

KRZYSZTOF LESZCZYŃSKI, ARKADIUSZ STAŃCZYKIEWICZ

## Zastosowanie monitora pracy serca do oceny efektywnego wydatku energetycznego w ręczno-maszynowych technologiach pozyskiwania drewna\*

Use of heart rate monitor in assessing the net energy expenditure during motor-manual cutting

### ABSTRACT

Leszczyński K., Stańczykiewicz A. 2014. Zastosowanie monitora pracy serca do oceny efektywnego wydatku energetycznego w ręczno-maszynowych technologiach pozyskiwania drewna. Sylwan 158 (2): 124-131.

Energy expenditure during labour constitutes one of the criteria used for assessing the laboriousness of timber harvesting. The major objective of this study was to point out the possibilities of defining work net energy expenditure (NEE) as related to the frequency of heart rate in the field exercise tests by changing posture and varied external work load. The scope of the study was restricted to the work of chainsaw operators performing hard physical labour during late thinning of fir and spruce on the middle mountain (Beskid Makowski, Beskid Śląski). The research involved dynamic work with elements of static load for which the NEE was investigated by means of heart rate as well as respiratory – indirect estimation of oxygen consumption as results of airflow measurement. The advantage of both methods is simplicity of application, the lack of necessity to perform additional analyses as time study and expected medium error. The conducted calculations pointed out to a strong linear correlation, where correlative coefficient was equal to 0.67. The conducted model analysis (including, among others: the normality, autocorrelation of residuals and identification of influential values) has confirmed its validity at the 10% statistical error. The obtained regression coefficient indicates a larger increase in value as compared to the available formulas with acceptable in practice standard error of prediction on 6.05 kJ/min level.

### KEY WORDS

energy expenditure, chainsaw operator, timber harvesting, metabolism rate, late thinning

### ADDRESSES

Krzysztof Leszczyński – e-mail: rleszcz@cyf-kr.edu.pl

Arkadiusz Stańczykiewicz – e-mail: rlstancz@cyf-kr.edu.pl

Katedra Użytkowania Lasu i Drewna; Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków

### Wstęp

Prace w pozyskiwaniu drewna związane są nadal, mimo wdrażania mechanizacji, z wykonywaniem ciężkiej pracy fizycznej. Na terenie Polski ponad 95% pozyskiwania drewna realizowane jest na poziomie ręczno-maszynowym. Oznacza to, że np. w 2010 roku 33,7 mln m<sup>3</sup> surowca pozyskano z zastosowaniem pilarki spalinowej. Problemy wydatku energetycznego podczas prac leśnych były przedmiotem analiz Fibigera [1978], Toupina i in. [2007] oraz Grzywińskiego [2009]. Wspomniani autorzy podkreślają, że warunkiem zachowania zdrowia i wysokiej

\* Badania zrealizowane w ramach projektu NN 309 423533 „Badania nad optymalizacją proekologicznej technologii trzebieży drzewostanów iglastych z zastosowaniem procesorów zagregowanych z ciągnikami rolniczymi” finansowanego w okresie 2007-2010 przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

wydajności jest m.in. zrównoważenie bilansu energetycznego podczas pracy. Dlatego też zagadnienia te są w dalszym ciągu aktualne, szczególnie w świetle zachodzącej wraz z wiekiem zmiany adaptacji do wysiłku fizycznego.

Generalnie dąży się do określenia tempa metabolizmu podczas pracy wyrażonego w watach przypadających na metr kwadratowy powierzchni ciała ( $W/m^2$ ). W oparciu o tę wartość można określić wydatek energetyczny wyrażony w  $kJ/min$  lub  $kcal/min$ . W tym celu można zastosować metody przesiewowe (ang. screening), obserwacyjne oraz analityczne i eksperymentalne, które różnią się nakładem pracy oraz stopniem dokładności uzyskanych wyników [PN-EN... 2005]. Metody pomiarowe bazują na parametrach fizjologicznych, tj. wentylacji płuc, ciśnieniu krwi, częstości uderzeń serca. Podstawą klasyfikacji ciężkości pracy jest ilość pochłanianego tlenu względem wartości maksymalnej –  $VO_{2max}$ . Przekroczenie progu 50% osobniczej wartości oznacza pracę bardzo ciężką – wykonywaną przy wykorzystaniu beztlenowego (anaerobowego) uwalniania energii [Fibiger 1978], która prowadzi do powstania tzw. długu tlenowego. Wartość maksymalnego pułapu tlenowego ( $VO_{2max}$ ) możemy określić z zastosowaniem metod bezpośrednich, jak również pośrednich, m.in. podczas testów wysiłku submaksymalnego.

W praktyce łatwiej podczas prób respiracyjnych stosujemy ustniki lub maski [Grzywiński 2004], które w wyniku hiperwentylacji mogą zniekształcać uzyskany wynik. Dlatego też często wykorzystuje się pomiar częstości skurczów serca, która wykazuje silny związek z  $VO_{2max}$ , a tym samym z wydatkowaną energią. Zależność ta w znacznym zakresie posiada charakter liniowy, bardzo silny zwłaszcza w przypadku zaangażowania dużych grup mięśniowych, gdzie pochłanianie tlenu wynosi 20-100%  $VO_{2max}$ , a częstość skurczów serca przekracza 90 bpm (uderzeń na minutę).

Celem niniejszej pracy było określenie zależności pomiędzy częstością skurczów serca a efektywnym wydatkiem energetycznym określonym metodą respiracyjną w warunkach terenowych. Zakres badań obejmował omówienie cech antropometrycznych i analizę czynników o charakterze fizjologicznym (tętno serca podczas pracy, wentylacja płuc) mających znaczenie przy wyznaczeniu parametrów analizowanej zależności. W doświadczeniu brali udział operatorzy pilarek spalinyowych w wieku 22-28 lat. Badania obejmowały pracę o charakterze dynamicznym z elementami obciążenia statycznego wynikającego z okresowego przyjmowania wymuszonej pozycji ciała. Jednakże w założeniach przyjęto, że obserwowana częsta zmiana pozycji i dynamiki pracy pozwala na szybką eliminację powstającego długu tlenowego, a tym samym kompensację narastającego zmęczenia mięśni. Tempo przemian metabolicznych oznaczono z zastosowaniem fińskiego pulsometru oraz metody gazometrycznej polegającej na bezpośrednim określeniu wartości wentylacji płuc, a pośrednio ilości zużytego tlenu. Obserwacje przeprowadzono podczas pozyskiwania drewna w drzewostanach świerkowych i jodłowych Beskidów Śląskiego i Makowskiego w trakcie zabiegów pielęgnacyjnych trzebieży późnych.

## Material i metody

Badania poziomu wydatkowanej energii wykonano z wykorzystaniem metody respiracyjnej – miernikiem MWE-1 skonstruowanym w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy w Warszawie. Zastosowana metoda pomiarowa polega na określeniu wielkości wentylacji płuc, która wykazuje zależność liniową względem zużytej ilości tlenu [Grzywiński 2004]. W celu uzyskania wartości efektywnej wydatkowanej energii ( $E$ , ang. effective energy expenditure) otrzymane wyniki pomiarów pomniejszono o wartość podstawowej przemiany materii określonej według wzoru Harris-Benedicta [Pettitt i in. 2007], który uwzględnia płeć, wiek, masę ciała i wzrost osoby badanej. Dokładność oszacowania wartości wydatku energetycznego zastosowanej metody kalorymetrii

pośredniej wynosi 10%. Równolegle przeprowadzono pomiar częstości skurczów serca (HR, ang. heart rate) z wykorzystaniem fińskiej metody telemetrycznej (Polar RS800CX). Dokładność pomiaru skurczów serca wynosi 1%, a zakres pomiarowy obejmuje 15-240 bpm.

Ze względów praktycznych metodę gazometryczną możemy zastosować w stosunkowo krótkich okresach pomiarowych, dlatego też przeprowadzone próby obejmowały 15-minutowy okres pracy efektywnej. Wykonano 31 niezależnych sesji pomiarowych. Każdą sesję pomiarową przeprowadzono w jednym dniu roboczym. Zbieranie danych pomiarowych odbywało się dopiero po kilkuminutowej rozgrzewce organizmu zapewniającej osiągnięcie stanu równowagi pomiędzy zapotrzebowaniem organizmu na tlen a jego pochłanianiem. Do analizy wykorzystano wartości średnie z dwóch sesji pomiarowych (wiosennej – 14 pomiarów i jesiennej – 17 pomiarów). Obejmowały one pełne cykle efektywnego czasu pracy, które realizowano w kolejności: ścinka, okrzesywanie, przerzynka, przejście. W celu uniknięcia wpływu rytmu cirkadianego obserwacje prowadzono w godzinach największej gotowości do wysiłku, tj. od 9 do 11 rano. Grupę badawczą stanowił zespół ośmiu mężczyzn. Na podstawie wywiadu stwierdzono, że cechują się oni dobrym stanem zdrowia, brakiem nałogów i dobrą kondycją fizyczną. Określony współczynnik masy ciała (BMI) wahał się od 22,9 do 27,7 (tab. 1). Osoby uczestniczące w badaniach reprezentowały pracowników młodych (wiek 22-28 lat), przy czym sześć z ośmiu badanych osób posiadało nadwagę. Oznacza to, że w analizowanej grupie pilarzy występował ponad dwukrotnie większy odsetek osób z nadwagą (BMI: 25-30) niż obserwowany dla populacji polskiej (34,2% według danych WHO; <http://apps.who.int/bmi>). Obserwacje przeprowadzono podczas pozyskiwania drewna w drzewostanach świerkowych i jodłowych o I i II klasie bonitacji. Pierśnica pozyskiwanych drzew wahała się od 20 do 35 cm przy długości w granicach 18-20 m. Prace realizowano w systemie drewna długiego na powierzchniach o nachyleniu umiarkowanym (18-30°).

Przeprowadzone analizy statystyczne obejmowały prezentację statystyk pozycyjnych oraz poszukiwanie zależności między zmiennymi. Ze względu na zaangażowanie podczas wykonywania operacji technologicznych dużych grup mięśniowych założono liniowość modelu regresji.

Zależność liniową zmiennej objaśnianej  $Y$  od zmiennej objaśniającej  $X$  oraz składnika losowego  $\varepsilon$  możemy przedstawić w formie macierzowej  $Y=X\beta+\varepsilon$ . Przyjmuje się, że model jest poprawny, jeżeli zmienna składnika losowego  $\varepsilon$  nie zawiera dodatkowych informacji. Warunek ten spełniony jest przy spełnieniu trzech założeń: 1) wartość oczekiwana składnika losowego powinna być równa zero, 2) wariancja składnika losowego powinna być stała, 3) składniki losowe są niezależne.

**Tabela 1.**

Charakterystyka osób biorących udział w doświadczeniu

Description of workers participated in experiment

Wiek [lata]	Wzrost [cm]	Masa [kg]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	Spoczynkowa częstość pracy serca [bpm]	Liczba mierzonych cykli	Czas pracy w zawodzie [lata]
22	182	76	22,9	67	4	2
24	170	80	27,7	65	4	3
24	165	72	26,4	64	4	3
25	172	78	26,4	68	4	5
26	190	95	26,3	66	3	2
28	175	68	22,2	67	4	5
28	180	85	26,2	69	4	6
28	170	76	26,3	66	4	6

## Wyniki i dyskusja

Wyznaczona częstość akcji serca podczas pracy stanowi łączną wartość częstości spoczynkowej oraz przyrostu wartości ze względu na: dynamiczną pracę mięśni, obciążenie statyczne, termiczne, psychiczne oraz inne wynikające m.in. z efektu respiracyjnego czy też odwodnienia. Podczas badań eliminowano czynniki mogące podnieść częstotliwość pracy serca, w tym m.in. spożycie kawy, herbaty, odwodnienie. Badania przeprowadzono w okresie wczesnej wiosny i późnej jesieni przy temperaturze otoczenia wahającej się od  $-3^{\circ}\text{C}$  do  $12^{\circ}\text{C}$ .

Uzyskane wartości średnie (tab. 2) obejmowały zakres częstości akcji serca od 83 do 147 bpm oraz średni efektywny wydatek energetyczny w zakresie 8,7-37,6 kJ/min. Zastosowana metodologia prac terenowych pozwala przyjąć, że w organizmach osób uczestniczących w badaniach w przeważającej mierze następowały aerobowe procesy uwalniania energii na wykonanie pracy [Pettitt i in. 2007], natomiast ewentualny dług tlenowy równoważony był zmianą intensywności pracy. Statystyki pozycyjne zbiorów danych (tab. 2) wskazują, że krzywe rozkładu analizowanych cech charakteryzuje spłaszczenie oraz asymetria lewostronna zbioru częstości uderzeń serca w stosunku do rozkładu normalnego.

Wyniki badań Keytla i in. [2005] pokazują, że zwiększona dokładność predykcji wydatkowanej energii na podstawie uderzeń serca wymaga uwzględnienia zmiennych antropometrycznych (wiek, wzrost, masa ciała, BMI). Wstępna analiza modelu regresji liniowej wykazała jednak, że w przypadku prezentowanych danych cechy te okazały się nieistotne statystycznie. Dlatego też w dalszej części analiz skoncentrowano się na wykazaniu bezpośredniego związku częstości akcji serca z efektywnym wydatkiem energetycznym wyrażonym w kJ/min oraz poprawności estymowanych parametrów modelu. Omawianą zależność liniową  $y=0,3064 \cdot x - 13,028$  przedstawia rycina 1. Parametry modelu możemy uznać za istotne ( $p=0,0000$  dla parametru skali oraz  $p=0,089$  dla parametru przesunięcia), akceptując 10% wartość błędu statystycznego. Prezentowany model charakteryzuje 43% ilości wyjaśnionej wariancji z błędem standardowym estymacji wynoszącym 6,05 kJ/min.

Analiza reszt wskazuje na lekką prawostronność residuum oraz brak obciążenia, czego potwierdzeniem jest zerowa wartość oczekiwana reszt. Przeprowadzony test normalności Shapiro-Wilka ( $W=0,9816$ ,  $p=0,8552$ ) nie wykazał istotności statystycznej, a tym samym możemy przyjąć losowy charakter błędów oszacowania. Kolejnym krokiem weryfikacji było sprawdzenie korelacji między wartością przewidywaną a wartością resztową (ryc. 2). Stwierdzono brak takiej zależności, co w konsekwencji uwiarygodnia poprawność uzyskanych parametrów. Ostatnim etapem analizy

**Tabela 2.**

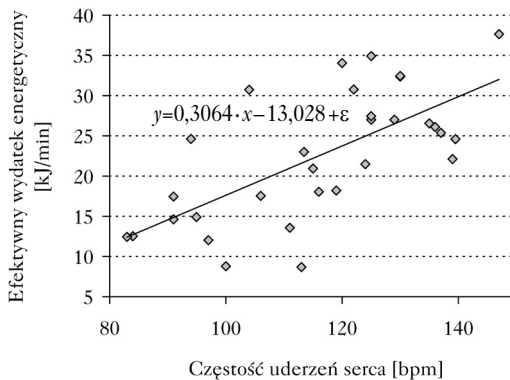
Statystyki pozycyjne analizowanych zbiorów danych

Order statistics of the analyzed data sets

	Wydatek energetyczny netto [kJ/min]	Częstość uderzeń serca [bpm]
Liczebność	31	31
Średnia	22,5	116
$P(x_1 \leq x \leq x_2)=0,95$	19,56; 25,46	109,5; 122,5
Mediana	23,0	119
Minimum-maksimum	8,7-37,6	83-147
Q1-Q3	14,9-27,5	100-130
Odchylenie standardowe	8,1	17,7
Skośność	-0,0047	-0,2838
Kurtoza	-0,9524	-0,9033

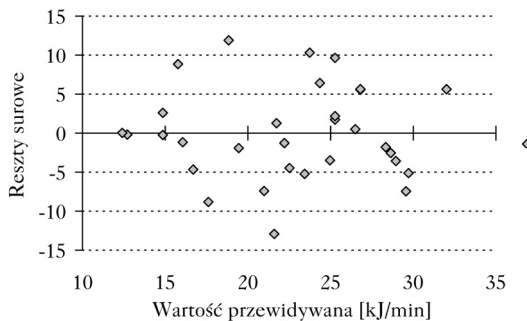
była identyfikacja wartości odstających mogących istotnie wpłynąć na oszacowane parametry modelu regresji. Analizę przeprowadzono, obliczając odległości Cooka, które wskazują różnicę między wyznaczoną wartością parametru  $\beta$  a wartością otrzymaną przy wyłączeniu danego przypadku z obliczeń. Wyznaczone odległości (ryc. 3) charakteryzuje zbliżony rząd wielkości. Zakładając arbitralne kryterium, że odległość Cooka nie powinna przekraczać 0,1379, możemy przyjąć, że nie zidentyfikowano przypadków mogących istotnie wpłynąć na obciążenie współczynników równania regresji [Kopczewska i in. 2009].

Zależność uderzeń serca (HR) od wydatkowanej efektywnej energii stanowi indywidualną charakterystykę osób badanych [Stampfer 1996]. W analizowanym przypadku podjęto próbę jej określenia podczas badań terenowych z wykorzystaniem pośrednich metod pomiaru wydatku energetycznego (miernika wydatku energetycznego MWE-1). Podjęty proces pomiarowy możemy



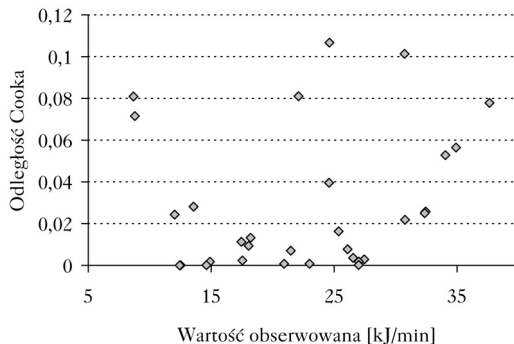
Ryc. 1.

Wydatek energetyczny względem częstości uderzeń serca  
Relationship between energy expenditure and heart rate



Ryc. 2.

Reszty względem wartości przewidywanych  
Residuals variation for predicted values



Ryc. 3.

Odległość Cooka wartości resztowych  
Cook's distance for residuals

określić mianem pomiarów o charakterze kalibrowanym w warunkach terenowych, zmierzających do określenia przyrostu wydatkowanej energii dla pojedynczego uderzenia serca. Chociaż wstępne analizy nie pozwoliły na ustalenie istotnego statystycznie wpływu cech antropometrycznych (wiek, wzrost, masa ciała, BMI) osób uczestniczących w doświadczeniu na wielkość wydatku energetycznego, to jednak uzyskany współczynnik korelacji Pearsona  $r=0,67$  należy uznać za wysoki. Scott i Christie [2004], analizując w warunkach kontrolowanych skład chemiczny wydychanego przez pracowników powietrza, otrzymali wartości w zakresie od 0,49 do 0,69. Wyższe współczynniki korelacji (ponad 0,9) uzyskiwane są podczas testów wydolnościowych [Keytel i in. 2005] na ergometrze rowerowym dla ustalonych warunków obciążenia zewnętrznego, dlatego też otrzymany wynik należy uznać za satysfakcjonujący.

Uzyskana w przeprowadzonych badaniach zależność obejmuje grupę pracowników młodych (22-28 lat) i może być nieadekwatna w przypadku pracowników z innych grup wieku [Hagen i in. 1993]. Prezentowane w pracy parametry regresji wskazują na wyższe wartości niż te, które występują w dostępnych wzorach prezentowanych w pracy Makowiec-Dąbrowskiej [1999]. Dla wytrenowanych mężczyzn przyjmuje się następujące równanie:  $E=0,14 \cdot HR-7,23$ . Bardziej zbliżone są natomiast uzyskane parametry równania do formuły zaproponowanej przez Scott i Christie [2004]:  $E=0,26 \cdot HR-6,42$ . Zdaniem autorów analiza częstości akcji serca może być stosowana w przypadku mniejszych wymagań dokładności oszacowania. Jednakże zastosowanie monitora pracy serca oraz metody pamiętnikowej, polegającej na notowaniu głównych czynności, umożliwiają analizę obciążenia zarówno pracą, jak i życiem pozazawodowym [Shephard i in. 2012]. W przypadku zastosowania przenośnego miernika wentylacji płuc czas pomiaru zredukowany jest okresowym zalewaniem skroploną parą wodną lub fizjologiczną wydzieliną przepływomierza turbinowego, co może być przyczyną błędów systematycznych, a tym samym różnic uzyskanych wartości pomiarowych. Monitoring pracy serca pozwala ponadto na ustalenie czasu odnowy (restytucji), dlatego wykorzystywany jest do określenia tzw. granicy trwałej wydolności pracowników. Umiejętna analiza tzw. rezerwy HR wykorzystywana jest do określenia uciążliwości pracy w przypadku zastosowania różnorodnych rozwiązań technicznych i zmian organizacyjnych [Stampfer i in. 2010]. Umożliwia sformułowanie usprawnień, dzięki którym można optymalizować wysiłek fizyczny i zapewnić odpowiednią wydajność pracy [Bugajska i in. 2011]. Ze względu na rytm fizjologiczny należy oczekiwać zróżnicowanego poziomu obciążeń w cyklu dobowym pracy w leśnictwie [Sowa i in. 2007]. Dlatego też stały monitoring akcji serca, który można przeprowadzić w dłuższym horyzoncie czasowym, stanowi doskonałe uzupełnienie analizy obciążenia pracowników. Konsekwencją prostoty i komfortu przeprowadzenia badań terenowych może być jednak potrzeba akceptacji większych wartości błędów, zwłaszcza w przypadku ograniczonej możliwości określenia parametrów wydolnościowych pojedynczych pracowników. Badania tego typu, zdaniem autorów, pozwalają ponadto wyeliminować wpływ intensywności pracy (wynikającej np. z presji czasu, czynników motywacyjnych) na oszacowaną wartość wydatkowanej energii efektywnej, która przy zastosowanej metodzie respiracyjnej w warunkach pracy może dochodzić nawet do 20%.

## Wnioski

- ✦ Wykazany silny związek liniowy pomiędzy ilością energii efektywnej wydatkowanej podczas pracy a częstością akcji serca umożliwia oszacowanie kosztu energetycznego pracy operatorów maszyn leśnych.
- ✦ Zastosowanie respiracyjnych prób terenowych umożliwiło oszacowanie poszukiwanych parametrów regresji. Jednak potrzeba akceptacji większego (10%) błędu statystycznego dla parametru

przesunięcia wskazuje na duże zróżnicowanie zmiennych nawet w analizowanej grupie młodych pracowników. Wpływ cech fizycznych osób badanych przy ograniczonej liczbie replikacji okazał się nieistotny.

- ✦ Regresja przedstawiająca zależność efektywnej wydatkowanej energii od częstości uderzeń serca stanowi indywidualną charakterystykę osób badanych. Należy się jednak liczyć z faktem, że wraz z wiekiem maleje maksymalny pułap tlenowy i oszacowanie może być tymczasowe.
- ✦ Zasób informacji zawartej w przebiegu akcji serca wskazuje na dużą przydatność metody telemetrycznej w ogólnej ocenie uciążliwości pracy, przede wszystkim w określeniu czasu odnowy będącego wskaźnikiem poziomu zmęczenia pracowników, a tym samym w możliwości regulacji obciążenia pracą.

## Podziękowania

Autorzy niniejszego opracowania składają serdeczne podziękowania na ręce Panów: Włodzimierza Grzebieniowskiego z Z.U.P. „WRZOS” S.C. z siedzibą w Tarnowie, Andrzeja Paszendy z P.P.U.H. „ZUPIL” z siedzibą w Rudach Raciborskich oraz wszystkich pracowników zaangażowanych w prace terenowe za profesjonalne podejście do współpracy na linii nauka-praktyka, wyrozumiałość, cierpliwość i wydatną pomoc w zorganizowaniu oraz przeprowadzeniu badań.

## Literatura

- Bugajska J., Makowiec-Dąbrowska T., Bortkiewicz A., Gadzicka E., Marszałek A., Lewandowski Z., Konarska M. 2011. Physical Capacity of Occupationally Active Population and Capability to Perform Physical Work. *International Journal Of Occupational Safety And Ergonomics* 17 (2): 129-138.
- Fibiger W. 1978. Obciążenie na stanowiskach pracy i wydolność fizyczna. Instytut Wydawniczy CRZZ, Warszawa.
- Grzywiński W. 2004. Energy load of workers employed at timber harvesting. *EJPAU* 7, 2.
- Grzywiński W. 2009. Energy expenditure in some silvicultural works. *EJPAU* 12, 4.
- Hägen K. B., Vik T., Myhr N. E., Opsahl P. A., Harms-Ringdahl K. 1993. Physical workload, perceived exertion, and output of cut wood as related to age in motor-manual cutting. *Ergonomics* 36 (5): 479-488.
- Keytel L. R., Goedecke J. H., Noakes T. D., Hiiloskorpi H., Laukkanen R., van der Merwe L., Lambert E. V. 2005. Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise. *Journal of Sports Sciences* 23 (3): 289-297.
- Kopcewska K., Kopcewski T., Wójcik P. 2009. Metody ilościowe w R. Aplikacje ekonomiczne i finansowe. CeDeWu, Warszawa.
- Makowiec-Dąbrowska T. 1999. Fizjologia pracy. W: Induski J. A. [red.]. Higiena pracy. Oficyna Wydawnicza IMP, Łódź.
- Pettitt R. W., Pettitt C. D., Cabrera C. A., Murray St. R. 2007. A theoretical method of using heart rate to estimating energy expenditure during exercise. *Int. Jour. Sports Science & Coaching* 2 (3): 319-327.
- PN-EN ISO 8996. 2005. Ergonomia środowiska termicznego. Określenie tempa metabolizmu.
- Scott P. A., Christie C. J. 2004. An indirect method to assess the energy expenditure of manual labourers in situ. *S. Afr. J. Sci.* 100 (11-12): 694-698.
- Shephard R. J., Aoyagi Y. 2012. Measurement of human energy expenditure, with particular reference to field studies: an historical perspective. *European Journal Of Applied Physiology* 112 (8): 2785-2815.
- Sowa J. M., Kulak D., Leszczyński K., Szewczyk G. 2007. Związki struktury dnia roboczego z fizjologiczną gotowością do pracy na stanowisku operatora pilarki spalinowej. *Prace z Zakresu Nauk Rolniczych i Leśnych PTPN* 101: 205-216.
- Stampfer K. 1996. Belastungs- und Beanspruchungs-ermittlung bei verschiedenen mechanisierten forstlichen Arbeitssystemen. Band: 3, Universität für Bodenkultur, Wien, Schriftenreihe des Instituts für Forsttechnik.
- Stampfer K., Leitner T., Visser R. 2010. Efficiency and ergonomic benefits of using radio controlled chokers in cable yarding. *Croatian Journal of Forest Engineering* 31 (1): 1-10.
- Toupin D., LeBel L., Dubeau D., Imbeau D., Bouthillier L. 2007. Measuring the productivity and physical workload of brushcutters within the context of a production-based pay system. *Forest Policy And Economics* 9 (8): 1046-1055.

**SUMMARY****Use of heart rate monitor in assessing the net energy expenditure during motor-manual cutting**

Timber harvesting works are to a large extent connected with performing hard physical labour. 95% of timber harvesting in Poland is carried out by means of motor-manually technologies. This implies that 33.7 million m<sup>3</sup> of the raw material are harvested with the use of a chainsaw. The main goal of this study was determining the relation between the heart rate and the net energy expenditure defined by respiratory method on field study. The scope of the study was restricted to the work of chainsaw operators aged 22-28, performing hard physical labour. The research involved dynamic labour with temporary elements of static load of men with highest physiological efficiency during which the aerobic processes transformation rate was determined by heart rate analysis as well as respiratory method (lung ventilation – air flow measurement) consisting in defining the amount of consumed oxygen. Research was conducted with the temperature range from –3°C to 12°C.

Conducted calculations pointed out to a strong linear correlation between analysed attributes ( $r=0.67$ ). Obtained regression coefficient (fig. 1) characterized a group of young workers (aged 22-28), however, indicates a larger increase in value as compared to the available simplified formulas. The established strong linear relationship between the amount of net energy spent during labour and the heart rate allows estimating the work energy cost of the forest machines operators and the application of the respiratory field tests improves the estimation value. The range of information included in the heart rate points to high usefulness of the telemetric method in a general assessment of a labour heaviness, mostly in specifying the recovery time which depicts the level of a workers tiredness and thus giving the opportunity to regulate work load.