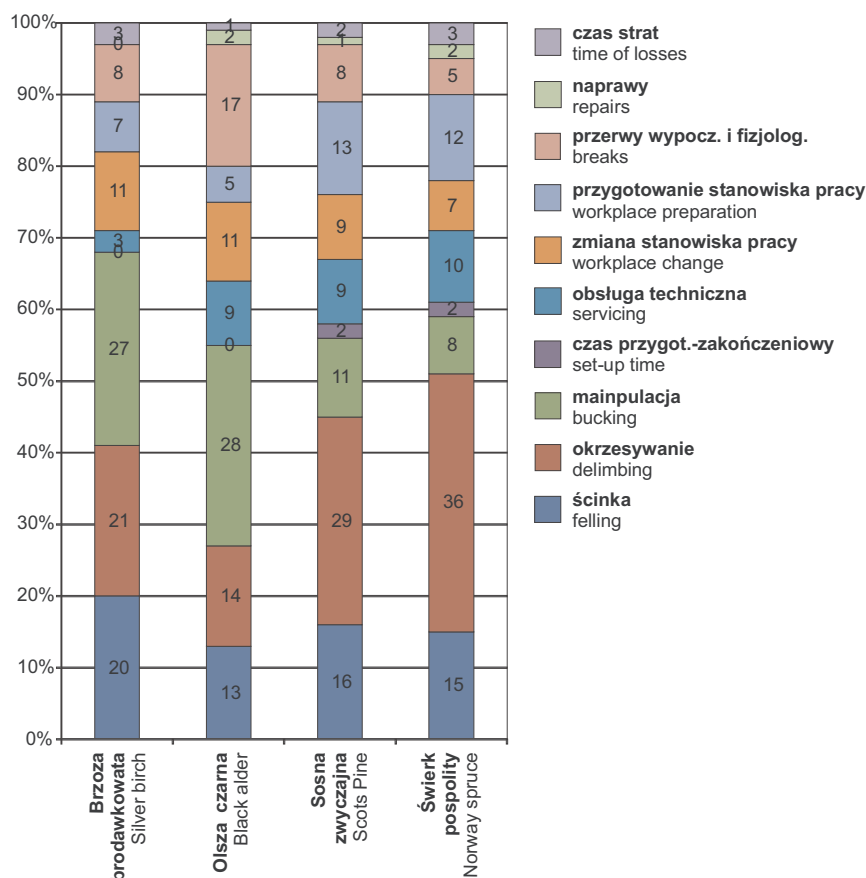
Do analizy zależności między cechami drzew a wydajnością pracy użyto współczynnika korelacji liniowej Pearsona w programie Microsoft Excel 2010.

4. Wyniki

Podczas pomiarów terenowych zaewidencjonowano ponad 43 godziny obserwacji. W tym czasie ścięto i poddano wyróbce 200 drzew o łącznej masie 327,70 m³ (289,17 m³ grubizny).

W wyniku badań stwierdzono, że okrzyszwanie 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, okrzyszwanie, 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
Współczynnik wykorzystania ogólnego czasu zmiany General work shift time use coefficient	0,68	0,55	0,56	0,59
Współczynnik wykorzystania czasu roboczego Working time use coefficient	0,86	0,81	0,82	0,85
Współczynnik wykorzystania czasu operacyjnego Operational time use coefficient	0,86	0,84	0,86	0,90
Współczynnik pewności techniczno-technologicznej Technical-technological robustness coefficient	1,00	0,96	0,99	0,97
Współczynnik pewności obsługi technicznej Technical maintenance robustness coefficient	0,96	0,86	0,83	0,83
Wydajność operacyjna (m³ h⁻¹) Operational productivity (m ³ h ⁻¹)	10,4	11,3	15,2	6,2
Wydajność robocza (m³ h⁻¹) Working productivity (m ³ h ⁻¹)	10,0	9,6	13,2	5,2
Wydajność eksploatacyjna (m³ h⁻¹) Exploitation productivity (m ³ h ⁻¹)	8,1	7,4	9,9	4,1
Nakład energetyczny (MJ m⁻³) Energy input (MJ m ⁻³)	8,26	3,87	2,48	5,01
Emisja CO₂ (kg m⁻³) CO ₂ emission (kg m ⁻³)	0,55	0,25	0,16	0,32

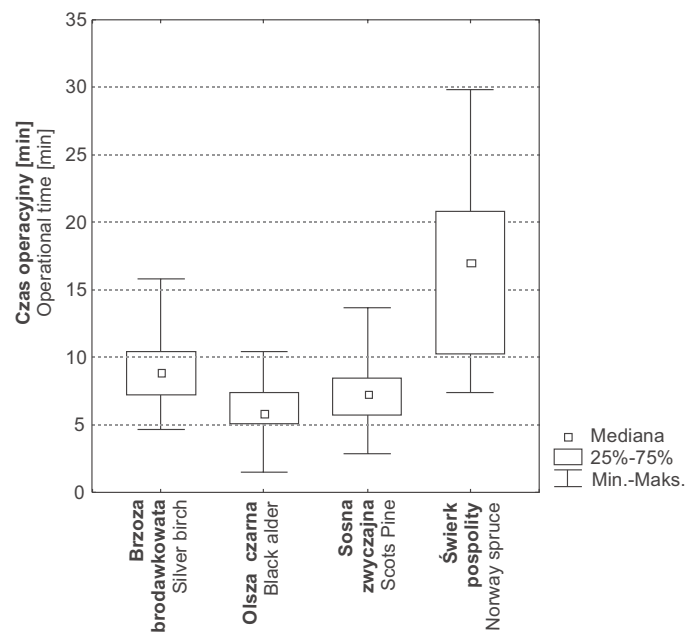
**Rycina 3. Czas operacyjny (ścinka, okrzesywanie, manipulacja, zmiana stanowiska pracy)**

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

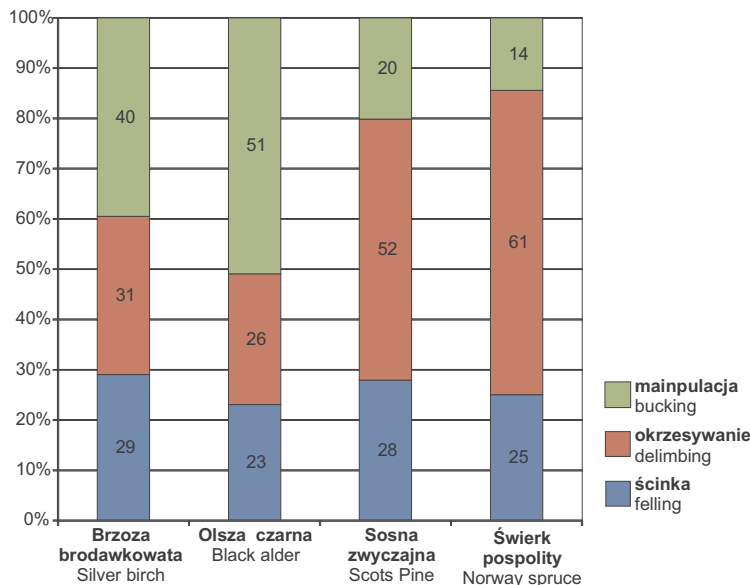
od 6,22 min dla olszy (średnia masa sztuki – 1,11 m³) poprzez 7,29 min dla sosny (średnia masa sztuki – 1,63 m³), 9,11 min dla brzozy (średnia masa sztuki – 1,43 m³) do 16,27 min dla świerka (średnia masa sztuki: 1,57 m³), co obrazuje rycina 3. Przeprowadzone testy statystyczne (analiza wariancji rang 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 metodycie 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⁻³ w przypadku sosny do 0,24 l m⁻³ w przypadku brzozy, co kształtuje energochłonność procesu odpowiednio od 2,48 MJ m⁻³ do 8,26 MJ m⁻³, 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 CO₂ 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 m³ 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 m³ h⁻¹), a najmniejszą – podczas pozyskiwania świerka (6,2 m³ h⁻¹).

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 (Mierzęcín, 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.