

Masa i elastyczność obuwia, jako ważne ergonomiczne czynniki jego użytkowania

Mass and flexibility of footwear as the crucial ergonomic factors of utility

Ryszard Łuba, Wioletta Serweta*, Zbigniew Olejniczak, Jan Sobczyński
Zakład Obuwia i Morfofizjologii Stopy, Instytut Przemysłu Skórzanego w Łodzi, ul. Zgierska 73, 91-462 Łódź,
*e-mail: w.serweta@ips.lodz.pl

Streszczenie

Zagadnienie ergonomii obuwia wiąże się z oceną efektu, jaki wywołuje elastyczność i jego masa na określone parametry kinematyczne i kinetyczne procesu lokomocji. Okazuje się bowiem, że zarówno masa, jak i sztywność obuwia wpływają na wielość wydatku energetycznego organizmu podczas chodu. Zjawisko to związane jest pośrednio ze zdolnością pochłaniania energii przez spód obuwia. Dodatkowo relacja między ilością energii dostarczonej i rozproszonej podczas cykli obciążania i odciążania przekłada się na poziom wysiłku fizycznego. Zmiany kontrolnych parametrów mechanicznych i metabolicznych, takich jak: długość fazy kontaktu stopy z podłożem, czas i częstość kroków, wartości składowych reakcji podłoża (w szczególności ich maksimum), wielkość pracy mechanicznej organizmu, poziom zużycia tlenu, czy też poziom sprawności organizmu są bezpośrednim następstwem tego zjawiska. W przeprowadzonych badaniach potwierdzono wpływ rodzaju obuwia, czyli takich jego parametrów, jak masa i elastyczność spodu na wielkość wydatku energetycznego.

Summary

The matter of shoe ergonomics is rigidly connected with the effect of shoe mass and flexibility. These variabilities cause influence the value of energy cost of locomotion process. Moreover this phenomenon is associated with an absorptivity of shoe sole. It has been shown, that the relationship between the volume of absorbed and dissipated energy during the loading and unloading cycles is translated into the level of human exertion. This fact may lead to changes in mechanical and metabolic data i.e. contact time, stride duration, stride frequency, ground reaction patterns (specifically the maximum magnitudes of vertical, anterior posterior and medial lateral components), total work, oxygen consumption or net efficiency. In performed studies the influence of shoe mass and elasticity has been confirmed.

Słowa kluczowe: wydatkowanie energetyczne, elastyczność obuwia, masa obuwia, kalorymetria

Key words: energy consumption, footwear elasticity, footwear mass, calorimetry

1. Wstęp

Współczesne obuwie wykonane z udziałem nowoczesnych materiałów (tekstylnych, czy polimerowych) cechuje się często niską masą i znaczną elastycznością. Najczęściej takie cechy dominują w obuwiu sportowym, choć i w przypadku obuwia powszechnego użytku coraz częściej stosuje się najnowsze rozwiązania materiałowe. Nieco inaczej jest w przypadku obuwia do użytku w pracy. Tutaj, ze względu na znaczne obciążenie obuwia, zwłaszcza w przypadku ciężkiej pracy fizycznej lub ekstremalnych warunków otoczenia, stosuje się bardziej wytrzymałe układy materiałowe, nie ulegające szybko zniszczeniu w warunkach ich użytkowania. Takie obuwie jest zwykle znacznie cięższe i bardziej sztywne od innych rodzajów obuwia. Użytkownik zwykle odczuwa to, jako pewne utrudnienie w procesie lokomocji, czuje, że chodzi mu się ciężiej, czyli zużywa więcej energii przy przemieszczaniu się.

Złożoność procesu lokomocji wraz z rodzajem podłoża oraz indywidualnymi preferencjami jego użytkowników sprawiają, że zagadnienie optymalizacji zużycia energii dotyczy szerokiego zakresu różnych czynników takich, jak: ogólny poziom sprawności fizycznej jednostki i związane z tym uwarunkowania fizjologiczne, antropometryczne i biomechaniczne, a także warunki otoczenia [1-4, 10]. Stwierdzono, że zmiana charakterystyk obuwia – w zakresie jego elastyczności (np. sprężystości warstw spodowych obuwia), jak również masy, są ściśle powiązane ze zmianami poziomu zużycia tlenu i wpływają na zmiany aktywności poszczególnych mięśni, zwłaszcza tych, które w sposób najbardziej intensywny pod względem wysiłkowym, biorą udział w procesie lokomocji. W największym stopniu obciążeniu ulegają takie mięśnie, jak: piszczelowy przedni, grupa tylnych mięśni podudzia, mięsień czworogłowy uda, czy grupy mięśni kulszowo - goleniowych. Pełna znajomość tego

zagadnienia oraz jego fizjologicznych, a także mechanicznych uwarunkowań pozwala na optymalizację doboru materiałów konstrukcyjnych obuwia w kierunku redukcji jego niekorzystnego wpływu na zmęczenie mięśni, a tym samym redukcji poziomu konsumpcji tlenu [6-9].

2. Metodyka i obiekt badań

2.1. Badanie elastyczności testowanego obuwia

Badanie elastyczności obuwia polega na określeniu jego zdolności do zginania się w części przodostopia w 2/3 długości podeszwy licząc od piąty pod wpływem przyłożonej siły. Określono to w warunkach normy PN-68/O-91112 (aktualnie wycofana – obecnie stosuje się wymagania normy PN EN-ISO 20344:2012). Według niej wyróżniane są 4 grupy elastyczności obuwia (Tab.1).

Tabela 1. Grupy elastyczności obuwia według normy PN EN-ISO 20344:2012.

Numer grupy	Opór zginania	Grupa elastyczności
<i>I</i>	początkowy opór zginania poniżej 60 N	bardzo elastyczne
<i>II</i>	początkowy opór zginania między 60 a 120 N	elastyczne
<i>III</i>	początkowy opór zginania między 120 a 200 N	szttywne
<i>IV</i>	początkowy opór zginania powyżej 200 N	bardzo sztywne

W monografii [5] przedstawiono wyniki wcześniejszych badań prowadzonych w Instytucie Przemysłu Skózanego w Łodzi. Opisano w niej przeprowadzony eksperyment służący zbadaniu elastyczności obuwia wraz z oceną jego wpływu na bilans energetyczny organizmu. Badanie to przeprowadzono na wyselekcjonowanej grupie dziesięciu mężczyzn o charakterystyce zawartej w tabeli 2 [5].

Tabela 2. Charakterystyka grupy wyselekcjonowanych uczestników badania.

Wybrane charakterystyki	Wartość charakterystyki
wiek	20 – 22 lata
wysokość ciała	171 ± 4 cm
ciężar ciała	70,4 ± 3 kg
pułap tlenowy	średnio 3,6 litr/min

Z kolei materiałem badawczym było 50 par obuwia męskiego, czyli 10 par obuwia w pięciu rodzajach. Elementem różnicującym była konstrukcja, zastosowane materiały na wierzchy i spody oraz obecność elementów ochronnych (podnoski), zwiększających masę obuwia. Naczelnym kryterium wyboru było zróżnicowanie jego masy i elastyczności, stąd też wzięto w badaniach [5] pod uwagę:

- obuwie kontrolne – lekkie i elastyczne, specjalnie zaprojektowane i wykonane do realizacji celu badawczego,
- cztery typy obuwia do użytku w pracy produkcji krajowej i zagranicznej o znacznej masie i zróżnicowanej elastyczności.

Krótką charakterystykę materiałowo – konstrukcyjną badanego obuwia przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Charakterystyka materiałowo – konstrukcyjna badanego obuwia.

Rodzaj obuwia	Materiał wierzchni	Materiał podpodeszwy	Materiał spodowy	Rodzaj podszewki	System montażu
obuwie kontrolne (KT)	skóra naturalna nappa	tekson	styrogum	brak	klejony
obuwie krajowe z ochroną palców (KW1)	skóra naturalna – jucht bydlęcy	skóra naturalna (kark bydlęcy)	krupon (podeszwa + zelówka)	tkanina keper	mieszany: klejony – śrubowany - kołkowany
obuwie krajowe z ochroną palców i podeszwy (KW2)	skóra naturalna jucht bydlęcy	skóra naturalna (kark bydlęcy)	całogumowe	skóra naturalna podszewkowa (świńska)	mieszany: klejony – przyszywany - dublowany
obuwie zagraniczne z ochroną palców (ZW1)	skóra naturalna bukaty bydlęc	sztuczna skóra	całogumowe	tkanina keper skóra naturalna podszewkowa (kozia)	WEM
obuwie zagraniczne z ochroną palców i podeszwy (ZW2)	skóra naturalna jucht bydlęcy	skóra naturalna (kark bydlęcy)	całogumowe	skóra naturalna podszewkowa (kozia)	klejony

W wyniku przeprowadzonych badań laboratoryjnych, analizowane obuwie sklasyfikowano na podstawie uzyskanych wielkości oporu zginania (według PN EN-ISO 20344:2012) do grup elastyczności następująco (Tab. 4):

Tabela. 4. Podstawowe charakterystyki badanego obuwia uzyskane z testu laboratoryjnego.

Rodzaj obuwia	Masa obuwia [g]	Opór zginania [kG]	Grupa elastyczności
KT	220	1,3	I
KW1	850	36,0	IV
KW2	910	14,0	III
ZW1	620	10,2	II
ZW2	880	17,1	III

Istotą badania było ustalenie poziomu średniej wentylacji płuc oraz składu wydychanego powietrza (ilość tlenu w proporcji do dwutlenku węgla) w czasie marszu badanego w ocenianym obuwiu. Próba wysiłkowa składała się z następujących interwałów czasowych:

- I₀ – 20 min odpoczynku w pozycji siedzącej;
- I₁ – marsz na bieżni ruchomej z szybkością 5 km/h w ciągu 5 minut (obciążenie poniżej 30% ogólnej wydolności fizycznej badanego);
- I₂ – marsz na bieżni ruchomej przez kolejne dwie minuty połączone z gromadzeniem wydychanego powietrza w worku Douglasa;

Zmagazynowane wydychane powietrze poddawano obróbce post hoc, w której szacowano:

- objętość powietrza (V_E);

- procentową zawartość O₂ i CO₂ w wydychanym powietrzu, jako procent składu powietrza kontrolnego.

Następnie na podstawie uzyskanych informacji, obliczono za pomocą zmodyfikowanego wzoru Weira (1) ([8], [9]) wysiłkowe natężenie przemiany materii, czyli wydatku energetycznego organizmu w kcal/min.

$$WE(t) = 16.18 \cdot VO_2(t) + 5.02 \cdot VCO_2(t) - 5.99 UN(t),$$

gdzie:

VO₂(t) – jest to poziom konsumpcji tlenu;

VCO₂(t) – jest to poziom emisji dwutlenku węgla;

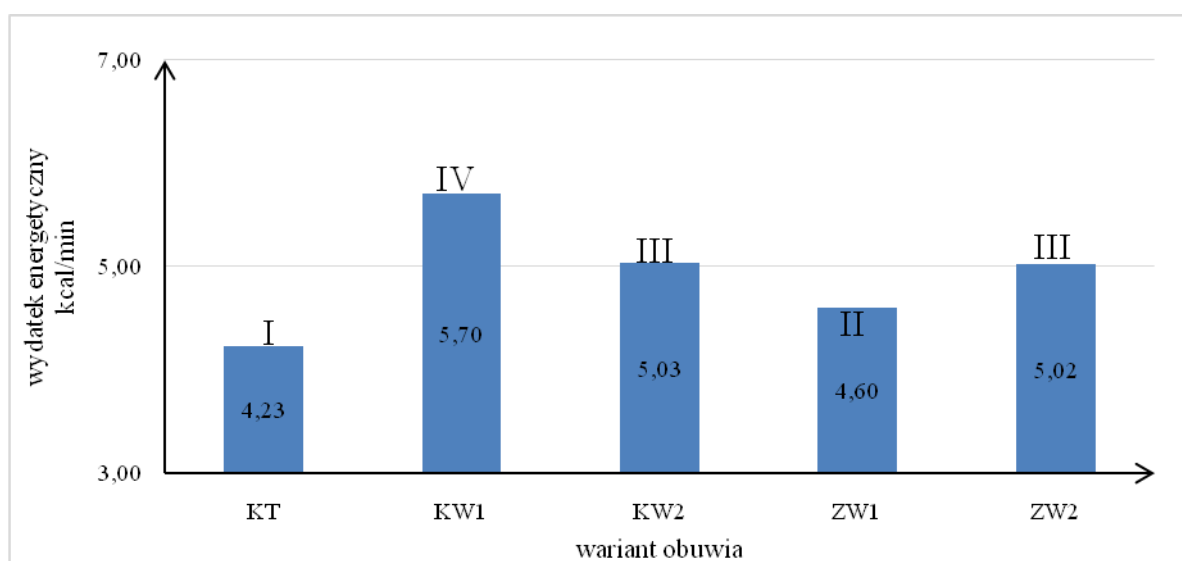
UN(t) – wydatek energetyczny przeznaczony na trawienie pokarmów, składowanie substratów energetycznych i syntezę białek ustrojowych.

Uwzględniając wartość przemiany podstawowej, obliczony wydatek energetyczny pomniejszono o 1,1 kcal/min, celem ustalenia wielkości wydatku energetycznego netto.

Każdy rodzaj obuwia badano trzykrotnie na każdym, spośród 10 respondentów. Oznacza to próbę 150 pomiarów wydatku energetycznego w czasie całego eksperymentu.

3. Rezultaty badań i dyskusja wyników.

W przeprowadzonych badaniach potwierdzono wpływ rodzaju obuwia w zakresie jego masy i elastyczności na wielkość wydatku energetycznego. Rysunek 1 przedstawia wielkość uśrednionego wydatku energetycznego w kcal/min dla poszczególnego rodzaju obuwia.



Rysunek 1. Wydatek energetyczny w kcal/min dla poszczególnych rodzajów obuwia.

Widać więc, że grupa elastyczności i wydatek energetyczny są ściśle od siebie zależne – najmniejszy koszt dla organizmu stanowi obuwie grupy I, a najwyższy obuwie grupy IV. Pozostałe grupy - II i III stanowią wartości pośrednie między nimi.

Celem wykonania kompleksowej analizy dokonano porównania różnic między wielkością wydatku energetycznego dla poszczególnych rodzajów obuwia w odniesieniu do obuwia kontrolnego.

Tabela 5. Różnice bezwzględne w średnich arytmetycznych wydatku energetycznego pomiędzy porównywanymi rodzajami obuwia.

Porównywane rodzaje obuwia	Różnica bezwzględna w kcal/min
KW1-KT	1,48
KW2-KT	0,81
ZW1-KT	0,38
ZW2-KT	0,79
KW1-KW2	0,67
ZW1-ZW2	0,42
KW1-ZW1	1,10
KW2-ZW2	0,01

Na podstawie tabeli 5, stwierdza się, że najbardziej zróżnicowane między sobą były pary: KW1 – KT oraz KW1 – ZW1, gdzie różnica w wartości bezwzględnej przekraczała 1. Z kolei w przypadku pary KW2 – ZW2 istniejąca różnica na poziomie

0,01 kcal/min jest prawie niezauważalna. Można więc wnioskować, że w ogólności dobór obuwia oraz materiałów pozwolił na osiągnięcie istotności statystycznej na żądanym poziomie. Została ona potwierdzona poprzez test t-Studenta dla jednej próby (Tab. 6 i 7). Uzyskane prawdopodobieństwa $p=0,002$ i $p=0,002$ są mniejsze od założonego poziomu ufności $\alpha=0,05$, co oznacza, że istnieje podstawa odrzucenia hipotezy o braku zależności między wydatkiem energetycznym, a rodzajem zastosowanego obuwia.

Z przeprowadzonej analizy wyników badań (Tab.4) i zależności przedstawionych na rysunkach 1 i 2 wypływa wniosek, że wydatek energetyczny organizmu zależy zarówno od masy jak i od klasy elastyczności obuwia.

Masa obuwia kontrolnego (KT) była prawie 4 – krotnie mniejsza niż w obuwiu KW1 i ZW2 (odpowiednio 3,86 i 4), a jego elastyczność prawie 28 – krotnie wyższa niż w obuwiu KW1. Obie te cechy sprawiały, że obuwiu kontrolne obciążało organizm badanych poniżej dolnej granicy średniego natężenia wysiłku fizycznego (według Lehmana [10]), który wynosi 5 kcal/min.

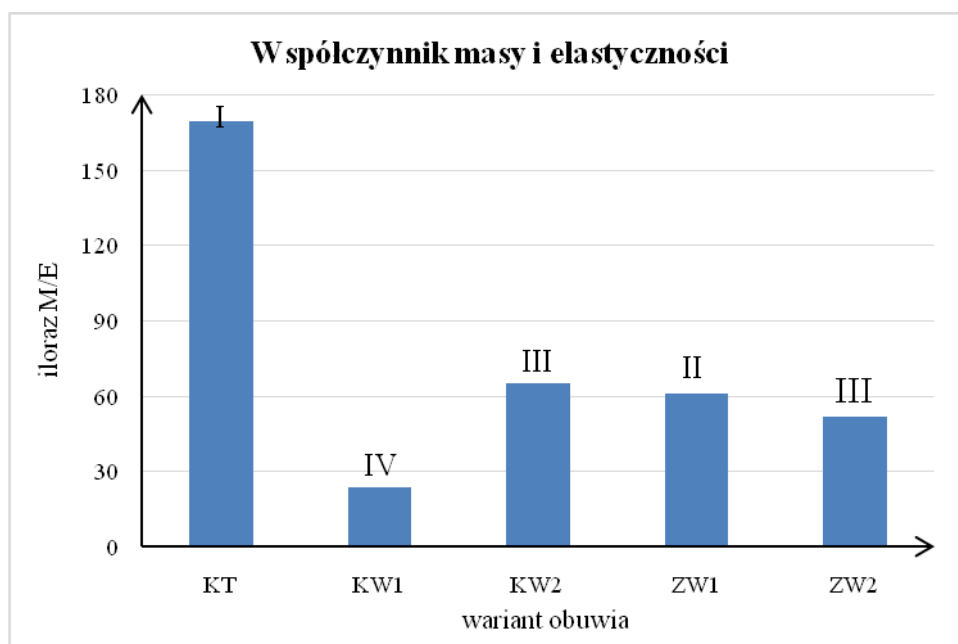
Z porównania wielkości wydatku energetycznego dla obuwia krajowego (KW1) i zagranicznego (ZW2) oraz z porównania ich masy i elastyczności wynika, że przy zbliżonej masie (850 i 880 gramów), różnice w wydatku energetycznym zostały spowodowane ponad dwukrotnie mniejszą elastycznością obuwia krajowego.

Tabela 6. Tablica wartości testu różnic średnich dla $t_0=1,48$.

	Wartość testowana $t_0=1,48$					
	t	df	Istotność dwustronna	Różnica średnich	95% przedział ufności dla różnicy średnich	
					Dolna granica	Górna granica
różnice	-4,807	7	0,002	-0,77250	-1,1525	-0,3925

Tabela 7. Tablica wartości testu różnic średnich dla $t_0=0,01$.

	Wartość testowana $t_0=0,01$					
	t	df	Istotność dwustronna	Różnica średnich	95% przedział ufności dla różnicy średnich	
					Dolna granica	Górna granica
różnice	4,341	7	0,003	0,69750	0,3175	1,0775



Rysunek 2. Rodzaj obuwia i iloraz masy (M) oraz elastyczności (E) dla każdego z nich.

4. Wnioski

Wysiłek fizyczny, związany z przemieszczaniem się implikuje zmiany fizjologiczne w organizmie człowieka takie jak: częstość oddechów, wentylacja minutowa płuc, pochłanianie tlenu, częstość skurczów serca, temperatura wewnętrzna ciała. Objawy zmęczenia fizycznego prowadzą do pogorszenia koordynacji ruchowej manifestowanej np. spadkiem siły mięśniowej. Przeprowadzone badania pokazują, że odpowiedni dobór obuwia może w pewnym zakresie wspomagać czynności związane z przemieszczaniem się. Parametry obuwia takie, jak masa i elastyczność dają możliwość poprawiania komfortu chodu poprzez redukcję zmęczenia odpowiednich partii mięśni, biorących intensywny udział w procesie przemieszczania. Obuwie sztywne i ciężkie, powoduje wzmaganie napięcia mięśniowego, inaczej niż w przypadku lekkiego i elastycznego. W skrajnych przypadkach, w wyniku permanentnego przeciążenia stóp może dochodzić do zmian chorobowych i deformacji w obrębie układu kostno – stawowo – więzadłowego.

5. Literatura:

- Chen Ch. H., Tu K. T., Liu C., Shiang T. Y.: Effects of forefoot bending elasticity during running shoes on gait and running performance, *Human Movement Science* 38 (2014): 163 – 172.
- Mornieux G., Mayer F., Freychat P., Baly L., Mayer F., Belli A.: Barefoot – shod running differences: shoe or mass effect, *International Journal of Sports Medicine* 29 (2008): 512 – 518.
- Olejniczak Z., Mileszczak A.: Badanie energii kompresji spodowych układów obuwia, *Technologia i Jakość Wyrobów* 56, 2012: 41 – 49.
- Olejniczak Z., Mileszczak A.: Kompresja spódów obuwia. Monografia: Obuwie, Badania i Innowacyjne Technologie Wytwarzania, Kraków 2010: 101 – 111.
- Łuba R., Olejniczak Z., Woźniak B., Sobczyński J.: „Stopy Polaków w świetle badań Instytutu Przemysłu Skórzanego w Łodzi : (niektóre zagadnienia z zakresu morfo-fizjologii, rozwoju i ochrony kończyn dolnych) – Monografia”, Łódź 2014.
- Saunders P. U., Pyne D. B., Telford R. D., Hawley J. A.: Factors affecting running economy in trained distance runners, *Sports Medicine* 34 (7), 2004: 465 – 485.
- Nigg B. M., Stefanyshyn D., Cole G., Stergiou P., Miller J.: The effect of material characteristics of shoe soles on muscle activation and energy aspects during running, *Journal of Biomechanics* 26, 2003: 569 – 575.
- De V. Weir J. B.: New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism, *J. Physiol.* 109, 1949: 1 – 9.
- Szubert J., Szubert S., Bortkiewicz A.: Nowa metoda wyznaczania wydatku energetycznego człowieka, *Medycyna Pracy* 59(3), 2008: 215-222.
- Ejsmont W.: Fizjologia pracy i ergonomia, Uniwersytet Gdański, Gdańsk 1990.

