

dr inż. STEFAN GIERLOTKA  
Kopalnia Węgla Kamiennego „Wujek”

## Klimatyczne warunki pracy w kopalniach węgla i ich wpływ na możliwość rażenia prądem elektrycznym pracownika dołowego kopalni

Głównym czynnikiem środowiska górniczego, oddziałującym na pracujących tam ludzi, jest klimat dołowy. Na klimat dołowy składają się warunki występujące w wyrobiskach górniczych, jak: wilgotność, temperatura, prędkość przepływu powietrza oraz promieniowanie ciepłe górotworu. Samopoczucie i szybkość występowania zmęczenia oraz obfitość pocenia się człowieka zależy od wzajemnego układu temperatury, wilgotności i prędkości powietrza w wyrobisku. Z rodzajem i intensywnością wykonywanej pracy wiąże się ilość ciepła metabolicznego wytworzonego przez organizm człowieka w jednostce czasu, czyli wydatek energetyczny organizmu. Klimatyczne warunki pracy w danym środowisku oprócz parametrów fizycznych powietrza i otoczenia, uwzględniają wydatek energetyczny organizmu człowieka, zależny od wysiłku fizycznego podczas wykonywanych czynności.

Człowiek powinien pracować w warunkach komfortu cieplnego, w których odczuwa stan zadowolenia z parametrów klimatycznych środowiska, a jego gospodarka cieplna przebiega najbardziej ekonomicznie.

Organizm człowieka musi wytwarzać ciepło metaboliczne, aby prawidłowo zachodziły w nim procesy fizjologiczne oraz utrzymywała się stała temperatura wewnątrz ciała na poziomie 37 °C, bez względu na temperaturę otoczenia. Jest to możliwe dzięki mechanizmom termoregulacyjnym, dostosowującym ilość ciepła wytwarzanego przez ustroj człowieka do potrzeb bilansu cieplnego w zimnym lub gorącym środowisku. Ośrodek termoregulacji znajduje się w podwzgórzku organizmu człowieka i pobudzany jest sygnałami pochodzącymi z wrażliwych na temperaturę receptorów w skórze [3]. Warunki mikroklimatu odbiegające od granic komfortu (dyskomfort) stają się dla człowieka uciążliwe

i wymagają przeciwdziałania mechanizmów termoregulacyjnych. Podwyższona temperatura otoczenia powoduje podrażnienia termoreceptorów skórnych i pobudzenie ośrodka termoregulacyjnego w podwzgórzku, co zmusza czynność gruczołów potowych

Do określenia klimatycznych warunków pracy służy wskaźnik obejmujący mikroklimat i wydatek energetyczny pracownika, zależny od rodzaju i intensywności pracy. Warunki klimatyczne w środowisku o danym mikroklimacie będą odczuwane przez różnych ludzi w różny sposób, głównie ze względu na rodzaj czynności jakie wykonują. Człowiek pracuje z różną częstotliwością wysiłkową, zmieniając swój wydatek energetyczny w zależności od samopoczucia. Wydatek energetyczny człowieka, zależny od intensywności pracy, jest miarą stopnia obciążenia energetycznego organizmu i podaje się go w watach na metr kwadratowy powierzchni ciała ludzkiego ( $W/m^2$ ) [1].

W zależności od wydatku energetycznego  $M$  pracownika dokonuje się podziału pracy na:

- lekką ( $65 < M \leq 130 W/m^2$ )
- umiarkowaną ( $130 < M \leq 200 W/m^2$ )
- ciężką ( $200 < M \leq 260 W/m^2$ )
- bardzo ciężką ( $M > 260 W/m^2$ ).

W stanie spoczynku wydatek energetyczny człowieka wynosi  $M \leq 5 W/m^2$  [6].

Odzież stanowi izolację cieplną pomiędzy człowiekiem, a otoczeniem. Zmniejsza ona prędkość oddawania ciepła człowieka w środowiskach chłodnych. W analizie przewodzenia ciepła przez odzież wprowadzono wielkość zwaną oporem cieplnym odzieży, której jednostką jest  $1 \text{ clo} = 0,155 (m^2K)/W$  [6]. Dla typowego ubioru roboczego wg Fanger'a [1] wartość oporu cieplnego wynosi 1 clo.

Klimatyczne warunki pracy w kopalniach określa się wskaźnikiem dyskomfortu cieplnego  $\delta$ , którego wielkość jest bezwymiarowa [1]. Określa on, w jakim stopniu klimatyczne warunki pracy w danym środowisku różnią się od warunków komfortu cieplnego oraz od warunków klimatycznych granicznych pod względem bezpieczeństwa cieplnego.

Ogólna ocena warunków klimatycznych w oparciu o wskaźnik dyskomfortu cieplnego  $\delta$  jest następująca:

- $\delta < 0$  – środowisko chłodne
- $\delta = 0$  – komfort cieplny
- $0 < \delta < 1$  – praca bezpieczna dla zdrowia
- $\delta \geq 1$  – praca niebezpieczna dla zdrowia

W celu wyznaczenia wskaźnika dyskomfortu cieplnego należy określić dla badanych warunków efektywną temperaturę amerykańską ATE [7]. Wartości ATE odczytuje się z nomogramu (rys. 1), przy znanej prędkości przepływu powietrza oraz znanych temperaturach psychometrycznych zmierzonych termometrem suchym i termometrem wilgotnym [1]. Wartość wskaźnika dyskomfortu cieplnego wyznacza się na podstawie wykresu przebiegu izolinii wydatku energetycznego pracowników, w zależności od efektywnej temperatury amerykańskiej ATE. Zależność wskaźnika dyskomfortu cieplnego od wydatku energetycznego i mikroklimatu dla ludzi zaaklimatyzowanych w powietrzu o wilgotności 80% i ubranych w odzież o oporze cieplnym 1 clo przedstawiono na rys. 2 [1]. Na osi odciętych zaznaczona jest efektywna temperatura amerykańska ATE określająca mikroklimat w danym środowisku. Proste skośne to izolinie średnich wydatków energetycznych podczas wypoczynku ( $65 W/m^2$ ) oraz podczas pracy ciężkiej ( $230 W/m^2$ ). Na osi rzędnych odczytuje się wartość wskaźnika dyskomfortu cieplnego  $\delta$ .

Podczas pracy człowieka w trudnych warunkach klimatycznych przy podwyższonej temperaturze otoczenia maleje przenikanie ciepła do otoczenia, a organizm zwiększa wydzielanie potu. W warunkach normalnych człowiek wydziela  $0,75 \div 1$  litra potu w ciągu doby [7]. W czasie ciężkiej pracy górniczej w klimacie ciepłym organizm może wydzielać ponad 1 litr potu na godzinę [6].

Intensywne pocenie się powoduje nasączenie zrogowaciałej warstwy naskórka elektrolitami zawartymi w pocie. Wpływa to na zmiany parametrów fizycznych ciała, między innymi na jego impedancję elektryczną.

Podatność organizmu człowieka na skutki działania prądu elektrycznego jest zależna od wartości natężenia prądu uwarunkowanego napięciem elektrycznym i impedancją ciała w chwili rażenia. Pot może parować i pochłaniać ciepło z powierzchni ciała, jeżeli otaczające powietrze może wchłaniać parę wodną. Przy wysokiej wilgotności powietrza proces parowania potu słabnie, a ciało człowieka staje się całe mokre i bardzo podatne na skutki rażenia prądem elektrycznym.

Głównymi czynnikami wpływającymi na wartość impedancji ciała człowieka są warunki klimatyczne i wartość napięcia rażenia [5]. W celu wyznaczenia zależności zmian impedancji ciała pracującego człowieka od zmian napięcia rażenia i warunków klimatycznych określonych wskaźnikiem dyskomfortu cieplnego  $\delta$ , wykonano pomiary wartości impedancji w wyrobiskach dołowych kopalni. Pomiary wykonywano na standardowej drodze rażenia, dociskając opuszką palca środkowego i opuszką kciuka tej samej ręki do miedzianych elektrod płaskich. Badane osoby w wieku od 29 do 41 lat poddane były działaniu prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz, przy napięciu rażenia: 14 V, 27 V, 40 V, 52 V, 82 V.

W celu wyznaczenia wskaźnika dyskomfortu cieplnego, w badanych warunkach środowiska, określono wartości temperatur psychometrycznych powietrza mierzonych termometrem suchym i wilgotnym. Pomiary przeprowadzono w wyrobiskach, gdzie prędkość przepływającego powietrza wynosiła 0,5 m/s. Badane osoby były zaaklimatyzowane, w stanie spoczynku, w którym wydatek energetyczny wynosił 65 W/m<sup>2</sup> oraz wykonywały pracę zakwalifikowaną jako ciężką o wydatku 230 W/m<sup>2</sup>. Korzystając z wykresu (rys. 2) przebiegu izolinii wydatku energetycznego odnoszącego się do pracowników zaaklimatyzowanych, odczytano wartość wskaźnika dyskomfortu cieplnego  $\delta$ . Średnie wartości impedancji ciała wolontariuszy, zależnie

od wyznaczonego wskaźnika dyskomfortu cieplnego i zastosowanego w pomiarach napięcia rażenia, przedstawiono w tabeli 1. oraz graficznie na rys. 3.

Posługując się funkcją regresji liniowej i odpowiednim programem komputerowym wyznaczono analityczną zależność zmian impedancji ciała człowieka od zmian wskaźnika dyskomfortu cieplnego  $\delta$ . Zależność przyjmuje postać:

$$Z = \frac{70(1 + \delta)^{-0,7}}{\sqrt[3]{U}} \quad (1)$$

gdzie: Z – impedancja ciała człowieka (k $\Omega$ )

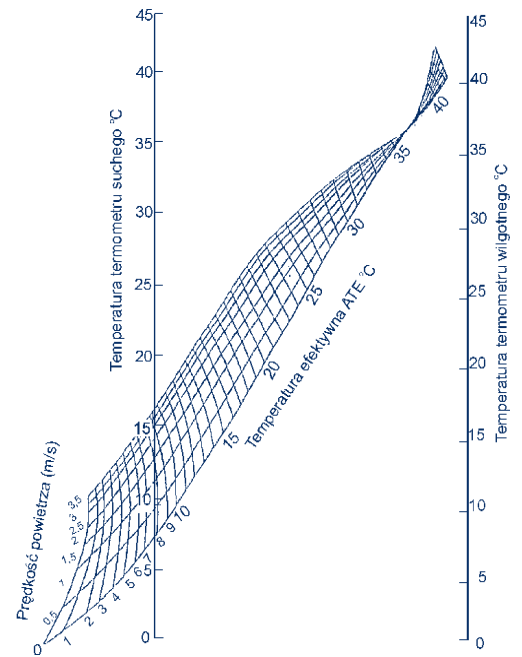
U – napięcie rażenia (V)

$\delta$  – wskaźnik dyskomfortu cieplnego.

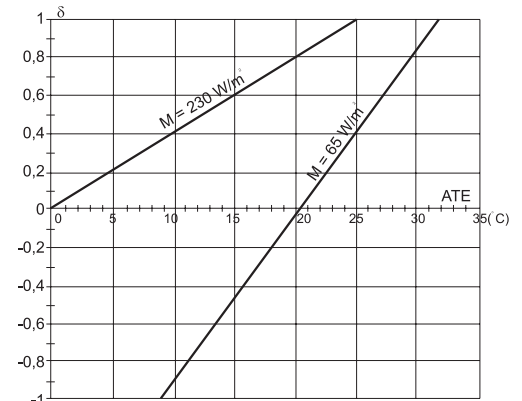
Równanie zostało zweryfikowane z funkcją empiryczną przy współczynniku korelacji  $\sigma = 0,977$ . Równanie (1) pozwala wyznaczyć prawidłowo wartość impedancji ciała człowieka dla wskaźników dyskomfortu cieplnego  $\delta > -1$ .

Spodziewane wartości impedancji ciała człowieka, zależnie od wartości napięcia rażenia i wskaźnika dyskomfortu cieplnego  $\delta$  przedstawiono w tabeli 2. oraz graficznie na rys. 4.

Opracowane wyniki (tab. 2) stanowią prognozę wartości spodziewanej impedancji ciała człowieka, zależnie od klimatycznych warunków pracy określonych wskaźnikiem dyskomfortu cieplnego  $\delta$ . Ustalone w ten sposób wartości impedancji ciała człowieka stanowią podstawę do określenia podatności ciała pracującego człowieka na skutki rażenia prądem elektrycznym. Znajomość wartości impedancji ciała jest istotna do celów stosowania ochrony przed porażeniami prądem elektrycznym.



Rys. 1. Nomogram do wyznaczania efektywnej temperatury amerykańskiej (ATE) dla ludzi ubranych



Rys. 2. Przebieg izolinii wydatku energetycznego podczas wypoczynku (65 W/m<sup>2</sup>) i pracy ciężkiej (230 W/m<sup>2</sup>) ludzi ubranych i zaaklimatyzowanych w powietrzu o wilgotności 80%, zależnie od efektywnej temperatury amerykańskiej ATE

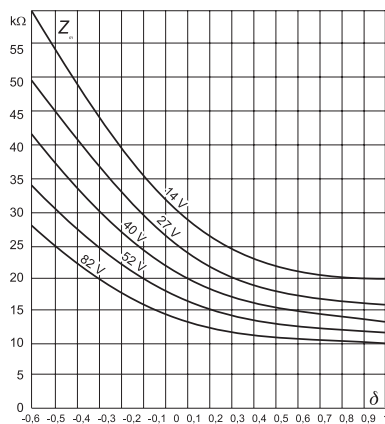
Tabela 1  
WARTOŚCI ŚREDNIE ZMIERZONEJ IMPEDANCJI CIAŁA CZŁOWIEKA ZALEŻNIE OD WSKAŹNIKA DYSKOMFORTU CIEPLNEGO  $\delta$  ORAZ EFEKTYWNEJ TEMPERATURY AMERYKAŃSKIEJ ATE

Wskaźnik dyskomfortu cieplnego $\delta$	-0,64	-0,42	-0,20	0,10	0,32	0,42	0,55	0,73
ATE, °C	13,2	16,3	18,2	20,5	24,2	25,0	26,4	28,5
Napięcie, V	Impedancja ciała człowieka, k $\Omega$							
14	59	48	41	29	26	23	22	21
27	52	42	34	24	21	20	18	17
40	43	34	28	20	18	17	16	14
52	34	27	23	17	15	14	13	12
82	28	23	18	13	12	11	11	10

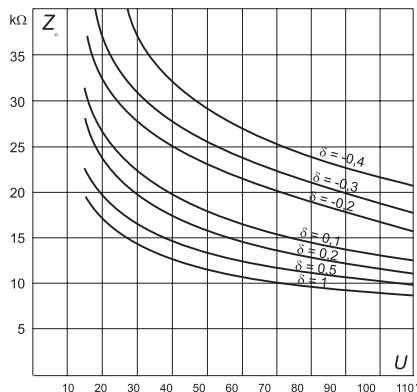
Tabela 2

SPODZIEWANE WARTOŚCI IMPEDANCJI STANDARDOWEJ CIAŁA CZŁOWIEKA, ZALEŻNIE OD WSKAŹNIKA DYSKOMFORTU CIEPLNEGO  $\delta$  I NAPIĘCIA RAŻENIA

Wskaźnik dyskomfortu cieplnego $\delta$	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Napięcie, V	Impedancja ciała człowieka, k $\Omega$														
15	43,0	36,6	34,5	31,2	29,5	27,6	25,8	24,0	23,1	22,2	21,4	20,5	19,5	18,3	17,6
25	36,2	30,5	30,2	26,5	24,0	22,4	21,0	20,0	18,8	18,2	17,3	16,8	16,0	15,2	14,7
30	32,3	28,0	27,6	24,3	22,5	21,0	19,8	18,7	18,1	17,0	16,2	15,5	15,1	14,3	13,8
40	30,8	26,2	24,0	22,0	20,4	19,1	18,0	17,0	16,2	15,5	14,6	14,1	13,8	13,0	12,5
50	28,2	24,7	22,2	20,4	19,0	17,6	16,7	15,8	14,9	14,3	13,6	13,1	12,8	12,1	11,6
70	24,2	22,3	19,6	18,2	16,9	15,8	14,8	14,1	13,4	12,7	12,2	11,6	11,2	10,8	10,4
80	23,4	21,0	18,8	17,3	16,1	15,2	14,2	13,3	12,5	12,2	11,7	11,2	10,8	10,3	10,0
90	22,8	20,2	17,8	16,5	15,5	14,6	13,7	12,8	12,0	11,7	11,2	10,7	10,2	9,9	9,6
100	21,3	19,3	17,2	15,8	15,0	14,1	13,2	12,3	11,2	10,8	10,4	10,2	9,9	9,6	9,2
120	20,1	18,2	16,6	15,2	14,1	13,2	12,5	11,5	10,8	10,6	10,2	9,8	9,4	9,0	8,7
150	18,6	16,5	15,4	14,2	13,2	12,3	11,6	10,9	10,1	9,9	9,4	9,0	8,7	8,4	8,1



Rys. 3. Przebieg funkcji empirycznej impedancji ciała człowieka zależnie od wskaźnika dyskomfortu cieplnego



Rys. 4. Wartość impedancji ciała człowieka zależnie od wskaźnika dyskomfortu cieplnego i napięcia rażenia

Warunki klimatyczne występujące w kopalniach głębinowych wpływają na elektrofizjologię ciała człowieka i możliwość rażenia prądem elektrycznym. Określenie warunków klimatycznych wskaźnikiem dyskomfortu cieplnego  $\delta$ , uwzględnia wydatek energetyczny człowieka zależnie od rodzaju i wysiłku wykonywanej pracy. Głównymi czynnikami wpływającymi na wartość impedancji elektrycznej ciała człowieka jest wskaźnik dyskomfortu cieplnego w środowisku pracy oraz wartość napięcia rażenia. W klimacie ciepłym, a także przy dużym wysiłku fizycznym następuje obfite pocenie się, które powoduje obniżenie wartości impedancji elektrycznej ciała człowieka.

PIŚMIENNICTWO

[1] Drenda J. *Dyskomfort cieplny w środowiskach pracy kopalń głębinowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl. 1993 Seria. *Górnictwo* z. 213

[2] Ganong W. *Fizjologia*. PZWL, Warszawa 1994

[3] Gierlotka S. *Wpływ klimatu dołowego kopalni na elektrofizjologię organizmu człowieka*. Przegląd Górnictwa 10/1995

[4] Gierlotka S. *Der Einfluß des Grubenklimas auf die Elektrophysiologie des menschlichen Körpers*. Glückauf - Forschungshefte 58, nr 3, 1997

[5] Gierlotka S. *Electrophysiology of human skin in climatic difficult conditions*. Polish Journal of Medical Physics and Engineering, Official Publication of Polish Society of Medical Physics. nr 4, 2000, s. 251-267

[6] Sułkowski J., Drenda J. i in.: *Badania warunków klimatycznych wewnątrz klimatyzowanych kabin zabudowanych na stanowiskach pracy oraz ocena uregulowań prawnych i organizacyjnych pracy górników w trudnych warunkach klimatycznych kopalń rud miedzi*. Praca badawcza nr 64/U/NW/99. Wydział Górniczy i Geologii, Instytut Eksploatacji Złóż. Politechnika Śl. Gliwice 2000

[7] Waclawik J., Cygankiewicz J., Knechtel J. *Warunki klimatyczne w kopalniach głębinowych*. PAN, Kraków 1998

Spotkania tematyczne dla członków Forum Liderów Bezpiecznej Pracy – ubiegłoroczna inicjatywa Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – żywo zainteresowały przedstawicieli przedsiębiorstw, które zostały zaproszone do współpracy w pierwszej fazie realizacji tego przedsięwzięcia. Uczestnicy Forum, reprezentujący przedsiębiorstwa produkujące we wdrażaniu nowych rozwiązań naukowych i technicznych, a jednocześnie wyróżniające się na polu tworzenia bezpiecznych warunków pracy, chcą dyskutować i dzielić się doświadczeniami, oczekując zarazem wskazówek i odpowiedzi na pytania, które, jak się okazuje, nurtują także tych najlepszych. Zgodnie z założeniem, członkowie Forum sami mieli wskazać tematy, których dokładnym omówieniem byłoby szczególnie zainteresowani. Okazało się, że tematem najbardziej „gorącym” jest zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy. Temu tematowi poświęcono więc pierwsze z planowanych spotkań. Odbyło się ono 25 lutego 2002 r. w Warszawie, w siedzibie CIOP.

Szczegółowe zagadnienia związane z tematem głównym spotkania pozwolą zorientować się w przebiegu dyskusji. Przedstawiamy je w skrócie, mając nadzieję, że poruszane problemy dotyczą wielu przedsiębiorstw w kraju.

**Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy w aspekcie spełnienia wymogów Dyrektywy Seveso II**

Przepisy zawarte w Dyrektywie Seveso II, dotyczącej zarządzania zagrożeniem poważnymi awariami z udziałem substancji niebezpiecznych, odnoszą się do przedsiębiorstw, które ze względu na stosowanie określonych substancji są nimi zagrożone. W przedsiębiorstwach tych istnieją już systemy zarządzania bezpieczeństwem spełniające wymagania prawa, które są niezbędne do ich prawidłowego funkcjonowania. Wprowadzenie Dyrektywy Seveso II nie oznacza obowiązku stworzenia w tych przedsiębiorstwach nowego, odrębnego od już funkcjonującego, systemu zarządzania. Wpłyynie jedynie na jego udoskonalenie i uzupełnienie.

**Mechanizmy i uregulowania motywujące pracodawców do działań probezpiecznych**

Kultura bezpieczeństwa jest decydującym elementem w podejściu do problematyki bezpieczeństwa pracy. Jednak wciąż jeszcze wiele wysiłku wymaga podniesienie świadomości społecznej w tym zakresie. Warto wykorzystywać doświadczenia innych, jak choćby korporacji międzynarodowych, w których kształ-