

Porównanie metod określania wydatku energetycznego na przykładzie leśnictwa

Comparing methods of energy expenditure estimation using forestry as an example

Witold Grzywiński*, Piotr S. Mederski, Mariusz Bembenek

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Leśny, Katedra Użytkowania Lasu,
ul. Wojska Polskiego 71A, 60–625 Poznań

*tel. +48 61 8487588, fax +48 61 8487755, e-mail: witold.grzywinski@up.poznan.pl

Abstract. In this paper the values of energy expenditure obtained with estimative methods (tables of energy expenditure, Lehmann's method) were compared to the data obtained with a method based on pulmonary ventilation measurements. Thereby, the usefulness of estimative methods for determining energy expenditure on work stations in forestry was tested.

We compared energy expenditures for 30 forestry work stations within which 59 different activities were distinguished. For each activity the energy expenditure was determined utilizing the three following methods: pulmonary ventilation measurement, tables of energy expenditure and Lehmann's method.

The percentage error in energy expenditure for particular activities determined with tables ranged from -44.47% to 42.31%. The highest representation of error value (52.8%) varied between -19.9% and 5.0%. The error in energy expenditure estimation determined with Lehmann's method is characterized by a smaller variability ranging from -31.35% to 34.13%. The highest density of error values was found in the range from -4.9% to 10.0%, which comprises 44.1% of the results. To conclude, the use of tables resulted in an underestimation of the energy expenditure value for 64.1% of activities, whereas the use of Lehmann's method resulted in an underestimation in 49.1% of the cases.

Key words: energy expenditure, comparison of methods, forestry

1. Wstęp

Wydatek energetyczny (*WE*) pracy zawodowej jest wielkością służącą do oceny obciążenia pracą fizyczną. Powszechnie wykorzystywana jest w tym celu metoda gazometryczna (kalorymetrii pośredniej) bazująca na wielkości zużycia tlenu. Jest to metoda wiarygodna, jednak wymaga zastosowania specjalistycznej aparatury pomiarowej. W praktyce przemysłowej do pomiaru *WE* stosuje się często uproszczoną wersję metody kalorymetrii pośredniej, a mianowicie pomiar wentylacji płuc, czyli objętości wydychanego lub wdychanego powietrza (Koradecka, Bugajska 1998).

Określając wydatek energii, w przypadku braku możliwości zastosowania metod pomiarowych, można

posiłkować się metodami szacunkowymi (metodami tabelaryczno-chronometrażowymi): zestawieniami tabelarycznymi oraz metodą Lehmana. W obu metodach w celu oszacowania obciążenia energetycznego zmiany roboczej należy przeprowadzić fotografię dnia pracy i ustalić udział poszczególnych czynności roboczych.

W metodzie zestawień tabelarycznych wykorzystuje się dostępne w literaturze wielkości *WE* z opublikowanych dotychczas wyników badań. Zestawienia *WE* w leśnictwie zawierają prace m.in. Jakubowskiego (1973), Fibigera (1976), Fibigera i Rogozińskiego (1977), Józefaciuka i Nowackiej (1993) oraz Grzywińskiego (2007). Korzystając z tabel, należy pamiętać o możliwości występowania znacznych różnic wynikających m.in. z postępu technicznego, tempa pracy, wielkości

przemieszczanych ciężarów, organizacji pracy, warunków terenowych i meteorologicznych itp.

W metodzie Lehmana jednostkowy wydatek energii dla poszczególnych czynności ustala się dwuetapowo. W pierwszym etapie dokonuje się oceny pozycji ciała podczas pracy i na podstawie wartości tabelarycznych określa się WE , wynikający z utrzymania określonej pozycji. W etapie drugim na podstawie analizy czynności roboczych ocenia się główne grupy mięśni zaangażowanych w ich wykonywanie oraz intensywność wysiłku. Następnie, wykorzystując kolejną tabelę, ustala się wydatek energii związany z wykonywaniem danej czynności. Koszt energetyczny netto pracy jest sumą wyników uzyskanych w obu etapach (Lehmann 1966). Należy pamiętać, że tabele dotyczą kosztu energetycznego pracy mężczyzn. W przypadku kobiet należy wartości z tabel przemnożyć przez współczynnik 0,80–0,85. Zmodyfikowana metoda Lehmana jest wykorzystywana do określania tempa metabolizmu związanego z pozycją ciała, rodzajem pracy i ruchem ciała, odniesionych do intensywności pracy (PN-EN ISO 8996:2005).

Według różnych autorów stosowanie metod tabelaryczno-chronometrycznych pozwala na określenie WE z dokładnością do ok. 10–20% (Konarska 1985; Koradecka, Sawicka 1987; Rogoziński 1988; Pałka 1990; Dębowski, Spioch 1992). Sowa i Kulak (1999), analizując kilka czynności z zakresu pozyskania drewna, stwierdzili duże wartości błędów szacunkowego określania wydatku energii, dochodzące prawie do 74%. Według autorów metoda zestawień tabelarycznych daje znacznie większe błędy niż metoda Lehmana, prowadząc do zawyżania WE poszczególnych czynności oraz znacząco zmieniając obraz dziennego obciążenia pracą poprzez kumulację wartości wydatku energii dla kolejnych czynności wykonywanych na stanowisku roboczym.

Celem niniejszej pracy jest skonfrontowanie prostych w zastosowaniu metod szacowania WE z danymi uzyskanymi metodą opartą na pomiarze wentylacji płuc i ocena przydatności metod szacunkowych do określania obciążenia energetycznego na stanowiskach pracy w leśnictwie.

2. Metody badań

Porównanie wielkości WE przeprowadzono dla 30 prac leśnych reprezentujących podstawowe działy gospodarki leśnej (hodowlę, ochronę i użytkowanie lasu). W analizowanych pracach wyróżniono 59 czynności, dla których ustalono wartość WE trzema metodami: pomiarową – pomiar wentylacji płuc (miernik wydatku energii $MWE-1$), zestawień tabelarycznych i Lehmana.

Przy analizie wyników jako podstawową przyjęto wartość WE otrzymaną metodą pomiaru wentylacji płuc za pomocą miernika wydatku energetycznego $MWE-1$. Bazuje ona na istnieniu prawie liniowej zależności pomiędzy wielkością zużycia tlenu podczas wysiłku a wielkością minutowej wentylacji płuc (Kozłowski, Nazar 1999). Pomiar wentylacji płuc i wydatku energetycznego prowadzono zgodnie z metodyką zalecaną w literaturze (Koradecka, Bugajska 1998; Makowiec-Dąbrowska et al. 2000).

Dla wielkości WE określonych metodami Lehmana i zestawień tabelarycznych obliczono błąd procentowy wtórny (P_{we}) według wzoru (Sowa, Kulak 1999):

$$P_{we} = \frac{WE_{LT} - WE_P}{WE_P} \times 100\%$$

gdzie:

WE_{LT} – wydatek energetyczny określony metodą Lehmana lub zestawień tabelarycznych,

WE_P – wydatek energetyczny określony metodą pomiarową.

3. Wyniki badań

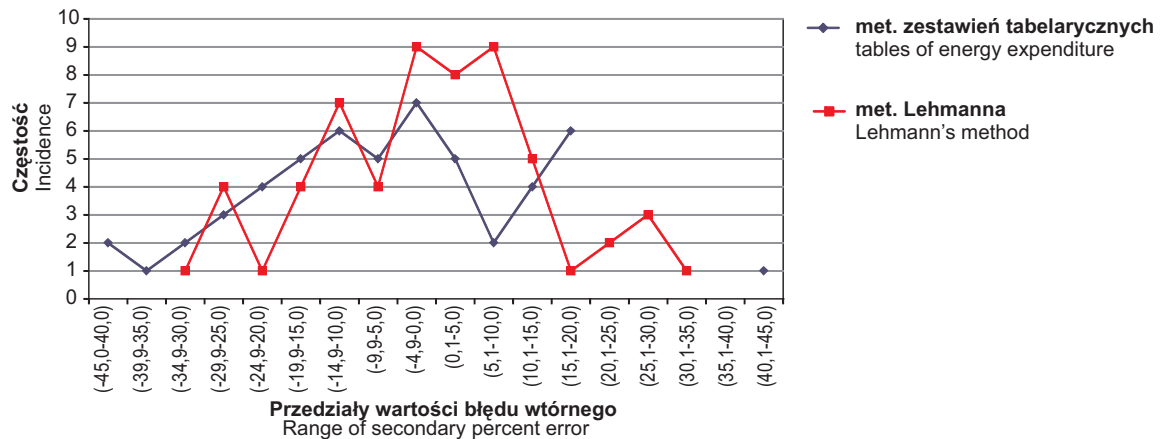
Błąd określenia wydatku energetycznego dla czynności roboczych

Wartość błędów procentowych wtórnych WE dla poszczególnych czynności, określonego metodą zestawień tabelarycznych wahała się w granicach od -44,47 do 42,31% (ryc. 1). Błąd oceny WE określonego za pomocą metody Lehmana charakteryzował się mniejszą zmiennością – od -31,35 do 34,13%. Różnice wartości średnich błędów wtórnych analizowanych metod różniły się istotnie ($p=0,048$).

Największą reprezentacją wartości błędów (52,8%) mieściła się w przedziale od -19,9 do 5,0%. Największe zagęszczenie wartości stwierdzono dla przedziału od -4,9 do 10,0%, który skupia 44,1% wyników (ryc. 1). Stosowanie zestawień tabelarycznych powodowało заниżanie wartości wydatku energii dla 64,1% czynności, a metody Lehmana dla 49,1%.

Błąd określenia wydatku energetycznego dla zmiany roboczej

Zestawienie wartości błędów wtórnych WE dnia pracy (8 h) na podstawie zestawień tabelarycznych i metody Lehmana przedstawia tabela 1. Wartości błędów wtórnych oszacowania WE zmiany roboczej dla metody zestawień tabelarycznych mieściły się w przedziale od -33,31 do 33,31%. Dla metody Lehmana przedział wartości był mniejszy i wynosił od -17,67 do 26,31%.



Rycina 1. Wykres funkcji gęstości rozkładu procentowego błędu wtórnego [%] dla zastosowanych metod określania wydatku energetycznego

Figure 1. Graph of density function of secondary percent error [%] for applied methods of energy expenditure estimation

Tabela 1. Błąd procentowy wtórny [%] wydatku energetycznego netto zmiany roboczej określonego zastosowanymi metodami

Table 1. Secondary percent error [%] of net energy expenditure on a work shift determined by applied methods

Stanowisko lub rodzaj pracy Workstation or kind of work		Metoda zestawień tabelarycznych Tables of energy expenditure [%]	Metoda Lehmana Lehmann's method [%]
Sadzenie pod kostur IBL Planting with standard dibble	kosturujący / planter	1,09	8,23
	pomocnik z sadzonkami / helper	-22,49	26,11
Sadzenie pod kostur Getynga (rowerkowy) Planting with Getynga dibble	kosturujący / planter	14,10	22,38
	pomocnik z sadzonkami / helper	-22,70	26,31
Sadzenie pod kostur Huffa Planting with Huffa dibble	kosturujący / planter	33,31	20,84
	pomocnik z sadzonkami / helper	-22,40	25,00
Ręczne wykonywanie talerzy Manual soil scarification		-8,02	4,44
Sadzenie pod szpadel Planting with spade	szpadlowy / planter	6,09	6,21
	pomocnik z sadzonkami / helper	-22,80	7,01
Ręczne wykaszanie uprawy Manual weeding with scythe		5,69	-1,40
Mechaniczne wykaszanie uprawy Motor-manual weeding		-	-7,15
Czyszczenie wczesne Early cleaning with machete		10,41	3,18
Grodzenie uprawy Enclosing forest plantation	pracownik / main worker	-	-3,19
	pomocnik / helper	-	-16,22
Zabezpieczanie pniaków preparatem PgIBL Treating stumps by PgIBL		-	-3,74
Wywieszanie budek lęgowych dla ptaków Hanging birds boxes		-	-7,46
Czyszczenie późne Late cleaning with chainsaw		4,20	0,99

Stanowisko lub rodzaj pracy Workstation or kind of work		Metoda zestawień tabelarycznych Tables of energy expenditure [%]	Metoda Lehmana Lehmann's method [%]
Trzebież wczesna / technologia ręczno-maszynowa Early thinning / motor-manual technology	drwal / feller	-10,65	-5,78
	pomocnik drwala feller's assistant	-14,00	-1,14
	zrywkarz (ciągnik C-330) / skidder-driver of farm tractor Ursus C-330	-27,55	5,61
Trzebież późna / technologia ręczno-maszynowa Late thinning / motor-manual technology	drwal / feller	-8,58	-3,21
	pomocnik drwala feller's assistant	-7,99	1,37
	zrywkarz (LKT-81) skidder-driver of LKT-81	-8,78	-7,03
	zrywkarz konny horse skidder (carter)	-28,68	-1,82
Trzebież późna / technologia maszynowa Late thinning / full-machine technology	operator harwestera harvester operator	5,13	4,54
	operator forwardera forwarder operator	-33,31	-17,67
Trzebież późna / technologia maszynowa z międzypolem Late thinning / full-machine technology with a mid-field	operator harwestera harvester operator	4,59	4,14
	operator forwardera forwarder operator	-32,03	-17,30
	drwal / feller	-2,02	2,07
	pomocnik drwala / feller's assistant	1,60	-4,91

Metoda zestawień tabelarycznych prowadziła do zaniżenia ($x=-7,43\%$; $p=0,014$) wartości WE zmiany roboczej, natomiast metoda Lehmana do nieznacznego zawyżenia ($x=2,35\%$; $p=0,014$). Metoda zestawień powodowała zaniżenie wielkości wydatku energetycznego dla 56,0%, natomiast metoda Lehmana dla 46,7% prac.

4. Dyskusja

Przeprowadzone badania wskazują, że szacowanie WE poszczególnych czynności roboczych może prowadzić do popełnienia procentowego błędu wtórnego w granicach od -44 do 42% w metodzie zestawień tabelarycznych i od -31 do 34% w przypadku metody Lehmana. Dla większości czynności metoda bazująca na zestawieniach tabelarycznych daje wyniki zaniżone, w granicach do -20%, natomiast metoda Lehmana w większości przypadków powoduje nieznaczące zaniżenie (do -5%) lub zwiększenie (do 10%) wartości WE w porównaniu z pomiarem wentylacji płuc. Stwierdzono częściowe znoszenie się różnic wydatku energii poszczególnych czynności i zmniejszenie wartości procentowego błędu wtórnego WE zmiany roboczej.

Tak znaczne różnice w poziomie WE uzyskanego metodą opartą na pomiarze wentylacji płuc i oszacowanego na podstawie zestawień tabelarycznych mogą wynikać z faktu, że literaturowe zestawienia wartości wydatku są niepełne i pochodzą z okresu kilkudziesięciu lat. Dla części czynności wykorzystano wielkości podawane dla czynności o podobnym charakterze, co może prowadzić do zwiększenia błędu. Dodatkowo, wartości spotykane w literaturze podawane są w sposób niejednorodny, jako wydatek energetyczny netto lub brutto (z przemianą podstawową), dla osób standardowych lub bez określenia parametrów wzrostu i masy ciała oraz bez podania informacji odnośnie tempa pracy i warunków mikroklimatycznych. Nie bez znaczenia jest również możliwość wystąpienia różnic, wynikających ze specyfiki pracy w różnych gałęziach przemysłu oraz ze zmian technologicznych, jakie zaistniały wskutek postępu technicznego (Koradecka, Bugajska 1998; Mako-wiec-Dąbrowska et al. 1994, 2000).

W przypadku stosowania metody Lehmana największym źródłem błędu może być nieprawidłowe zaklasyfikowanie grup mięśniowych zaangażowanych w wykonywanie czynności oraz błędne określenie stopnia intensywności wysiłku. Istotny wpływ na poziom

błędu ma również tempo pracy (Makowiec-Dąbrowska 1988; Makowiec-Dąbrowska et al. 2000).

Wykorzystywanie do określania *WE* podawanych w literaturze zestawień tabelarycznych powoduje jego заниżanie, zarówno dla poszczególnych czynności roboczych, jak i dla całego dnia pracy. Metoda Lehmana pozwala na zachowanie większej dokładności, co przemawia za jej wykorzystaniem w przypadku braku możliwości pomiaru zużycia energii. Metoda ta może być w dalszym ciągu wykorzystywana do oceny *WE* na stanowisku pracy w celu jego usprawnienia, oceny metabolizmu dla norm mikroklimatycznych czy weryfikacji zasad przyznawania posiłków regeneracyjnych. W odniesieniu do wykorzystania tej metody do określenia zasadności przyznawania posiłków regeneracyjnych należy pamiętać o możliwości popełnienia błędu w zakresie do 20%. Stąd w przypadkach wyników granicznych należy wykonać badanie obciążenia energetycznego metodą pomiarową.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

Metoda zestawień tabelarycznych *WE* powoduje заниżanie wyników wydatku energetycznego poszczególnych czynności roboczych.

Metoda Lehmana daje mniejszy poziom błędów przy określaniu *WE* na stanowisku pracy.

Stwierdzono częściowe znoszenie się różnic wydatku energii poszczególnych czynności i zmniejszenie wartości procentowego błędów wtórnego *WE* zmiany roboczej przy zastosowaniu obu metod szacowania obciążenia energetycznego.

Podziękowania

Badania zostały zrealizowane w ramach projektu badawczego zleconego przez Generalną Dyрекcję Lasów Państwowych pt. "Opracowanie charakterystyk prac leśnych w zakresie ich bezpieczeństwa, szkodliwości i uciążliwości".

Literatura

- Dębowski M.T., Spioch F.M. 1992. Chronometrażowo-tabelaryczna metoda oceny wydatku energetycznego. *Zastosowania Ergonomii*, 3: 67–77.
- Fibiger W. 1976. Ochrona zdrowia pracowników leśnictwa. Warszawa, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 178 s.

- Fibiger W., Rogoziński A. 1977. Koszt energetyczny pracy. Warszawa, Instytut Wydawniczy CRZZ, 103 s.
- Grzywiński W. 2007. Ergonomia i ochrona pracy w leśnictwie. Przewodnik do ćwiczeń. Poznań, Wyd. AR w Poznaniu, 128 s., ISBN 9788371604546.
- Jakubowski R. 1973. Leśnictwo, w: Charakterystyka higieniczna niektórych stanowisk pracy w rolnictwie i leśnictwie (red. W. Hołubut). Warszawa, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, s. 149–169.
- Józefaciuk J., Nowacka W. 1993. Ćwiczenia z ergonomii i ochrony pracy. Warszawa, Wyd. SGGW, 68 s. ISBN 830002185X.
- Konarska M. 1985. Metody oceny wydatku energetycznego. *Bezpieczeństwo Pracy*, 6: 3–8.
- Koradecka D., Bugajska J. 1998. Ocena wielkości obciążenia pracą fizyczną na stanowiskach roboczych. Warszawa, Centralny Instytut Ochrony Pracy, 143 s. ISBN 838735421X.
- Koradecka D., Sawicka A. 1987. Ocena obciążenia organizmu pracą fizyczną. *Bezpieczeństwo Pracy*, 11: 9–14.
- Kozłowski S., Nazar K. 1999. Wprowadzenie do fizjologii klinicznej. Wyd. III. Warszawa, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 650 s., ISBN 83-200-2328-9.
- Lehmann G. 1966. Praktyczna fizjologia pracy. Warszawa, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 390 s.
- Makowiec-Dąbrowska T. 1988. Zasady oceny obciążenia fizycznego podczas pracy zawodowej. *Zeszyty Metodyczno-Organizacyjne*, 22: 15–53.
- Makowiec-Dąbrowska T., Iżycki J., Radwan-Włodarczyk Z., Koszada-Włodarczyk W. 1994. Poradnik metodyczny oceny obciążenia fizycznego oraz stosowania przerw w pracy. Warszawa, Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej, 71 s.
- Makowiec-Dąbrowska T., Radwan-Włodarczyk Z., Koszada-Włodarczyk W., Józwiak Z.W. 2000. Obciążenie fizyczne – praktyczne zastosowanie różnych metod oceny. Łódź, Instytut Medycyny Pracy, 70 s. ISBN 8388261029.
- Pałka M. 1990. Metabolizm człowieka podczas pracy (proponycja standaryzacji badań). *Bezpieczeństwo Pracy*, 11: 3–6.
- PN-EN ISO 8996: 2005. Ergonomia – Oznaczanie metabolicznej produkcji ciepła. Warszawa, PKN.
- Rogoziński A. 1988. Prosta metoda oceny wydatku energetycznego. *Bezpieczeństwo Pracy*, 11–12: 9–13.
- Sowa J.M., Kulak D. 1999. Analiza wydatku energetycznego pilarza przy wykonywaniu czynności obróbczych związanych ze ścinką i wyróbką drzew, w: Tendencje i problemy mechanizacji prac leśnych w warunkach leśnictwa wielofunkcyjnego. Materiały Symposium Naukowego (red. H. Różański), Poznań 23–24 czerwca 1999. Katedra Mechanizacji Leśnictwa AR, Poznań, s. 165–172.

Wkład autorów

W.G. – pomysł podjęcia prezentowanych badań, przegląd literatury, prowadzenie i analiza danych oraz opieka merytoryczna nad całością tekstu. P.M.S. – prowadzenie badań, zbieranie danych. M.B. – prowadzenie badań, zbieranie danych.