

Istota zagrożenia obciążeniem termicznym. Przegląd i analiza obowiązujących przepisów oraz opracowań w zakresie identyfikacji i kwalifikacji zagrożenia klimatycznego pracowników podziemnych zakładów górniczych

W artykule przedstawiono bilans cieplny organizmu człowieka w formie odpowiednich równań i grafik, następnie wyjaśniono istotę obciążenia termicznego oraz przedstawiono czynniki kształtujące warunki klimatyczne w kopalniach głębokich, a także wymieniono najistotniejsze wskaźniki mikroklimatu i warunków klimatycznych. W dalszej jego części dokonano przeglądu i analizy obowiązujących przepisów w zakresie identyfikacji i kwalifikacji zagrożenia klimatycznego. Przedstawiono stan prawny obowiązujący w tym zakresie w Polsce oraz na świecie, między innymi w Republice Federalnej Niemiec, krajach byłego ZSRR, Bułgarii, Belgii, Holandii, Francji, USA, Kanadzie, Australii i Republice Czeskiej.

1. WSTĘP

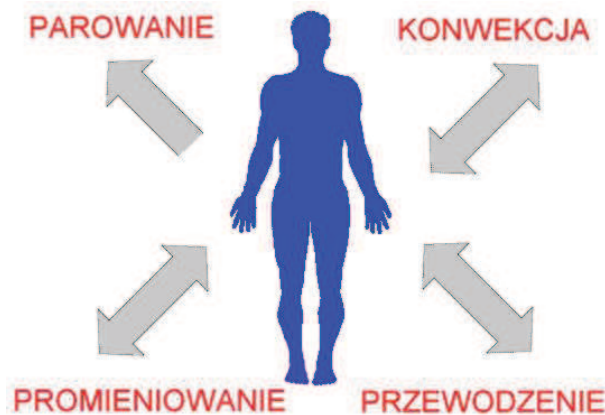
Artykuł powstał m.in. na podstawie raportu [1] z wykonania etapu 1. pt.: „Przegląd i analiza obowiązujących przepisów oraz opracowań w zakresie identyfikacji i kwalifikacji zagrożenia klimatycznego pracowników podziemnych zakładów górniczych” w obszarze zadania badawczego pt.: „Opracowanie zasad zatrudniania pracowników w warunkach zagrożenia klimatycznego w podziemnych zakładach górniczych” realizowanego w ramach strategicznego projektu badawczego pt.: „Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach”, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR).

W etapie tym przeprowadzony został przegląd przepisów i opracowań polskich oraz zagranicznych z zakresu identyfikacji i kwalifikacji zagrożeń klimatycznych pracowników w podziemnych zakładach górniczych. Etap 1. podzielono na 5 podetapów, któ-

re dotyczyły analizy warunków klimatycznych w kopalniach węgla, rud i soli, a także wpływu gorącego mikroklimatu na organizm ludzki.

2. BILANS CIEPLNY ORGANIZMU CZŁOWIEKA

Wymiana ciepła między ustrojem a otoczeniem odbywa się przez: promieniowanie, przewodzenie, konwekcję i parowanie. Człowiek część swego ciepła „oddaje” do otoczenia na skutek wypromieniowania fal elektromagnetycznych podczerwonych (rys. 1). Ilość tego promieniowania zależy od warunków otoczenia, powierzchni i pozycji ciała. Utrata ciepła przez przewodzenie jest niewielka, ponieważ ciało człowieka zwykle izolowane jest przez odzież [3]. Zachodzi ona wówczas, gdy człowiek styka się bezpośrednio z innym, chłodniejszym ciałem, np. w czasie kąpieli w chłodnej wodzie, leżenia na trawie,



Rys. 1. Drogi wymiany ciepła człowieka z otoczeniem (opracowanie własne na podstawie [5])

siedzenia na zimnych kamieniach, snu na materacach, które nie są dobrym izolatorem cieplnym. Odczuwane jest to przez człowieka jako nieprzyjemne oziębienie pleców i okolicy lędźwiowo-krzyżowej.

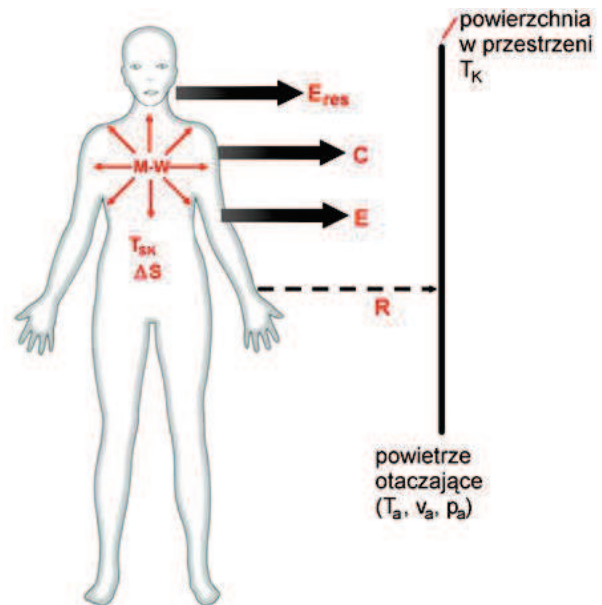
Jeśli ciepło unoszone jest wraz z cząsteczkami materii, mówimy wówczas o konwekcji, czyli unoszeniu ciepła. W ustroju ciepło unoszone jest z głębszych części – narządów o wysokiej przemianie materii – do powierzchni skóry. Szybkość przenoszenia ciepła tą drogą zależy przede wszystkim od przewodnictwa cieplnego tkanek i od różnicy temperatury między wnętrzem ciała a powierzchnią skóry. Przewodnictwo cieplne tkanek powierzchniowych jest wielokrotnie większe od przewodnictwa tkanki tłuszczowej i naskórka. Wymiana ciepła między powierzchnią ciała i otoczeniem przez konwekcję zależna jest od różnicy temperatur, ruchu powietrza i wilgotności. Przez konwekcję może dochodzić zarówno do ogrzewania, jak i utraty ciepła w ustroju. Utrata ciepła przez parowanie zachodzi wówczas, gdy prężność pary wodnej na powierzchni skóry jest wyższa niż w otaczającym powietrzu. U człowieka woda paruje ze skóry i błon śluzowych dróg oddechowych. Utrata ciepła tą drogą jest większa w środowisku o małej wilgotności (suche powietrze), a mniejsza przy większej wilgotności powietrza. W klimacie tropikalnym, cechującym się wysoką temperaturą i dużą wilgotnością powietrza, parowanie wody ze skóry i dróg oddechowych jest utrudnione i powstaje wówczas uczucie duszności.

Równanie bilansu cieplnego człowieka przedstawia sposoby i wartości wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem. Bilans cieplny ciała człowieka (rys. 2) w normach ISO, CEN oraz PN zapisuje się w postaci znanej z prac O. Fangera:

$$M - W = E + C + R + C_{res} + E_{res} + K + DS, \text{ W/m}^2, \quad (1)$$

gdzie:

- M – gęstość strumienia ciepła metabolizmu, W/m^2 ,
- W – gęstość strumienia pracy zewnętrznej, W/m^2 ,
- E – gęstość strumienia entalpii odbierana z organizmu człowieka drogą parowania potu, W/m^2 ,
- C – gęstość strumienia ciepła odbieranego z organizmu człowieka drogą konwekcji, W/m^2 ,
- R – gęstość strumienia ciepła wymienianego drogą promieniowania, W/m^2 ,
- C_{res} – gęstość strumienia ciepła wymienianego podczas oddychania drogą konwekcji, W/m^2 ,
- E_{res} – gęstość strumienia ciepła wymienianego podczas oddychania drogą parowania, W/m^2 ,
- K – gęstość strat ciepła wymienianego drogą przewodnictwa, W/m^2 ,
- DS – gęstość strumienia ciepła gromadzonego w organizmie człowieka, W/m^2 .



Rys. 2. Bilans cieplny organizmu [3]

2. OBCIĄŻENIE TERMICZNE, CZYNNIKI KSZTAŁTUJĄCE WARUNKI KLIMATYCZNE W KOPALNIACH GŁĘBOKICH [3]

Ociążenie termiczne, jakiemu poddany jest człowiek znajdujący się w środowisku gorącym, zależy od ciepła wytwarzanego wewnątrz jego organizmu w wyniku pracy fizycznej oraz od właściwości środowiska, które warunkują wymianę ciepła między ciałem człowieka a jego otoczeniem. W warunkach komfortu termicznego ilość ciepła wytwarzana przez organizm jest równoważona przez ilość ciepła oddawaną do środowiska.

Główne parametry fizjologiczne charakteryzujące obciążenie termiczne, to:

- temperatura wewnętrzna ciała,
- średnia temperatura skóry,
- częstość skurczów serca,
- ubytek masy ciała,
- ciśnienie tętnicze krwi.

Poniżej przedstawiono czynniki kształtujące warunki klimatyczne w kopalniach głębokich [3].

Źródła ciepła:

- dopływ ciepła z górotworu,
- dopływ ciepła od utleniającego się węgla,
- dopływ ciepła od maszyn i urządzeń,
- dopływ ciepła od transportowanego urobku,
- dopływ utajonego ciepła wraz z parą wodną z górotworu,
- odprowadzenie ciepła przez chłodnice,
- przejmowanie ciepła od powietrza przez rurociągi z zimną wodą.

Źródła wilgoci:

- parowanie wody z otwartych powierzchni w wyrobisku,
- dopływ pary wodnej z górotworu,
- przemiany fazowe wody zawartej w powietrzu,
- skraplanie się pary wodnej w chłodnicach,
- źródła pary wodnej związane z lokalnymi dodatkowymi źródłami ciepła,
- przemiany fazowe wody zawartej w powietrzu.

3. WSKAŹNIKI MIKROKLIMATU I WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH

Do określenia mikroklimatu w danym środowisku [2] stosuje się wartości podstawowych parametrów powietrza i otoczenia oraz wskaźniki mikroklimatu, które uwzględniają łączny wpływ kilku podstawowych parametrów powietrza.

Do podstawowych parametrów powietrza i otoczenia mających wpływ na warunki klimatyczne należą: temperatura mierzona termometrem suchym, temperatura mierzona termometrem wilgotnym, prędkość przepływu powietrza, ciśnienie powietrza, wilgotność względna powietrza, skład chemiczny powietrza oraz promieniowanie ciepłe otoczenia.

Najbardziej znanymi wskaźnikami mikroklimatu są: natężenie chłodzenia powietrza K , temperatura efektywna amerykańska ET (ATE), temperatura efektywna belgijska BTE , temperatura zastępcza francuska t_r , temperatura zastępcza klimatu t_{zk} , wskaźnik WBGT i wskaźnik dyskomfortu cieplnego δ (oznaczany również jako WDC).

4. PRZEGLĄD I ANALIZA OBOWIĄZUJĄCYCH PRZEPISÓW

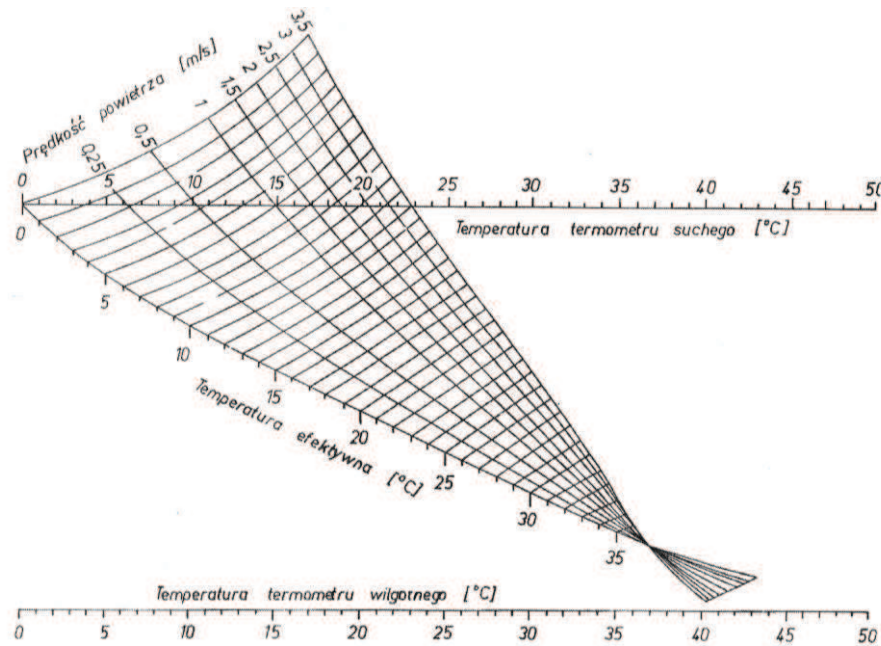
W Polsce obowiązuje norma z Rozporządzenia Ministra Gospodarki z 28 czerwca 2002 roku oraz norma branżowa PN-G-03100. W Niemczech – Bergverordnung (KlimaBerg V) z 1983 roku. Normy te oparte są na parametrach lub wskaźnikach klimatu, a mianowicie na temperaturze powietrza i katastronach wilgotnych, temperaturze zastępczej klimatu wg CUPRUM (w Polsce) oraz temperaturze powietrza i efektywnej temperaturze amerykańskiej (w Niemczech). Dla środowisk na powierzchni w Europie i Polsce obowiązują normy PN-EN 27243:2005 pt. „Wyznaczanie obciążenia termicznego działającego na człowieka podczas pracy, oparte na wskaźniku WBGT” oraz PN-EN ISO 7933:2005 pt. „Ergonomia środowiska termicznego”.

Występujące w powyższych normach parametry i wskaźniki wymagają długotrwałych pomiarów oraz skomplikowanych obliczeń i nie przedstawiają w sposób prosty i przystępny oceny bezpieczeństwa termicznego człowieka. Nie uwzględniają one wszystkich czynników mających wpływ na samopoczucie pracownika przebywającego w środowisku gorącym.

Parametrami pozwalającymi dokonać oceny warunków klimatycznych oraz bezpieczeństwa termicznego pracowników są: wskaźnik dyskomfortu cieplnego δ , wskaźnik stresu cieplnego Beldinga-Hatha (HSI) oraz wskaźnik obciążenia termicznego P4SR wg McArdlego. Wskaźniki HSI i P4SR, opracowane jeszcze w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku, służą jedynie do określenia granicznych parametrów fizjologicznych organizmu ludzkiego w warunkach dużego obciążenia termicznego i oparte są na maksymalnej dopuszczalnej ilości wydzielanego potu.

Poniżej przedstawiono, jak wygląda sprawa regulacji prawnych (bądź ich braku) w wybranych krajach UE i poza nią.

W Niemczech obowiązuje norma „Bergverordnung zum Schutz der Gesundheit gegen Klimateinwirkungen” (KlimaBerg V) z dnia 9 czerwca 1983 r., według której w kopalniach węgla kamiennego i rud granicą dopuszczalnej pracy górników jest wartość amerykańskiej temperatury efektywnej $ATE=30^\circ\text{C}$ (rys. 3.). Pracę można wykonywać w pełnym wymiarze czasowym, gdy wartość temperatury termometru suchego $t_s \leq 28^\circ\text{C}$ lub wartość $ATE \leq 25^\circ\text{C}$. Jeżeli warunki te nie są spełnione, górnicy mogą być zatrudniani tylko w skróconym wymiarze czasu pracy.



Rys. 3. Nomogram do wyznaczania Amerykańskiej Temperatury Efektywnej ATE dla ludzi obnażonych do pasa

W większości krajów byłego ZSRR, określenia warunków pracy w środowisku gorącym dokonuje się na podstawie pomiaru prędkości przepływu powietrza oraz jego wilgotności. W kopalniach węgla (w miejscach, gdzie wykonywane są roboty) temperatura powietrza nie powinna przekraczać 26°C w przypadku, gdy wilgotność względna wynosi $> 90\%$. W wyrobiskach górniczych, w których stale przebywają ludzie, temperatura powietrza nie powinna przekraczać wartości podanych w tabeli 1.

Tabela 1.
Granice dopuszczalnych temperatur [4]

Minimalna prędkość przepływu powietrza, m/s	Dopuszczalna wartość temperatury powietrza, $^{\circ}\text{C}$ przy wilgotności względnej, %		
	60 - 75	75 - 90	> 90
0,25	24	23	22
0,5	25	24	23
1	26	25	24
2	26	26	25

Podobnej tabeli (uwzględniającej jako dodatkowe kryterium temperaturę górotworu) używa się również w kopalniach bułgarskich.

W latach 40. ubiegłego stulecia w Belgii przyjęto jako obowiązującą dla górnictwa formułę zaproponowaną przez Bidlota, uznając za temperaturę graniczną 31°C . Tak więc obowiązująca przez znaczny czas norma klimatyczna w kopalniach belgijskich określana była następującym wzorem:

$$0,9 t_w + 0,1 t_s \leq 31^{\circ}\text{C}, \quad (2)$$

a wartości temperatur przeliczanych tym wzorem nazywano belgijską temperaturą efektywną BTE. Wzór ten jednak nie uwzględnia prędkości przepływu powietrza, która ma znaczenie w kształtowaniu warunków komfortu pracy. Zaproponowana przez Bidlota i Ledenta metoda określania warunków klimatycznych została jednak szeroko rozpowszechniona w Afryce Południowej, Belgii i Holandii.

We Francji obowiązywała norma Circulaire HSM 44, określająca – jako francuska temperatura zastępcza (resultate) TFR – warunki klimatyczne za pomocą wzoru:

$$\text{TFR} = 0,7 t_w + 0,3 t_s - w, \quad ^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

przy założeniu, że normalne warunki pracy występują przy $\text{TFR} \leq 28^{\circ}\text{C}$. Praca w warunkach, gdy TFR zawiera się w przedziale od 28 do 34°C , jest uznawana za szkodliwą dla zdrowia, a przekroczenie przez TFR wartości 34°C – za wręcz niebezpieczne.

Mimo, że to właśnie w USA opracowano wskaźnik ATE, aktualnie nie obowiązują tam normy dotyczące zagrożenia klimatycznego. Za wyznaczenie maksymalnych temperatur w miejscu pracy odpowiedzialne są osoby nadzorujące bezpieczeństwo i klimatyzację (często jedna funkcja). Często bazuje się na wskazaniach termometru wilgotnego wraz z odniesieniami ustanowionymi przez ACGIH (American Conference of Industrial Hygienists). Organami kontrolującymi oraz nadzorującymi w podziemnych zakładach górniczych są MSHA (Mine Safety & Health Administration) oraz NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) – zalecają one stosowanie wytycznych ACGIH oraz wytycznych zawartych w normach dotyczących wskaźnika WBGT.

Podobnie, jak w USA, sytuacja przedstawia się w kopalniach kanadyjskich, z tym że czasami stosuje się tam też wartości odniesienia ATE.

W Australii każdy stan posiada odrębne przepisy regulujące kwestię pracy w trudnych warunkach mikroklimatu. Brak tutaj jakichkolwiek uregulowań na poziomie przepisów ogólnopaństwowych. Często wartością odniesienia jest temperatura termometru wilgotnego, na podstawie której podejmuje się odpowiednie działania podnoszące bezpieczeństwo termiczne.

W czeskich kopalniach dla określenia warunków klimatycznych oraz normowania czasu pracy obowiązują przepisy [4] zawarte w Rozporządzeniu Rządu Republiki Czeskiej. Warunki mikroklimatu na stanowiskach pracy w kopalniach podziemnych

określone są za pomocą pomiaru temperatury powietrza termometrem suchym i wilgotnym, wilgotności względnej oraz prędkości przepływu powietrza. Pomiary przeprowadza się miejscach, gdzie czas pracy stanowi przynajmniej 10% czasu dziennej zmiany. Następnie oblicza się czas pracy na każdym stanowisku przy wykorzystaniu specjalnych tabel, w których zawarte są dopuszczalne czasy pracy (krótkotrwałej i długotrwałej). Takich tabel jest łącznie 45, a za punkt odniesienia przyjęto w nich wydatek energetyczny pracownika (8 kategorii), wilgotność względną (9 kategorii), prędkość przepływu powietrza (5 kategorii) i temperaturę termometru suchego zmierzoną na danym stanowisku pracy. Przykład regulacji pokazano w tabeli 2.

Tabela. 2.

Fragment tabeli regulującej czas pracy w czeskich kopalniach [4]

		Příloha č. 2				Tabulka č. 23			
Dlouhodobě a krátkodobě únosná práce		relativní vlhkost		%		76 - 80			
na důlních pracovištích v minutách		rychlost vzduchu		m.s ⁻¹		1,00 - 1,49			
Suchá teplota	Doba práce	Doba práce podle celkového energetického - brutto výdeje / třídy EV							
		EV - I.	EV - II.	EV - III.	EV - IV.	EV - V.	EV -VI.	EV -VII.	EV -VIII.
T _s	t _{sm} / t _{max}	110 - 129	130 - 149	150 - 169	170 - 189	190 - 209	210 - 229	230 - 259	260 - 280
(°C)	(minuty)	(W.m ⁻²)	(W.m ⁻²)	(W.m ⁻²)	(W.m ⁻²)	(W.m ⁻²)	(W.m ⁻²)	(W.m ⁻²)	(W.m ⁻²)
28	t _{sm}	480	480	454	332	291	259	222	195
	t _{max}	480	480	454	332	134	74	44	31
29	t _{sm}	480	480	367	318	280	250	216	189
	t _{max}	480	480	367	175	86	56	37	28
30	t _{sm}	480	433	350	305	270	242	209	184
	t _{max}	480	433	214	96	61	44	32	24
31	t _{sm}	480	390	334	293	260	234	203	180
	t _{max}	480	368	118	70	49	38	28	22
32	t _{sm}	442	371	320	281	251	226	197	175
	t _{max}	442	141	77	53	40	32	25	20
33	t _{sm}	418	354	307	271	243	219	192	171
	t _{max}	175	86	57	43	34	28	22	18
34	t _{sm}	397	339	295	261	235	213	187	166
	t _{max}	97	62	45	35	29	25	20	17
35	t _{sm}	378	324	284	252	227	206	182	162
	t _{max}	64	46	36	30	25	22	18	15
36	t _{sm}	361	311	273	244	220	200	177	158
	t _{max}	48	37	30	25	22	19	16	14
37	t _{sm}	345	299	264	236	213	195	172	155
	t _{max}	38	31	26	22	20	17	15	13
38	t _{sm}	330	288	255	228	207	190	168	151
	t _{max}	32	26	23	20	18	16	14	12
39	t _{sm}	317	277	246	221	201	184	164	148
	t _{max}	27	23	20	18	16	14	13	11
40	t _{sm}	305	267	238	215	195	180	160	144
	t _{max}	23	20	18	16	14	13	12	10

Według przepisów bezpieczeństwa obowiązujących w polskim górnictwie węgla kamiennego:

- temperatura powietrza w miejscu pracy nie powinna przekraczać 28°C przy pomiarze termometrem suchym, a intensywność chłodzenia nie powinna być mniejsza od 11 katastopni wilgotnych,
- jeżeli temperatura powietrza wynosi od 28 do 33°C lub intensywność chłodzenia jest mniejsza niż 11 katastopni wilgotnych, należy ograniczyć czas pracy do sześciu godzin,
- jeśli temperatura przekracza 33°C, ludzi można zatrudniać tylko w ramach akcji ratowniczych lub przeciwpożarowych.

Autor artykułu jeszcze pod koniec ubiegłego wieku (i w następnych latach) wielokrotnie w swoich pracach [2, 3] przywoływał takie zdanie: „Należy zaznaczyć, że przepisy te nie są zadowalające z punktu widzenia obecnego rozeznania w zagadnieniach szkodliwego oddziaływania warunków klimatycznych na organizm ludzki, i można przypuszczać, że zostaną one w niedługim czasie zmienione”. Po kilkunastu latach uwaga ta pozostaje nadal aktualna, ale można mieć nadzieję, że wyniki uzyskane podczas realizacji zadania badawczego pt.: „Opracowanie zasad zatrudniania pracowników w warunkach zagrożenia klimatycznego w podziemnych zakładach górniczych” zmienią ten stan rzeczy.

Dodać również należy, że w polskich kopalniach rud miedzi obowiązuje wskaźnik zagrożenia klimatycznego t_{zk} do oceny warunków pracy, który obliczony jest jako:

$$t_{zk} = 0,6 t_w + 0,4 t_s - v, \quad (4)$$

gdzie v oznacza prędkość powietrza, jednak uwzględnianą tylko do wartości nie większej niż 4 m/sek.

5. PODSUMOWANIE

Z przedstawionej różnorodności czynników wpływających na dyskomfort cieplny pracownika wynika, że główny wpływ – oprócz temperatury – mają wilgotność powietrza oraz intensywność (natężenie) chłodzenia, czyli możliwość odbioru ciepła od organizmu człowieka.

Doświadczenia z badań nad komfortem pracy w różnych krajach przełożyły się na kryteria oceny zagrożenia klimatycznego, czego wynikiem jest kilka bliskich sobie sposobów oceny tego zagrożenia.

Aktualnie stosowane są w Polsce dwa sposoby oceny zagrożenia klimatycznego – odrębny dla kopalń węgla kamiennego oraz dla kopalń rud miedzi.

Doświadczenia z kopalń rud miedzi w stosowaniu oceny za pomocą wskaźnika t_{zk} już w niedługim czasie spowodują zastosowanie go również w kopalniach węgla kamiennego.

Literatura

1. Drenda J. z Zespołem: Raport z wykonania etapu 1. pt.: „Przeгляд i analiza obowiązujących przepisów oraz opracowań w zakresie identyfikacji i kwalifikacji zagrożenia klimatycznego pracowników podziemnych zakładów górniczych”, Politechnika Śląska, Gliwice 2011.
2. Słota K., Słota Z.: *Aerologia górnicza z zastosowaniem technik komputerowych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
3. Słota Z.: *Określenie wpływu wydatku energetycznego, aklimatyzacji i ubioru na bezpieczeństwo termiczne organizmu górnika pracującego w kopalniach podziemnych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
4. *Vnitřní předpis pro hodnocení mikroklimatických podmínek a stanovení přípustné doby práce v dolech OKR*, Ostrava 2004.
5. Mizerski W.: *Tablice matematyczno-fizyczno-astrofizyczne*, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2002.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.