

Andrzej RAWICKI

METODY BADANIA WYDATKU ENERGII GÓRNIKÓW PODCZAS ICH DOJŚCIA DO MIEJSC PRACY POD ZIEMIĄ

Streszczenie. W artykule omówiono pomiary wydatku energii górników podczas dojścia do miejsc pracy pod ziemią. Pomiary te przedstawiono na podstawie metod: Kalorymetrii pośredniej, mechanicznego efektu pracy, chronometrażowo-tabelarycznej, oraz przy pomocy nomogramów. Wyniki uzyskane poszczególnymi metodami różnią się między sobą o ok. + 5 %, jednak na podstawie analizy poszczególnych metod autor uważa, że najszybsze i najpraktyczniejsze do stosowania jest wyznaczanie strat przy pomocy nomogramów.

1. Wstęp

Najistotniejszym elementem w procesie pracy jest człowiek.

Jego efektywność w dużej mierze uzależniona jest od stopnia przystosowania pozostałych materialnych składników pracy, tj. maszyn, narzędzi i urządzeń technicznych stanowiska pracy i czynników środowiskowych do psychofizycznych możliwości organizmu człowieka. Chodzi o takie ukształtowanie współdziałania wymienionych elementów, by można osiągnąć maksymalny efekt pracy przy możliwie najmniejszym biologicznym jej koszcie.

W kompleksowej ocenie obciążenia pracą górnika istotne jest określenie wielkości wydatku jego energii, którą zużytkowuje on na dojście do swego miejsca pracy pod ziemią.

Problem dojścia załogi do miejsca pracy pod ziemią można rozpatrywać z dwóch punktów widzenia jako:

- nieproduktywną stratę czasu,
- nieproduktywne zużycie energii.

Straty czasowe związane z pokonaniem drogi do przedka to problem ogólnie znany, natomiast sprawa nieefektywnego, nieproduktywnego zużycia energii jako problem mniej wyczuwalny, którego wielkość jest trudniej zmierzyć i ocenić staje się w tym przypadku czynnikiem mniej ważnym, ale tylko pozornie.

Pomiary wydatku energii górnika podczas dojścia do pracy pod ziemią można dokonać kilkoma metodami, które zostaną w niniejszym artykule omówione.

Do metod tych zaliczyć można:

1. Metodę kalorymetrii pośredniej.
2. Ocenę wydatku energii na podstawie mechanicznego efektu pracy.
3. Chronometryczno-tabelaryczną metodę oceny wydatku energetycznego z wykorzystaniem tablic H.Spitzera, Th. Hettingera oraz tablic G.Lehmana.
4. Wyznaczanie strat energii za pomocą nomogramów.

2. Metoda kalorymetrii pośredniej

Metoda ta polega na pomiarze ilości tlenu zużytego przez organizm w czasie pracy i wydzielonego dwutlenku węgla, czyli opiera się na danych wymiany gazowej [1].

W tym celu zbiera się powietrze wydychane badanej osoby w tzw. worku Douglasa oraz określa jego skład gazowy za pomocą specjalnego analizatora.

Po analizie składu powietrza wydychanego wymierza się ostatecznie ilość pobranego w określonym czasie tlenu i wydalanego dwutlenku węgla oraz na podstawie tych danych oblicza się wydatek energii w jednostkach ciepłych.

Obliczanie polega na tym, że porównując procentową zawartość gazów w powietrzu wydychanym przez badanego i w powietrzu atmosferycznym oblicza się ilość zużytego przez ustrój tlenu i wydzielonego dwutlenku węgla, a na podstawie stosunku między tymi ilościami oznacza się iloraz oddechowy, niezbędny do określenia równoważnika kalorycznego tlenu, którego wartość zależy od rodzaju aktualnie utlenianych składników pożywienia i waha się od 4,69 - 5,0 kcal na 1 liter tlenu.

W tablicy 1 podany jest ekwiwalent kaloryczny tlenu w zależności od wielkości ilorazu oddechowego.

Pomiary wydatku energii za pomocą metody kalorymetrii pośredniej wymagają odpowiedniej aparatury oraz specjalnie wyszkolonego personelu. Są one niezwykle pracochłonne i również kłopotliwe dla pracowników, na których dokonuje się badań.

3. Ocena wydatku energii na podstawie mechanicznego efektu pracy

Ten sposób oceny możliwy jest tam, gdzie mechaniczny efekt pracy można łatwo wymierzyć w kilogramometrach.

Tok postępowania przy obliczaniu wydatku energii na podstawie mechanicznego efektu pracy górników podaje B. Krupiński [2].

Podstawą obliczeń a następnie podania odpowiednich wzorów jest założenie, że zapotrzebowanie kaloryczne człowieka składa się z energii niezbędnej dla dokonania przemiany materii podtrzymującej jego czynności życiowe

Tablica 1

Ekwiwalent kaloryczny tlenu w zależności od wielkości
ilorazu oddechowego

Iloraz oddechowy	Ilość energii (w %) uwolnionej przy spalaniu		Ekwiwalent kaloryczny 1l O ₂ kcal
	tłuszczów	białka	
0,71	100	0	4,686
0,75	85	15	4,739
0,80	68	32	4,801
0,85	51	49	4,862
0,90	34	66	4,924
0,95	17	83	4,985
1,0	0	100	5,047

Źródło: Tabela opracowana przez Zuntza, Schumburga w pracy *Physiologie des Marsches* 1901, cyt. za W. Missiuro - *Zarys fizjologii pracy*. PZWL, Warszawa 1965 r. s 204.

oraz przemiany wysiłkowej.

Zapotrzebowanie kaloryczne dla przemiany podstawowej dla mężczyzn $E_0 = 3200$ kcal/dobę. Wylicza się to ze wzoru:

$$E_0 = 152 \cdot G^{0,73} \text{ kcal}$$

gdzie:

G - ciężar człowieka w kg.

Zapotrzebowanie energii dla wykonania pracy, tzn. zapotrzebowanie kaloryczne na przemianę wysiłkową oblicza się według wzoru:

$$E_w = e_h \cdot G \cdot T \text{ kcal/dobę}$$

gdzie:

e_h - godzinowe zapotrzebowanie kaloryczne na przemianę wysiłkową na 1 kg ciężaru człowieka,

G - ciężar człowieka,

T - liczba godzin pracy.

Całkowite zapotrzebowanie kaloryczne będzie więc sumą zapotrzebowania energii na przemianę podstawową i energii potrzebnej na wykonanie pracy, czyli:

$$E = E_0 + e_h \cdot G \cdot T \text{ kcal/dobę}$$

Godzinowe zapotrzebowanie kaloryczne e_h jest różne w zależności od rodzaju wykonywanej czynności i pokazane jest w tabelicy 2.

Tabela 2

Godzinowe zapotrzebowanie kaloryczne e_h na przemianę wysiłkową, przypadające na 1 kg ciężaru człowieka

Czynność	e_h kcal/godz. na 1 kg ciężaru człowieka
stanie	1,5
marsz 4 km/godz	3,0
marsz 6 km/godz	4,3
marsz po schodach	16,0
bieg 8,5 km/godz	8,0
ciężka praca górnika	4,7 - 7,0

Źródło: B. Krupiński - Zasady projektowania kopalń, część I, Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1963, s.135.

Na podstawie danych zamieszczonych w tabelicy 2 można obliczyć godzinowe zapotrzebowanie energii górnika zakładając jego ciężar $G = 65$ kg, które mieści się w granicach:

$$\text{od } E_w = 4,7 \cdot 65 = 305 \text{ kcal/godz}$$

$$\text{od } E_w = 7,0 \cdot 65 = 455 \text{ kcal/godz}$$

Natomiast całkowite kaloryczne zapotrzebowanie górnika przy czasie pracy $T = 8$ godz. wyniesie:

$$\text{od } E = 3200 \text{ kcal/dobę} + 305 \text{ kcal/godz} \cdot 8 \text{ godz} = 5644 \text{ kcal/dobę}$$

$$\text{do } E = 3200 \text{ kcal/dobę} + 455 \text{ kcal/godz} \cdot 8 \text{ godz} = 6840 \text{ kcal/dobę}$$

Przy przeprowadzaniu obliczeń zmierzających do ustalenia efektywnej pracy związanej z marszem górnika do wyrobisk górniczych autor metody przyjmuje, że górnik o ciężarze $G = 75$ kg poruszając się po drodze poziomej z prędkością $v = 1,4$ m/sek. osiąga się pociągową P równą 5 kg i odpowiada

ona sile pokonanego oporu W

$$W = G \cdot f = 5 \text{ kG}$$

gdzie f - współczynnik całkowitego oporu maszerującego górnika,

$$\text{stad } f = \frac{W}{G} = \frac{5}{75} = 0,07$$

Przy przejściu 1 m w warunkach normalnych na drodze poziomej górnik wykonuje pracę:

$$L_{up} = W \cdot 1 \text{ m} = 5 \text{ kGm}$$

W warunkach dołowych poruszanie się górnika odbywa się w prądzie powietrza, którego opór wyliczamy ze wzoru:

$$W_p = 0,04 v_p^2 \text{ kG}$$

gdzie:

v_p - prędkość powietrza w m/sek.

Uwzględniając opór powietrza całkowita praca efektywna marszu górnika pod ziemią na drodze L będzie wynosić:

$$L_{up} = (W + 0,04 v_p^2) L \text{ kGm}$$

W przypadku gdy górnik porusza się po wyrobiskach nachylonych, praca górnika znacznie się powiększa, gdyż do pracy tarcia dochodzi jeszcze praca podnoszenia lub hamowania ciężaru ciała.

W związku z tym efektywna praca marszu po wzniosie wyniesie:

$$L_{uw} = (W + 0,04 v_p^2 + G \cdot \sin \alpha) \cdot L \text{ kGm}$$

gdzie α oznacza kąt nachylenia wyrobiska,
a przy marszu po upadzie

$$L_{uw} = W + 0,04 v_p^2 + \left(1 - \frac{v}{v_s'}\right) \cdot G \sin \alpha \cdot L \text{ kGm}$$

gdzie:

V - prędkość marszu po upadzie w m/sek,

V_g - prędkość średnia w m/sek,

$$V_g = \sqrt{\frac{g \cdot k \cdot \sin \alpha}{2}} \quad \text{m/sek}$$

gdzie:

g - przyspieszenie ziemskie,

k - długość kroku w metrach,

α - kąt nachylenia wyrobiska.

Przedstawiona metoda pomiaru wydatku energii na podstawie mechanicznego efektu pracy pozwala w sposób dość prosty na zbadanie wielkości tego wydatku w zależności od rodzaju i długości pokonywanej drogi w czasie dojścia i powrotu do miejsca pracy.

4. Chronometryczno-tabelaryczna metoda oceny wydatku energii

W wyniku licznych badań dokonano oznaczeń wydatku przy różnych czynnościach zawodowych i pozazawodowych.

Na podstawie wyciągów z badań H. Spitzera i Th. Hettingera [4,5] sporządzili odpowiednie tabele, w których podali informacje dotyczące zużycia kalorii na minutę dla ważnych czynności, jakie pracujący człowiek wykonuje. Posługując się tymi tabelami badanie wydatku energii pracownika ogranicza się do możliwie dokładnego chronometrycznego pomiaru czasu przez niego wykonywanych. Oblicza się, ile czasu w ciągu zmiany roboczej zużywa pracownik na poszczególne, jednolite pod względem energetycznym, czynności, np. chodzenie, następnie mnoży się uzyskane wartości czasu w minutach przez odpowiednie liczby kalorii zamieszczone w tablicach. Suma tych iloczynów stanowi wielkość efektywnego wydatku energii pracownika [1].

Przy przeliczaniu na wartości godzinowe lub dzienne należy odpowiednio uwzględnić wszystkie zmiany podczas pracy i przerwy.

Ze względu na ograniczone ramy artykułu w tablicy 3 podano wycinek tabel H. Spitzera i Th. Hettingera:

Tablica 3

Zużycie kalorii na minutę podczas niektórych czynności

Czynność	Warunki pracy	kcal/min
Chodzenie bez ciężaru z szybkością 4 km/godz	Szosa, ciężkie obuwie	3,1
	Droga trawiasta	3,6
	Ściernisko, ziemia pokryta igliwem	4,3
z szybkością 3,5 km/godz	Piaszczysta ziemia gliniasta	4,3
	Ziemia lessowo-gliniasta	5,2
Wchodzenie pod górę bez ciężaru	Wzniesienie 10 %	4,9
	Wzniesienie 16 %	8,3
	Wzniesienie 25 %	13,3

Źródło: G. Lehman - Praktyczna fizjologia pracy. PZWL, Warszawa 1966 ss.146 - 147.

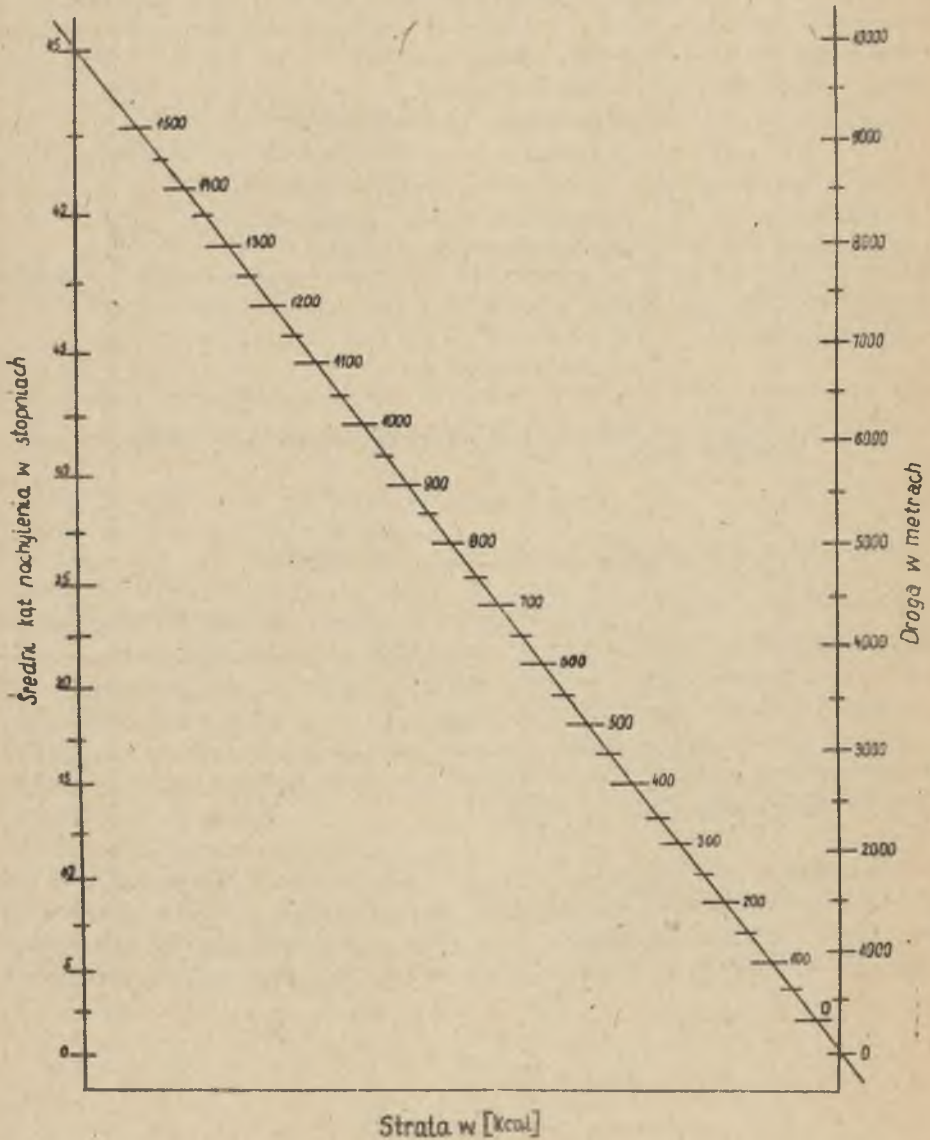
5. Wyznaczanie strat energii przy pomocy nomogramów

Przedstawione metody oceny wydatku energii a w szczególności metoda mechanicznego efektu pracy oraz chronometrażowo-tabelaryczna zostały wykorzystane do wprowadzenia rachunku regresji dla ustalenia wielkości wydatku energii górników na drodze ich dojścia do miejsc pracy pod ziemią.

W oparciu o podane równania skonstruowano na ich podstawie nomogramy pokazane na rysunkach 1 i 2, z których bez jakichkolwiek obliczeń można odczytać interesujące nas wartości.

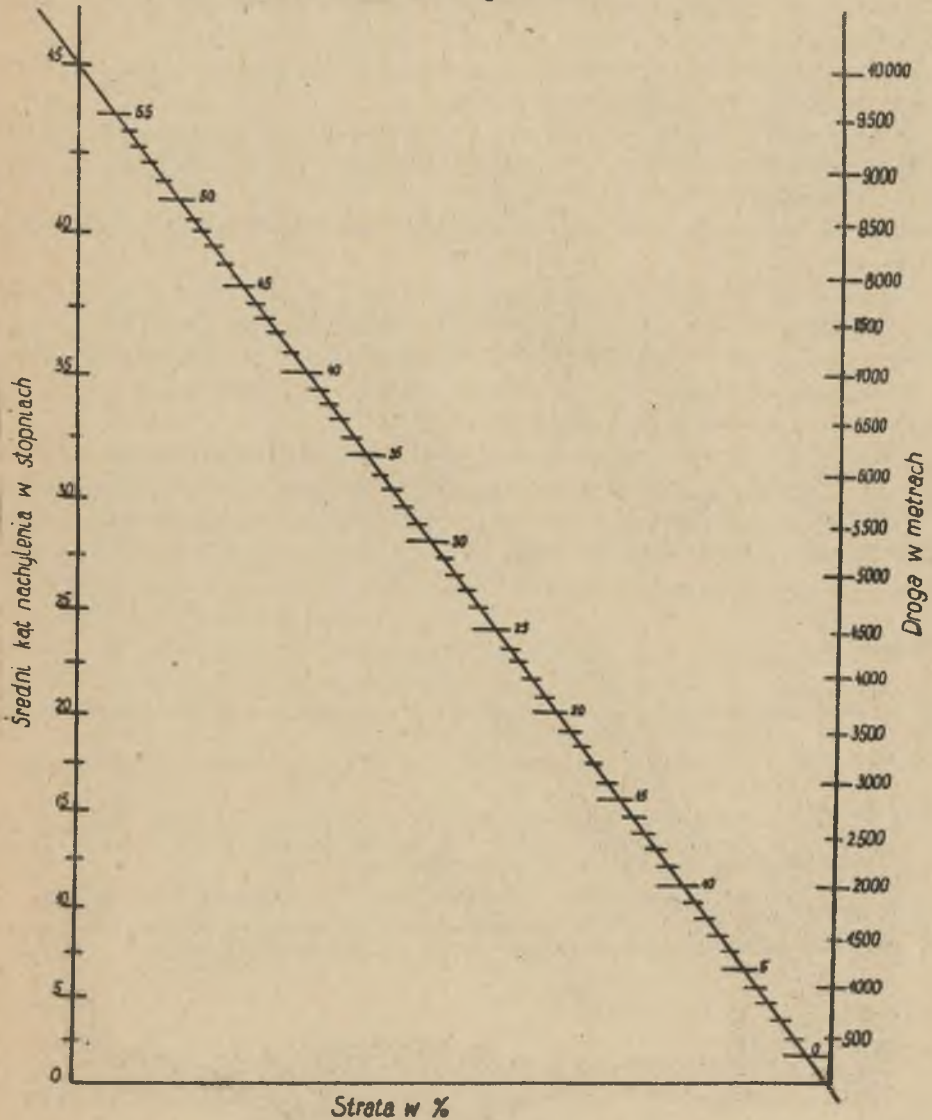
Nomogramy te pozwalają na obliczenie wielkości wydatku energii na różnych drogach. Mogą mieć zastosowanie nie tylko przy poprawie istniejącej organizacji pracy w kopalniach, lecz również w fazie ich projektowania, a zwłaszcza w fazie projektowania organizacji transportu dołowego górników.

*Nomogram do wyznaczania straty energii
w [%] w zależności od drogi i średniego
kąta jej nachylenia*



Rys. 1

Nomogram do wyznaczania straty energii
w [%] w zależności od drogi i średniego
kąta jej nachylenia



Rys. 2

Źródło: A. Rawicki - Wydatek energetyczny górników związany z ich dojściem do miejsc pracy pod ziemią. Praca doktorska niepublikowana, Politechnika Śląska, Wydział Górniczy, 1975 r. ss. 128, 129.

6. Podsumowanie

Podane metody obliczania strat energii górników na drogach ich dościa do pracy wykazały, że wyniki uzyskane [3] różnią się między sobą w granicach $\pm 5\%$.

Jednak dla celów praktyki górniczej metoda obliczania tych strat za pomocą nomogramów wydaje się najprostsza.

Trzy pierwsze metody w przypadku ich wykorzystania do mierzenia strat energii górników na drodze ich dościa do miejsc pracy pozwalają na ustalenie wielkości tych strat ex post.

Opracowane nomogramy pozwalają te wielkości ustalić w sposób łatwy i szybki ex ante.

Ponadto wydaje się, że posiadanie informacji o wielkości wydatku energii (obliczonego obojętnie jaką metodą) podczas dościa i powrotu do miejsca pracy powinno być czynnikiem mobilizującym kopalnię do usprawnienia stanu dróg dościa oraz wprowadzenia w coraz szerszym zakresie mechanizacji transportu ludzi do miejsc pracy pod ziemią.

Wpłyne to z kolei na zmniejszenie zużycia energii (a dochodzącej nawet do 10 % energii użytecznej na pracę [3]) górników potrzebnej na doście do miejsca pracy i powrót, a w końcowym efekcie przyczyni się do zmniejszenia wypadkowości i wzrostu wydajności.

LITERATURA

- [1] Praca zbiorowa pod red. A.Hansena: Ergonomiczna analiza uciążliwości pracy. W.Zw.CRZZ, Warszawa 1970, (11)
- [2] KRUPIŃSKI B.: Zasady projektowania kopalń, cz.I Wyd."Śląsk", Katowice 1933 (44)
- [3] RAWICKI A.: Wydatek energetyczny górników związany z ich dościami do miejsc pracy pod ziemię. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Wydział Górniczy, kwiecień 1975 r.(praca niepublikowana).
- [4] SPITZER H.: Ernährung und Leistung Stahl in Eisen 69 1943 (75)
- [5] SPITZER H., HETTINGER Th.: Tafeln für den Kalorienumsatz bei körperlicher Arbeit. Beuth-Vertrieb G.H.B.H. Berlin 1964. (76)

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГИИ ШАХТЕРОВ ПО ДОРОГЕ НА МЕСТО РАБОТЫ

Резюме:

В статье приводятся измерения расхода энергии шахтеров по дороге на место работы в забоях. Данные измерения рассматриваются на основе методов: непосредственной калориметрии, механического эффекта работы, хронометрико-табельного и на основе монограмов. Полученные отдельными методами результаты разнятся в границах 5%, однако на основе анализа отдельных методов автор считает, что наиболее эффективными является определением энергетических ресурсов шахтерами при помощи монограмов.

THE METHODS OF TESTING MINER'S ENERGY EXPENDITURE
ON THEIR WAY TO THE WORKING STANDS UNDERGROUND

S u m m a r y:

The paper discusses the measurement of miners energy expenditure on their way to the working stands underground. The measurements were presented basig on the following methods: the indirect calorimetry method, the mechnical effect of labour method, the tabularic - time-keeping method, and the nomogrames method. The results obtained using different methods differ up to about $\pm 5\%$.

However, basing on the analysis of particular methods, according to the author's oppinion, the nomogrames method is most quick and effective of all.