



Politechnika Śląska

Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej

Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa

PRACA DOKTORSKA

Temat pracy:

*Wpływ stosowania kamizelek chłodzących na klimatyczne warunki
pracy górników.*

mgr inż. Anna Lubosz

Promotor:

dr hab. inż. Jan Drenda, prof. PŚ

Gliwice, 2023

Podziękowania

Dziękuję Panu dr hab. inż. Janowi Drendzie, prof. PŚ za opiekę promotorską, czas, zaangażowanie oraz cierpliwość.

Serdeczne podziękowania składam także pracownikom Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego S.A. w Bytomiu, Zarządowi Spółki Restrukturyzacji Kopalń S.A., Dyrekcji i pracownikom Kopalni X oraz wszystkim osobom, które pomogły mi w realizowaniu badań pomiarowych i diagnostycznych.

Niniejsza praca doktorska jest wynikiem realizacji projektu badań młodego naukowca pod tytułem „Wpływ stosowania kamizelek chłodzących na klimatyczne warunki pracy górników” finansowanym ze środków Katedry Inżynierii Bezpieczeństwa BKM-585/RG3/2019 (06/030/BKM19/0049)

STRESZCZENIE

Wpływ stosowania kamizelek chłodzących na klimatyczne warunki pracy górników.

Tematyka pracy doktorskiej dotyczy jednego z ważniejszych zagadnień związanych z inżynierią bezpieczeństwa i procesem produkcji górniczej ukierunkowanym na rozwiązywanie problemów oraz przeciwdziałanie zagrożeniom występującym na dołowych stanowiskach pracy. Jednym z takich zagrożeń, którego skala narasta w ostatnich latach jest zagrożenie klimatyczne. Ocena warunków mikroklimatu i skuteczne działania zmierzające do niwelowania dyskomfortu cieplnego w związku z eksploatacją na coraz większych głębokościach staje się priorytetem działań nie tylko naukowców i pasjonatów z danej dziedziny, ale również sferą zainteresowań przedsiębiorców, organizacji związkowych i samych górników. Prowadzi to do ożywionych dyskusji a czasem również ostrej wymiany zdań. Niewłaściwa ocena warunków mikroklimatu w środowisku pracy oraz nieskuteczne działania profilaktyczne w tym zakresie mogą bowiem prowadzić do niebezpiecznych sytuacji, których wynikiem może być odwodnienie, przegrzanie organizmu, a nawet zagrożenie życia pracownika. W związku z powyższym naukowcy i badacze tematu od lat poszukują rozwiązań, które pozwalałyby na lepsze prognozowanie tego zjawiska.

W przedmiotowej rozprawie odwrotnie, niż w szeroko przyjętej dotychczas literaturze problemu postanowiono odejść od rozważań nad nowymi metodami oceny warunków mikroklimatu w środowisku górniczym, a skupiono się nad praktyczną możliwością obniżenia temperatury ciała osób pracujących w trudnych warunkach klimatycznych dzięki zastosowaniu istniejących już na rynku kamizelek chłodzących umożliwiających zmniejszenie temperatury skóry i procesów metabolicznych zachodzących w organizmie człowieka.

Proces badań realizowany w ramach rozprawy doktorskiej rozpoczęto od pomiaru rzeczywistych parametrów środowiskowych powietrza i warunków klimatycznych występujących w oddziale wydobywczym G-1 kopalni X prowadzącym eksploatację ściany 146 w pokładzie 414/2 oraz oceny zagrożenia klimatycznego na stanowiskach pracy tego oddziału w oparciu o znane wskaźniki obciążenia cieplnego takie jak: efektywna temperatura amerykańska ATE, temperatura zastępcza klimatu T_{zk} , wskaźnik WBGT, temperatura ślaska T_S oraz wskaźnik dyskomfortu cieplnego δ . Wyznaczenie tych wskaźników pozwoliło zidentyfikować wyrobiska górnicze i stanowiska pracy o najtrudniejszych warunkach klimatycznych wśród których znalazły się ściana 146 z średnią temperaturą powietrza przekraczającą $28,8^{\circ}\text{C}$ czy dowiecznia 14/7a z temperaturą powietrza ponad 29°C i wilgotnością 95,6%. Takie parametry środowiska pracy destrukcyjnie wpływają na parametry fizjologiczne zatrudnionych górników dlatego w dalszym etapie badań w oparciu o wytyczne normy PN-EN ISO 9886 przeprowadzono pomiary fizjologiczne 25 pracowników zatrudnionych w rejonie ściany 146. Wyniki tych badań wykazały,

iż praca między innymi na stanowisku kombajnisty, sekcyjnego, górnika zatrudnionego w górnej wnęce ścianowej czy operatora przenośnika nadścianowego jest skrajnie ciężka co prowadzi do znacznego nawet 5 kg ubytku masy ciała i wzrostu wszystkich parametrów życiowych wskazujących na znaczne wyczerpanie fizyczne pracowników i duży wydatek energetyczny włożony w realizację zadań produkcyjnych. Dodatkowo pracownicy w wyniku przeprowadzonej listy kontrolnej i bezpośredniej rozmowy, źle ocenili działania kopalni w zakresie zwalczania zagrożenia klimatycznego wskazując przy tym, iż największym problemem jaki występuje na ich stanowiskach pracy jest brak możliwości oddania nadmiaru ciepła z organizmu w istniejących warunkach klimatycznych i jego przegrzewanie się co wpływa na proces zmęczenia fizycznego. Wychodząc naprzeciw ich oczekiwaniom w ramach głównego celu badawczego rozprawy doktorskiej przeprowadzono badania laboratoryjne i środowiskowe w aspekcie oceny wpływu kamizelek chłodzących na poprawę warunków pracy i parametrów wydolnościowych pracujących w nich górników. Badania z użyciem kamizelek przeprowadzono w laboratorium klimatycznym Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego w Bytomiu oraz w wyrobiskach górniczych kopalni Y. W badaniach wydolnościowych udział brało 14 ratowników górniczych. Uzyskane wyniki wykazały przydatność kamizelek chłodzących w codziennej pracy mimo konieczności wymiany wkładów chłodzących w trakcie zmiany roboczej. Wykorzystanie kamizelek chłodzących na stanowiskach pracy pozwoliło również na poprawę wydolności fizycznej pracowników z nich korzystających i poprawę komfortu pracy przy jednoczesnym zmniejszeniu zagrożenia klimatycznego. Główny cel badań dostał więc osiągnięty, a przyjęta teza potwierdzona i udowodniona.

SUMMARY

The impact of the use of cooling vests on the climatic working conditions of miners

The subject of the PhD thesis concerns one of the most important issues related to safety engineering and the mining production process aimed at solving problems and counteracting threats which occur especially at underground workplaces. One of these, the scale of which has been increasing in recent years, is the climate threat.

Assessment of microclimate conditions and effective measures to eliminate thermal discomfort due to exploitation at greater depths becomes a priority for the activities of not only scientists and enthusiasts, but also of entrepreneurs, trade union organizations and miners. Improper assessment of microclimate conditions in the work environment and ineffective preventive measures in this area may lead to dangerous situations that may result in dehydration, overheating of the body, or even a threat to the employee's life. Therefore, scientists and researchers have been looking for solutions that would allow for better forecasting of this phenomenon for years.

In this dissertation, contrary to the widely accepted literature on the problem so far, it was decided not to consider new methods for assessing microclimate conditions in the mining environment. The focus was on the practical possibility of reducing the body temperature of people working in difficult climatic conditions thanks to the use of cooling vests already available on the market, which enable the reduction of skin temperature and metabolic processes taking place in the human body.

The research process carried out as part of this dissertation began with measuring the actual environmental parameters of air and climatic conditions occurring in the G-1 mining section of the X mine operating longwall 146 in seam 414/2 and assessing the climatic hazard at the workplaces of this department based on known heat load indicators such as: effective American temperature ATE, equivalent climate temperature T_{zk} , WBGT index, temperature and thermal discomfort index δ . The determination of these indicators allowed the identification of mining excavations and workplaces with the most difficult climatic conditions, including wall 146 with an average air temperature exceeding 28.8°C and surface 14/7a with an air temperature above 29°C and humidity of 95.6%. These parameters of the working environment have a destructive impact on the physiological parameters of the miners employed, therefore, in a further stage of research, based on the guidelines of the PN-EN ISO 9886 standard, physiological measurements of 25 employees employed in the area of longwall 146 were carried out.

The results of these studies showed that the work of, among others, a shearer operator, a section worker, a miner employed in the upper wall cavity or an overwall conveyor operator is extremely

hard, which leads to a significant loss of body weight of up to 5 kg and an increase in all vital parameters indicating significant physical exhaustion of the workers and large energy expenditure in carrying out production tasks. Additionally, as a result of the checklist and direct conversation, employees did not evaluate the mine's activities in combating the climate threat very well. Pointing out that the biggest problem that occurs at their workplaces is the inability to release excess heat from the body in the existing climatic conditions, which affects the process of their physical fatigue. To meet expectations, as part of the main research goal of this PhD dissertation, laboratory and environmental tests were carried out to assess the impact of cooling vests on improving the working conditions and performance parameters of miners wearing them. Tests using vests were carried out in the laboratory of the Central Mining Rescue Station S.A. in Bytom and the mining excavations of the Y mine. 14 rescuers and miners took part in the performance tests. The obtained results demonstrated the usefulness of cooling vests in everyday work despite the need to replace cooling inserts during the work shift. The use of cooling vests at workstations also allowed for the improvement of the physical efficiency of employees using them and the improvement of work comfort while reducing the climatic threat. The main goal of the research was achieved, and the accepted thesis was confirmed and proven.

Spis treści

1. WPROWADZENIE	8
2. CELE I ZAKRES PRACY	14
3. PRZEGLĄD I ANALIZA PRZEPISÓW I OPRACOWAŃ W ZAKRESIE IDENTYFIKACJI ZAGROŻENIA KLIMATYCZNEGO W PODZIEMNYCH ZAKŁADACH GÓRNICZYCH.....	17
3.1. Regulacje prawne.....	18
3.2. Przegląd źródeł literaturowych.	20
4. WYBRANE WSKAŹNIKI OBCIĄŻENIA CIEPLNEGO ORGANIZMU.....	25
4.1. Temperatura efektywna TE (amerykańska temperatura efektywna ATE)	25
4.2. Skorygowany wskaźnik temperatury efektywnej CET	27
4.3. Temperatura zastępcza klimatu (t_{zk}).	28
4.4. Wskaźnik dyskomfortu cieplnego δ	29
4.5. Temperatura zastępcza śląska TŚ.....	33
4.6. Wskaźnik obciążenia cieplnego HSI.	34
4.7. Cooling power, CP	35
4.8. Zmodyfikowany wskaźnik obciążenia cieplnego ITS	36
4.9. Wskaźnik WBGT	37
5. ODZIAŁYWANIE ŚRODOWISKA TERMICZNEGO NA ORGANIZM CZŁOWIEKA.	42
5.1. Rodzaje wymiany ciepła między organizmem człowieka a otoczeniem.....	44
5.2. Bilans cieplny.....	46
5.3. Metoda analitycznego wyznaczania stresu cieplnego wg normy PN-EN ISO 7933:2005 ...	50
5.3.1. Podstawowe definicje dotyczące izolacyjności i oporu odzieży roboczej.	52
5.3.2. Charakterystyka modelu PHS.....	55
5.4. Metody pomiaru wydatku energetycznego.	66
6. PRAKTYCZNA OCENA TEMATU BADAWCZEGO.....	72
6.1. Identyfikacja problemu badawczego w oparciu o badania ankietowe.....	72
6.2. Badania środowiskowe.	79
6.2.1. Charakterystyka obiektu badawczego.	79
6.2.2. Charakterystyka oddziału G-1 kopalni X.	81
6.2.3. Opracowanie metodyki badań parametrów fizycznych powietrza dla wybranych wyrobisk górnictwa.	86
6.2.4. Pomiar parametrów powietrza w rejonie ścian 146 w pokładzie 414/2.	93
6.2.5. Oszacowanie ryzyka zawodowego związanego z zagrożeniem klimatycznym na stanowiskach pracy oddziału G-1 w oparciu o zmierzone parametry powietrza.	96
6.2.6. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie amerykańskiej temperatury efektywnej ATE.....	97
6.2.7. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie temperatury zastępczej klimatu t_{zk}	98
6.2.8. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika WBGT.....	101
6.2.9. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie śląskiej temperatury zastępczej TŚ.....	103
6.2.10. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ	103

6.2.11. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie aktualnie obowiązujących przepisów górniczych dla kopalń węgla kamiennego.	105
Podsumowanie przeprowadzonej oceny ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym w oparciu o zmierzone parametry powietrza i wyznaczone wskaźniki.	107
6.3. Parametry fizjologiczne charakteryzujące obciążenie termiczne i sposób ich pomiaru. .	111
6.3.1. Specyfikacja przyrządów pomiarowych i metody pomiarowe wykorzystywane w trakcie pomiarów w warunkach dołowych.	112
6.3.2. Oszacowanie ryzyka zawodowego związanego z zagrożeniem klimatycznym na stanowiskach pracy oddziału G-1 w oparciu o zmierzone parametry fizjologiczne pracownika.	119
6.3.2.1. Ocena obciążenia termicznego na podstawie temperatury skóry (t_{sk}).	125
6.3.2.2. Ocena obciążenia termicznego na podstawie częstości skurczów serca (HR).	128
6.3.2.3. Ocena obciążenia fizjologicznego na podstawie utraty masy ciała (Δm_{sw}) w skutek pocenia się.	134
6.3.2.4. Ocena obciążenia fizjologicznego na podstawie ciśnienia tętniczego krwi.	139
6.3.3. Podsumowanie przeprowadzonej oceny ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym w oparciu o zmierzone parametry powietrza i wyznaczone wskaźniki.	141
7. OCENA WPŁYWU KAMIZELEK CHŁODZĄCYCH NA POPRAWĘ KLIMATYCZNYCH WARUNKÓW PRACY GÓRNIKÓW.	146
7.1. Chłodzenie indywidualne ratownika górniczego w czasie akcji ratowniczych.	146
7.2. Badania w komorze klimatycznej Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego w Bytomiu CRSG.	148
7.2.1. Charakterystyka obiektu badawczego i aparatury pomiarowej.	148
7.2.2. Pomiar wysiłku fizycznego.	150
7.2.3. Metodyka pomiaru:	152
7.2.4. Realizacja badań w komorze klimatycznej CRSG.	154
7.2.5. Przebieg badania w komorze klimatycznej CRSG S.A bez kamizelek chłodzących. ..	156
7.2.6. Przebieg badania w komorze klimatycznej CRSG S.A w kamizelkach chłodzących. .	159
7.2.7. Charakterystyka procesów termoregulacji zachodzących w organizmie człowieka. ...	162
7.2.8. Analiza wyników badań w komorze klimatycznej CRSG S.A.	163
7.2.9. Analiza badanych osób pod kątem wydolności fizjologicznej.	163
7.2.10. Analiza utraty masy ciała (Δm_{sw}) w skutek pocenia się podczas badań w komorze klimatycznej CRSG.	164
7.2.11. Analiza przyrostu temperatury wewnętrznej ciała (t_{cr}) podczas badań w komorze klimatycznej CRSG.	165
7.2.12. Analiza przyrostu temperatury skóry (t_{sk}) podczas badań w komorze klimatycznej CRSG.	168
7.2.13. Analiza przyrostu tętna (HR) podczas badań w komorze klimatycznej CRSG.	169
7.2.14. Podsumowanie badań prowadzonych w komorze klimatycznej CRSG z wykorzystaniem kamizelek chłodzących.	177
7.3. Badanie wpływu kamizelek chłodzących na pracę górników kopalni Y zatrudnionych w wyrobiskach o przekroczonych parametrach klimatycznych.	177
7.3.1. Charakterystyka obiektu badawczego.	178
7.3.2. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie amerykańskiej temperatury efektywnej ATE.	181
7.3.3. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie temperatura zastępcza klimatu t_{zk}	183

7.3.4. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika WBGT.....	183
7.3.5. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie ślaskiej temperatury zastępczej TŚ.....	185
7.3.6. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ	188
7.3.7. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie aktualnie obowiązujących przepisów górniczych dla kopalń węgla kamiennego	190
7.3.8. Podsumowanie przeprowadzonej oceny ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym w oparciu o zmierzone parametry powietrza i wyznaczone wskaźniki.....	192
7.3.9. Parametry fizjologiczne charakteryzujące obciążenie termiczne i sposób ich pomiaru.....	194
7.3.10. Specyfikacja przyrządów pomiarowych i metody pomiarowe wykorzystywane w trakcie pomiarów w warunkach dołowych.....	194
7.3.11. Oszacowanie ryzyka zawodowego związanego z zagrożeniem klimatycznym na stanowiskach pracy oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y w oparciu o zmierzone parametry fizjologiczne pracownika.....	196
7.3.12. Ocena obciążenia termicznego na podstawie temperatury wewnętrznej ciała (t_{cr}).	199
7.3.13. Ocena obciążenia termicznego na podstawie temperatury skóry (t_{sk}).	202
7.3.14. Ocena obciążenia termicznego na podstawie częstości skurczów serca (HR).	204
7.3.15. Ocena obciążenia fizjologicznego na podstawie utraty masy ciała (Δm_{sw}) w skutek pocenia się.	209
7.3.16. Podsumowanie przeprowadzonej oceny ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym w oparciu o zmierzone parametry powietrza i wyznaczone wskaźniki.....	211
8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE ORAZ KIERUNKI DALSZYCH	214
Bibliografia	2147
Spis rysunków.....	2140
Spis tabel	21432

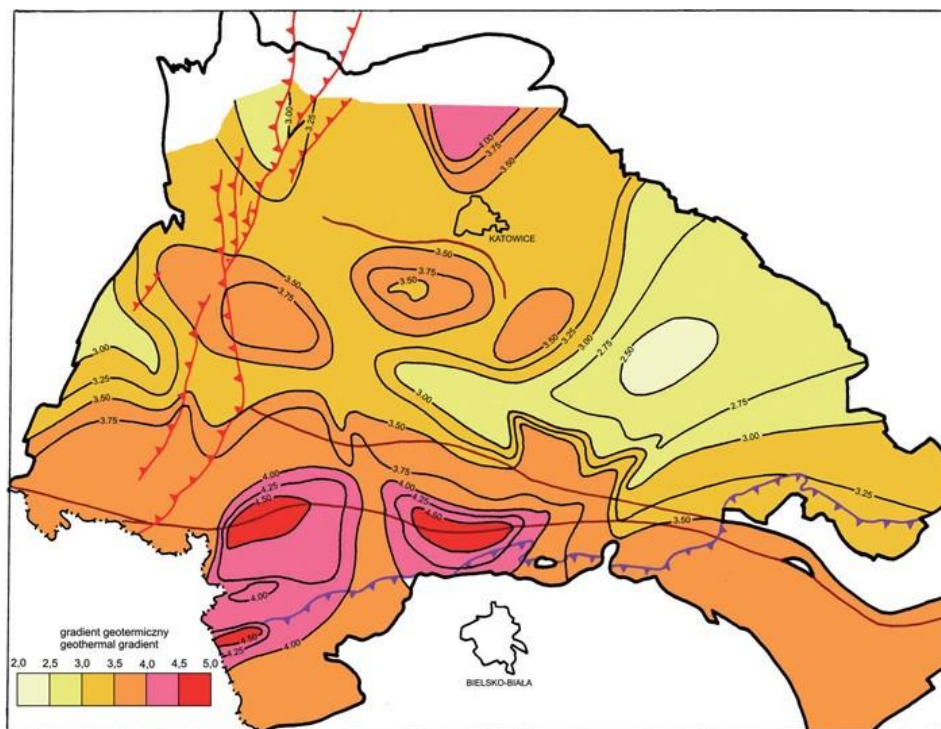
1. WPROWADZENIE

Zagrożenie klimatyczne występujące w kopalniach głębinowych surowców mineralnych na całym świecie zakwalifikowane zostało do podstawowych górniczych zagrożeń naturalnych oddziałujących niekorzystnie na organizm człowieka (pracownika) zatrudnionego w wyrobiskach górniczych pod ziemią w procesie związanym z eksploatacją tychże surowców. Jego podstawowym determinantem jest naturalny wzrost temperatury skał towarzyszących złożom surowców mineralnych, który zmienia się wraz ze wzrostem głębokości eksploatacji, budową strukturalną skorupy ziemskiej oraz cechami fizycznymi samej ziemi. Ciepło emitowane przez jądro Ziemi jest transportowane do chłodniejszych jej warstw powierzchniowych w których zlokalizowana jest górnicza działalność człowieka co przekłada się na rozkład wartości strumienia energii cieplnej, temperatury oraz gradientu geotermicznego, będącego odwrotnością stopnia geotermicznego, którego wskaźnik określa co ile metrów schodząc w głąb ziemi temperatura przyrasta o 1°C. Wartość stopnia geotermicznego zależy od wielu czynników wśród których wymienić należy: głębokość zalegania skał magmowych, tektonika masywów skalnych, lokalizacja procesów wulkanicznych, promieniotwórczych i geochemicznych, przewodnictwo cieplne skał oraz zachodzących w skorupie ziemskiej zjawisk hydrogeologicznych. Stopień geotermiczny był przedmiotem wielu badań naukowych w Polsce [1,2,3,4,5,6] i na świecie [7]. Wartość stopnia geotermicznego na świecie ulega dużym wahaniom od 1,5m w Lardello we Włoszech do 180m na Wyspach Bahama. W skali globalnej przyjmuje się, że średnia wartość stopnia geotermicznego wskazuje na przyrost temperatury o 1°C na każde 33m głębokości. Dla Polski wartość stopnia geotermicznego zawiera się w granicach od 20 do 110m/1°C [2], a dla Górnego Śląska (Rys. 1) wynosi średnio od około 28,8 do około 30,6 m/1°C [3].

Naturalne ciepło skał jest głównym, lecz nie jedynym czynnikiem wpływającym na wzrost zagrożenia klimatycznego w kopalniach. Według autorów [9] na klimatyczne warunki pracy w kopalniach wpływ mają również trzy inne grupy czynników:

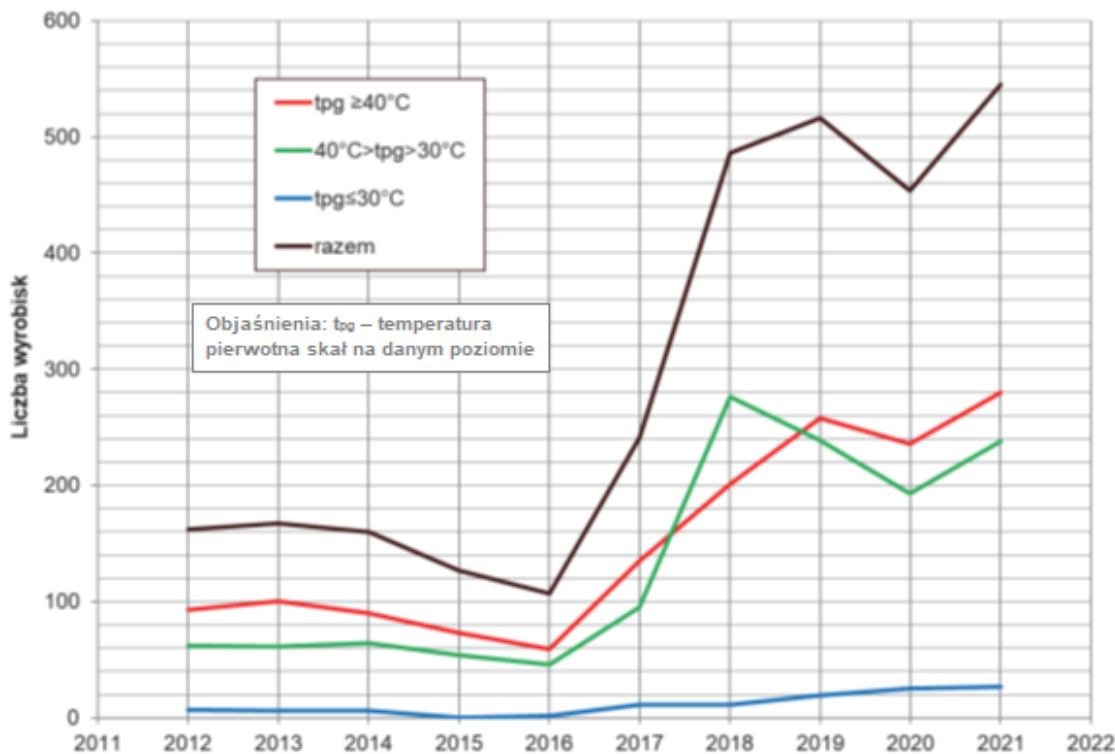
- **naturalne:** tj. głębokość zalegania złoża (wyrobisk), naturalna temperatura skał, zawodnienie górotworu,
- **górnice:** systemy eksploatacji złóż, wentylacja wyrobisk, zawodnienie wyrobisk, rozmiary zrobów otaczających wyrobiska,
- **techniczne:** gabaryty wyrobiska górniczego, intensywność przewietrzania, sposób kierowania stropem, wydajność cieplna urządzeń mechanicznych i elektrycznych stosowanych w procesie eksploatacji, sposób odwadniania wyrobisk, zastosowanie klimatyzacji (urządzeń chłodniczych), transport urobku, odstawa urobku itp.

Dodatkowo źródłem ciepła w wyrobiskach górniczych jest także samo powietrze, które, ulegając kompresji w polu grawitacyjnym Ziemi, zwiększa swoją temperaturę; na głębokości 1000 m o prawie $9,7^{\circ}\text{C}$, co znacząco wpływa na organizm człowieka, który w poszukiwaniu surowców mineralnych, schodzi na coraz głębsze poziomy.



Rys. 1.1. Mapa średniego gradientu geotermicznego ($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) dla utworów karbonu w obszarze GZW [8]

Z raportów [10] Wyższego Urzędu Górniczego wynika, iż głębokość eksploatacji w kopalniach węgla kamiennego i rud miedzi w Polsce wzrasta każdego roku średnio o około 8 metrów co sprawia, że obecnie prowadzi się eksploatację na głębokości 1200 metrów, co wiąże się ze stałym wzrostem temperatury powietrza w wyrobiskach górniczych wielu kopalń. Prowadzone badania w tym zakresie przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach (Rys. 2) wskazują, iż mimo postępującego procesu likwidacji części kopalń i zakładów górniczych od 2015 roku mamy do czynienia ze stałym ponad 5-krotnym wzrostem liczby wyrobisk z podwyższoną temperaturą powietrza w polskich kopalniach węgla kamiennego. W 2016 roku liczba wyrobisk z pogorszonymi warunkami klimatycznymi wynosiła 107, a w 2021 już 545, z czego 280 wyrobisk z podwyższoną temperaturą na 9 ruchach górniczych w kopalniach, w których temperatura pierwotna skał t_{pg} – przekraczała 40°C , 238 wyrobisk z podwyższoną temperaturą powietrza na 6 ruchach gdzie t_{pg} mieściła się w przedziale między 30 a 40°C i 27 wyrobisk z temperaturą powietrza przekraczającą dopuszczalne 28°C w kopalniach, gdzie temperatura pierwotna skał była mniejsza niż 28°C .



Rys. 1.2. Liczba wyrobisk z podwyższoną temperaturą powietrza w polskich kopalniach węgla kamiennego w latach 2012–2021 [11]

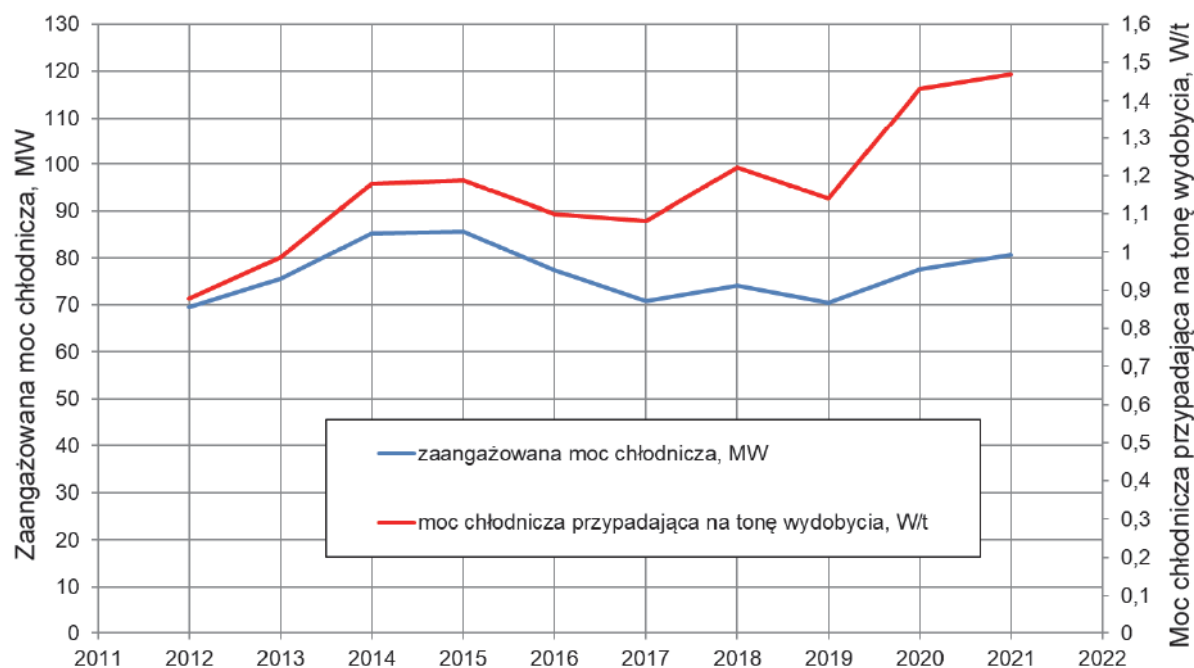
Z prezentowanych raportów [11] o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego (za lata 2016–2022) wynika, że najliczniejszą grupę wyrobisk z podwyższoną temperaturą powietrza stanowią wyrobiska korytarzowe z opływowym prądem powietrza i drażone wyrobiska z wentylacją lutniową. W roku 2021 na 545 wyrobisk z podwyższoną temperaturą powietrza 132 (24,2%) to drażone wyrobiska ślepe, a 366 (67,2%) to wyrobiska korytarzowe z opływowym prądem powietrza (Tabela 1.1). Najwięcej kopalń bo aż 7 z podwyższoną temperaturą powietrza znajdowało się w Jastrzębskiej Spółce Węglowej, obejmując 9 ruchów wydobywczych.

Wraz ze wzrostem liczby wyrobisk górniczych z podwyższoną temperaturą, wzrasta również przeciętna moc chłodnicza urządzeń klimatycznych stosowanych w górnictwie do zwalczania zagrożenia klimatycznego [163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170]. Licząc od 2016 r. do 2021 r. moc chłodnicza przypadająca na jednostkowe wydobycie wzrosła o 63% z wartości 0,90 W/t do 1,47 W/t (Rys 1.3) głównie za sprawą stosowanych w kopalniach węgla kamiennego urządzeń chłodniczych klimatyzacji stanowiskowej, grupowej i centralnej.

Tabela 1.1. Liczba wyrobisk z podwyższoną temperaturą powietrza w latach 2012-2021

Lp.	Kopalnia/Ruch	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Kopalnie kategorii A: $t_{pg} > 40^{\circ}\text{C}$											
1	Bielszowice	8	11	13	11	8	10	28	23	23	32
2	Borynia	7	6	13	10	12	20	30	23	24	24
3	Budryk	12	6	4	2	0	25	33	49	42	46
4	Halemba	13	10	9	10	10	44	35	36	28	47
5	Jas-Mos	9	23	10	15	5	8	9	—	—	—
6	Knurów	6	3	4	2	4	13	15	12	17	22
7	Pniówek	15	19	15	8	13	12	72	81	27	36
8	Rydułtowy	3	5	7	3	1	6	7	47	43	30
9	Sośnica	0	0	2	3	2	4	1	4	8	8
10	Zofiówka	22	21	15	15	7	16	13	22	24	35
Razem kategoria A		95	104	92	79	62	158	243	297	236	280
Kopalnie kategorii B: $40^{\circ}\text{C} > t_{pg} > 30^{\circ}\text{C}$											
11	Bogdanka	12	11	12	15	12	12	67	60	63	61
12	Brzeszcze	5	2	4	—	2	11	10	9	9	15
13	Centrum	4	5	4	0	0	0	0	—	—	—
14	Krupiński	12	6	5	5	3	0	0	—	—	—
15	Makoszowy	0	3	1	1	0	0	0	—	—	—
16	Marcel	1	2	3	2	2	12	23	19	12	13
17	Staszic	6	7	9	9	8	13	33	32	29	28
18	Szczygłowiec	8	6	8	6	6	14	30	22	19	19
19	Wesoła	4	9	3	8	6	10	69	58	61	102
Razem kategoria B		52	51	49	46	39	72	232	200	193	238
Kopalnie kategorii C: $t_{pg} < 30^{\circ}\text{C}$											
20	Bobrek	5	3	6	—	2	10	9	9	16	23
21	Murcki	2	4	2	0	0	0	0	—	—	—
22	Pokój	1	1	0	—	0	0	0	8	6	—
23	Wujek	7	4	11	2	4	1	2	2	3	4
Razem kategoria C		15	12	19	2	6	11	11	19	25	27
Wszystkie		162	167	160	127	107	241	486	516	454	545

Wśród ziębiarek o działaniu lokalnym kopalnie najczęściej stosują ziębiarki typu DV, ziębiarki typu TS, ziębiarki MK oraz ziębiarki typu GMC[20]. Z kolei klimatyzacja centralna w polskim górnictwie węgla kamiennego pracuje w kopalniach: „Bogdanka”, „Budryk” i „Pniówek”, a klimatyzacja grupowa jest zainstalowana w kopalniach: „Borynia-Zofiówka”, „Krupiński”, „Knurów-Szczygłowiec”, „Wujek”, „Murcki-Staszic”, „Mysłowice-Wesoła”, „Ruda” Ruch „Bielszowice”, „ROW” Ruch „Marcel” i Ruch „Rydułtowy”. Mimo tych wariantów, oraz szeregu innych działań profilaktycznych jak również opracowań naukowych zmierzających do poprawy warunków klimatycznych [12-22], nadal jednym z najczęściej stosowanych rozwiązań w walce z zagrożeniem klimatycznym jest skrócenie czasu pracy. Zasada ta częściowo zapobiega nadmiernemu przegrzaniu organizmu pracownika.



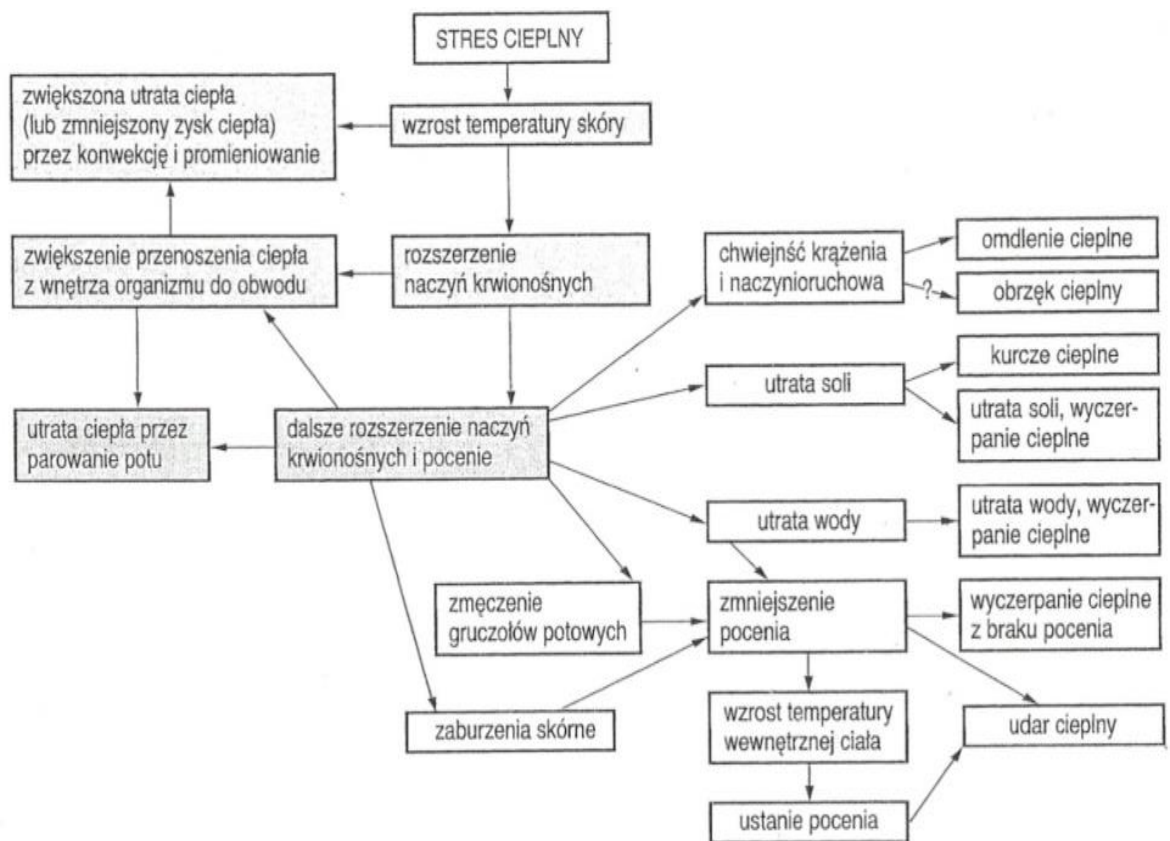
Rys. 1.3. Kształtowanie się zaangażowanej mocy chłodniczej w polskich kopalniach węgla kamiennego [11]

Z szerokiej literatury związanej z klimatem w kopalniach i klimatycznymi warunkami pracy górników [3,12,13,14,15] jasno wynika, iż oddziaływanie wysokich temperatur i dużej wilgotności na pracowników zatrudnionych w wyrobiskach podziemnych jest szkodliwe a nawet niebezpieczne dla ich zdrowia i przyczynia się do zaburzenia funkcjonowania organizmu, powodując takie problemy zdrowotne jak: zawały serca, omdlenia osłabienie, wymioty, skurcze i odwodnienie organizmu powstałe w wyniku wzrostu temperatury wewnętrznej człowieka zdeterminowanej wykonywaną pracą zgodnie z rysunkiem 1.4.

Przeciążenie organizmu ludzkiego wywołane wysoką temperaturą i dużą wilgotnością sięgającą niejednokrotnie 100% w wyrobiskach górniczych ujemnie wpływa na sprawność fizyczną i koordynację ruchową oraz na zdolność do reagowania na sygnały ostrzegawcze, koncentrację i zdolność do podejmowania szybkich decyzji co przyczynia się do znacznego spadku wydajności pracy. Przeciążenie organizmu ciepłem może objawiać się również różnymi formami zdenerwowania, złości oraz innymi emocjami prowadzącymi do niebezpiecznych zachowań na stanowisku pracy. W ostateczności pogorszenie warunków klimatycznych i wzrost temperatury ciała może doprowadzić do szoku termicznego, udaru cieplnego, a nawet śmierci. Polskie górnictwo węgla kamiennego w swojej historii odnotowywało już takie przypadki.

Nic więc dziwnego, że zmiana przepisów w zakresie oceny zagrożenia klimatycznego wprowadzona w 2013 r. Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie zagrożeń naturalnych [23] wywoła duże poruszenie wśród pracowników nie tylko kopalń węgla kamiennego, ale

również dwunastu górniczych central związkowych – w tym Krajowej Sekcji Górnictwa Węgla Kamiennego NSZZ „Solidarność”, które sprzeciwiały się próbom wprowadzenia w kopalniach węgla normy klimatycznego opartej na temperaturze zastępczej klimatu obliczanej według nowego wzoru wskazanego w rozdziale 6, Rozporządzenia Ministra Środowiska [23] i załączniku nr 3 Rozporządzenia Ministra Energii [25].



Rys. 1.4. Najczęstsze objawy dyskomfortu ciepłnego [24].

Wnosząc swój sprzeciw górnicy jak i organizacje związkowe zarzucili twórcom nowych uregulowań prawnych, iż wprowadzone przepisy „drastycznie” wpłyną na zdrowie i życie pracowników kopalń, ponieważ wyliczona temperatura na stanowiskach pracy będzie niższa o 2°C, przy prędkościach powietrza od 2 do 4 i więcej metrów na sekundę co spowoduje wydłużenie czasu pracy załóg górniczych w i tak już panujących trudnych warunkach klimatycznych [26,27,28].

Powstały spór między górnikami, stroną społeczną, a instytucjami nadzorującymi warunki pracy i rządem stał się impulsem do przeprowadzenia własnych badań społecznych nad istotą problemu i poszukiwaniem nowych rozwiązań, które wpłynęłyby na obniżenie zagrożenia klimatycznego w górnictwie surowców mineralnych (nie tylko węgla kamiennego) oraz zwiększyłyby poziom bezpieczeństwa i komfortu pracy górników.

W przedmiotowej rozprawie odwrotnie niż w szeroko przyjętej dotychczas literaturze [50,54,55,58,88,89,97,98,100,101,102,107,151] postanowiono odejść od rozważań nad nowymi metodami oceny warunków mikroklimatu w środowisku górniczym, a skupiono się nad praktyczną możliwością obniżenia temperatury ciała osób pracujących w trudnych warunkach klimatycznych dzięki zastosowaniu kamizelek chłodzących umożliwiającym zwiększenie możliwości oddawania nadmiaru ciepła z organizmu w wyniku przenoszenia ciepła z jednego ośrodka do drugiego w warunkach bezpośredniego kontaktu ciał o różnych temperaturach.

2. CELE I ZAKRES PRACY

Jak zasygnalizowano na wstępie niniejszej rozprawy, mimo likwidacji części kopalń polskiego górnictwa problem zagrożenia klimatycznego w wyrobiskach górniczych stale narasta. Stosowane w kopalniach węgla kamiennego systemy techniczne zmierzające do globalnego lub miejscowego ograniczenia parametrów cieplnych przepływającego przez wyrobiska górnicze powietrza nie są w stanie zapewnić w każdym przypadku właściwych warunków komfortu cieplnego górnikom zwłaszcza pracujących w wyrobiskach przygotowawczych i eksploatacyjnych. Wobec powyższego, należy poszukiwać innych rozwiązań i możliwości poprawy warunków klimatycznych pracy w kopalniach. Wsłuchując się w głos niezadowolonych górników, organizacji związkowych względem wprowadzanych zmian w polskich przepisach, regulacjach prawnych dotyczących oceny warunków klimatycznych i obciążenia cieplnego osób zatrudnionych w środowisku gorącym, jak również uwzględniając fakt, iż nie ma w obszarze górnictwa podziemnego rozwiązań ani wystarczających badań dla indywidualnego systemu chłodzenia organizmu pracownika, który byłby uzupełnieniem dotychczasowych rozwiązań technicznych stosowanych w górnictwie dla zwalczania zagrożeń klimatycznych, przeprowadzono badania związane z pracą górników w kamizelkach chłodzących. Przedmiotem zainteresowań naukowych prezentowanej rozprawy doktorskiej jest ocena wpływu stosowania w górnictwie dostępnych kamizelek chłodzących na poprawę klimatycznych warunków pracy górników i odpowiedź na pytanie czy wykorzystanie kamizelek chłodzących może wpłynąć na wydatek energetyczny pracowników zatrudnionych w trudnych warunkach mikroklimatu oraz poprawę bezpieczeństwa pracy.

Głównym celem naukowym (poznawczym) pracy doktorskiej jest ocena możliwości wykorzystania stosowanych w ratownictwie górniczym kamizelek chłodzących firmy Dräger CVP 5220 i AMKUS do codziennych prac w wyrobiskach o trudnych warunkach klimatycznych zwłaszcza przygotowawczych i eksploatacyjnych przez każdego górnika narażonego

na dyskomfort cieplny. Nadto, określony zostanie wpływ kamizelek chłodzących na wydatek energetyczny pracowników zatrudnionych w procesie wydobywczym kopalń węgla kamiennego.

W odniesieniu do sformułowanego głównego celu naukowego określono także następujące cele szczegółowe:

- opracowanie metody badań parametrów fizycznych górników narażonych na działanie wysokich temperatur w warunkach zbliżonych do naturalnych w komorze klimatycznej Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego w Bytomiu,
- opracowanie metody badań parametrów fizycznych górników narażonych na działanie wysokich temperatur w warunkach rzeczywistych jednej z kopalń,
- określenie wpływu wysokiej temperatury na podstawowe parametry życiowe górników tj.: częstość skurczów serca, wentylację płuc, konsumpcję tlenu, przyrost temperatury wewnętrznej organizmu, ilość potu wydzielanego podczas pracy i odwodnienie organizmu,
- pomiar i wyznaczenie wydatku energetycznego w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych,
- przeprowadzenie badań ankietowych i kwestionariuszowych wśród pracowników zatrudnionych w trudnych warunkach klimatycznych w górnictwie i biorących bezpośredni udział w badaniach,
- określenie wpływu kamizelek chłodzących na poprawę warunków pracy i parametrów wydolnościowych górników.

Sformułowane cele poznawcze determinują cel użyteczny pracy, który został odniesiony do rosnących wymagań, co do ograniczenia zagrożenia klimatycznego i poprawy komfortu pracy wynikającego z zastosowania kamizelek chłodzących jako środka ochrony indywidualnej. Jednocześnie osiągnięcie tego celu jest wynikiem praktycznego wdrożenia wiedzy pozyskanej w trakcie realizacji części naukowej pracy.

Celem użytecznym pracy, jest opracowanie wytycznych dla poprawy stanu bezpieczeństwa klimatycznego i komfortu cieplnego pracowników zatrudnionych w trudnych warunkach klimatycznych kopalń głębinowych dzięki powszechnemu wykorzystaniu kamizelek chłodzących do odprowadzenia większej ilości ciepła z organizmu przez przewodzenie. Zmiana parametrów fizjologicznych organizmu poprzez redukcję temperatury ciała powinna poprawić komfort i wygodę pracy w wysokiej temperaturze lub wykonywania czynności fizycznych o wysokim natężeniu. Zmiany te powinny umożliwić łatwiejszą akceptację wzrostu wydatku energetycznego czyli zwiększenie ilości produkowanego i wydzielanego ciepła metabolicznego w celu zachowania stałej temperatury wewnętrznej ciała ludzkiego.

Dodatkowym celem utylitarnym pracy będzie obniżenie ryzyka przegrzania organizmu pracownika dzięki zmniejszeniu obciążenia termicznego co powinno przełożyć się na zwiększenie wydajności i efektywności pracy w bardzo trudnych warunkach klimatycznych w wyrobiskach górniczych oraz poszukiwanie innych jeszcze lepszych rozwiązań w zakresie indywidualnego systemu ochładzania organizmu pracownika i wydłużenia ochronnego czasu działania kamizelek chłodzących. Osiągnięcie przedstawionych celów będzie możliwe dzięki praktycznemu wdrożeniu wiedzy pozyskanej w trakcie realizacji części poznawczej pracy.

Uwzględniając powyższe cele można przyjąć, iż głównym założeniem prezentowanej pracy doktorskiej jest ocena zmian funkcjonowania organizmu górnika zatrudnionego na stanowisku pracy w trudnych warunkach klimatycznych wyrobisk górniczych, wyposażonego w kamizelkę chłodzącą ułatwiającą wymianę ciepła między organizmem pracownika a otoczeniem przeprowadzona zarówno w warunkach laboratoryjnych, czyli w komorze klimatycznej Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego S.A. oraz w warunkach rzeczywistych pod ziemią w jednej z kopalń.

Zastosowanie kamizelek chłodzących, w połączeniu z wynikami pomiarów w warunkach rzeczywistych powinno umożliwić uzyskanie wiarygodnych wyników co do ich przydatności lub braku skuteczności w zakresie codziennego użytkowania przez pracowników w warunkach zagrożenia klimatycznego. Wyznaczone w trakcie badań parametry bilansu cieplnego są jednym z najskuteczniejszych sposobów oceny obciążenia cieplnego organizmu w środowisku gorącym. Wyniki przeprowadzonych badań powinny być wykorzystane do dalszych prac nad opracowaniem indywidualnego systemu chłodzenia organizmu pracownika możliwego do wykorzystywania nie tylko w trakcie akcji ratowniczych ale przede wszystkim w warunkach codziennej pracy w wyrobiskach górniczych o podwyższonej temperaturze.

Wieloaspektowość podjętego tematu oraz jego interdyscyplinarność wymusza szeroki zakres opracowania, uwzględniający rozważania teoretyczne oraz badania w warunkach rzeczywistych. Z tego też względu zakres pracy obejmuje:

- kwerendę literatury, w zakresie zastosowania badań modelowych do analizy zagadnień klimatycznych, w tym w szczególności zagrożenia klimatycznego w kopalniach głębinowych i przemian metabolicznych zachodzących w organizmie człowieka pod wpływem wysokiej temperatury,
- metody oceny obciążenia termicznego osób pracujących w otoczeniu gorącym w oparciu o wyniki badań przeprowadzonych w warunkach symulacyjnych w komorze klimatycznej lub na stanowisku pracy,

- przeprowadzenie badań ankietowych i kwestionariuszowych w celu subiektywnej oceny warunków pracy w kamizelkach chłodzących i bez nich osób biorących udział w badaniu,
- przeprowadzenie badań weryfikujących założoną tezę, iż zastosowanie kamizelek chłodzących przez pracowników umożliwi odprowadzenie większej ilości ciepła z organizmu w wyniku przewodzenia,
- opracowanie wytycznych (wniosków) odnośnie praktycznego wykorzystania pozyskanej wiedzy w celu poprawy stanu bezpieczeństwa klimatycznego oraz możliwości powszechnego stosowania chłodzących środków ochrony indywidualnej w procesie wydobywczym prowadzonym przez kopalnie głębinowe surowców.

Aktualność i istotność przedstawionego problemu badawczego oraz proponowane oryginalne jego rozwiązanie w pełni uzasadniają celowość podjętej tematyki badawczej, a przedstawiony zakres realizacji pracy powinien umożliwić osiągnięcie założonych jej celów i przyjętych tez pracy:

- I. Zastosowane kamizelek chłodzących przez pracowników kopalń jako środka ochrony indywidualnej, umożliwi odprowadzenie większej ilości ciepła z organizmu przez przewodzenie oraz zwiększa wygodę i komfort pracy.**
- II. Powszechne wykorzystanie kamizelek chłodzących do prac w wyrobiskach przygotowawczych i eksploatacyjnych kopalń głębinowych obniży ryzyko przegrzania organizmu i zwiększy bezpieczeństwo pracy.**
- III. Wykorzystanie kamizelek chłodzących jako indywidualnych środków ochrony osobistej pozwalających na obniżenie temperatury ciała pracownika należy uznać za uzupełnienie dotychczasowych rozwiązań technicznych stosowanych w górnictwie dla ograniczenia zagrożeń klimatycznych.**

3. PRZEGLĄD I ANALIZA PRZEPISÓW I OPRACOWAŃ W ZAKRESIE IDENTYFIKACJI ZAGROŻENIA KLIMATYCZNEGO W PODZIEMNYCH ZAKŁADACH GÓRNICZYCH

Zagrożenie klimatyczne w kopalniach głębinowych było i jest przedmiotem wielu regulacji prawnych nie tylko w Polsce ale również w Europie i na Świecie [38, 39, 40,41,42, 43, 44, 45, 46] różne aspekty rozważało i opisywało także liczne grono naukowców [123,125,127,137,162,181,186,192,198], którzy stworzyli podwaliny pod jego identyfikację, ocenę i monitorowanie.

3.1. Regulacje prawne.

W Polsce na przestrzeni ostatnich kilku lat w związku z niezadowoleniem społecznym doszło do zmiany przepisów w zakresie kryterium oceny zagrożenia klimatycznego w podziemnych zakładach górniczych. Wprowadzona w 2013 r. modyfikacja Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 14 czerwca 2002 r. w sprawie zagrożeń naturalnych Dz.U. 2002 nr 94 poz. 84 [29] i wprowadzenie temperatury zastępczej klimatu [30] spowodowała duże niezadowolenie społeczne wśród pracowników kopalń, które przełożyło się na kolejne modyfikacje z dnia 16 września 2019 r., [31] wprowadzające ponownie do oceny zagrożenia klimatycznego w zakładach górniczych pojęcie intensywności chłodzenia wyrażonej w katastopniach wilgotnych (K_w). Według nich:

Podstawowym kryterium oceny zagrożenia klimatycznego na stanowisku pracy jest występowanie:

- 1) temperatury powietrza mierzonej termometrem suchym większej niż 28°C lub intensywności chłodzenia mniejszej niż 11 katastopni wilgotnych albo
- 2) temperatury zastępczej klimatu większej niż 26°C

W podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny oceny zagrożenia klimatycznego dokonuje się przez określenie parametrów mikroklimatu powietrza kopalnianego na podstawie pomiaru temperatury powietrza termometrem suchym na stanowisku pracy i pomiaru intensywności chłodzenia na stanowisku pracy.

W podziemnych zakładach górniczych wydobywających kopaliny inne niż węgiel kamienny oceny zagrożenia klimatycznego dokonuje się przez wyznaczenie temperatury zastępczej klimatu w sposób określony w Polskiej Normie [32] dotyczącej wyznaczania temperatury zastępczej klimatu.

Zgodnie z modyfikacją Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 22 sierpnia 2019 r. [33] zmieniającą rozporządzenie w sprawie szczególnych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu zakładów górniczych: [34]

W zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny temperatura powietrza na stanowiskach pracy nie może przekraczać 28°C przy wykonywaniu pomiarów termometrem suchym, a intensywność chłodzenia nie może być mniejsza od 11 katastopni wilgotnych (K_w). W przypadku gdy temperatura powietrza mierzona termometrem suchym na stanowiskach pracy jest większa od 28°C , a nie przekracza 33°C , lub intensywność chłodzenia jest mniejsza od 11 katastopni wilgotnych (K_w):

- 1) stosuje się rozwiązania techniczne zwalczające to zagrożenie w celu osiągnięcia wartości dopuszczalnych
- 2) ogranicza się wymiar czasu pracy do 6 godzin, liczony łącznie z czasem zjazdu pod ziemię i wyjazdu na powierzchnię, dla pracowników przebywających na tych stanowiskach pracy dłużej niż przez 2 godziny.
- 3) w przypadku, gdy temperatura powietrza mierzona termometrem suchym na stanowiskach pracy przekracza 33°C, mogą być prowadzone tylko prace w ramach akcji ratowniczej.

Górnictwo przepisy klimatyczne stosowane są również w innych państwach, [35] gdzie granicą dopuszczalnej pracy górników jest amerykańska temperatura efektywna ATE = 30°C. W Belgii, Holandii, Afryce Południowej [...] przyjęto formułę zaproponowaną przez Bidlota, według której belgijska temperatura efektywna BTE w wyrobiskach górniczych nie mogła przekraczać 31°C. We Francji określona została tzw. Francuska temperatura zastępcza według której, normalne warunki pracy występują przy $TFR \leq 28^\circ\text{C}$. USA, Kanadzie Australii zgodnie z zaleceniami ACGIH (American Conference of Industrial Hygienists) oraz NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) w zakresie zwalczania zagrożenia klimatycznego stosowane są normy [36] dotyczące wskaźnika WBGT [37].

Oprócz regulacji prawnych, ważnym elementem wspomagającym właściwą ocenę zagrożenia klimatycznego w górnictwie są również obowiązujące polskie i międzynarodowe akty normatywne, wśród których wymienić należy:

- PN-EN ISO 7933:2005 „Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczenie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczeń przewidywanego obciążenia termicznego” z 2005 r. w której określono metodę analitycznego wyznaczania i interpretacji stresu cieplnego doznawanego przez człowieka w środowisku gorącym oraz podano metodę przewidywania tempa pocenia i temperatury wewnętrznej ciała powstających jako reakcja organizmu ludzkiego na warunki pracy co umożliwiło wyznaczania stresu cieplnego doznawanego przez człowieka. [37]
- PN-ISO 7726:2001 „Ergonomia środowiska termicznego. Przyrządy do pomiaru wielkości, w której zdefiniowano wielkości fizyczne charakteryzujące środowisko, określono podstawowe właściwości przyrządów do mierzenia tych wielkości i opisano metody pomiaru wielkości fizycznych środowiska,
- PN-EN ISO 8996:2022 „Ergonomia środowiska termicznego – wyznaczenie tempa metabolizmu, w której określono różne metody wyznaczania tempa metabolizmu w zakresie ergonomii termicznego środowiska pracy, który może być wykorzystany np.

oceny czynności podczas pracy, wydatku energetycznego w określonych zawodach lub zajęć sportowych, całkowitego wydatku energetycznego aktywności. Opisane w normie metody są podzielone na cztery poziomy o zwiększającej się dokładności: poziom 1, Przegląd, z tabelą zawierającą przykłady aktywności o małym, średnim i dużym tempie metabolizmu; poziom 2, Obserwacja, gdzie tempo metabolizmu jest szacowane przez badanie czasu i wykonywanego ruchu; poziom 3, Analiza, gdzie tempo przemiany materii jest szacowane na podstawie rejestracji tętna lub pomiarów akcelerometrycznych; oraz poziom 4, Ekspertyza, gdzie opisano bardziej wyrafinowane techniki. [213]

- PN-EN ISO 9886:2005 „Ocena obciążenia cieplnego na podstawie pomiarów fizjologicznych” w której opisano pomiary temperatury wewnętrznej ciała, temperatury skóry, częstości skurczów serca oraz utraty masy ciała. W normie opisano ponadto: ocenę obciążenia termicznego na podstawie częstości skurczów serca i ocenę stresu fizjologicznego na podstawie utraty masy ciała wynikającego z pocenia. Z kolei w załącznikach normy podano porównanie fizjologicznych metod oceny obciążenia termicznego, techniki pomiaru oraz graniczne wartości wskaźników fizjologicznych obciążenia termicznego.
- PN-EN ISO 7243:2018-01 „Ergonomia środowiska termicznego - Ocena obciążenia cieplnego za pomocą wskaźnika WBGT (temperatura wilgotnego termometru i poczernionej kuli)”, w której przedstawiono przesiewową metodę oceny obciążenia cieplnego oddziaływającego na człowieka oraz ustalenia dotyczące występowania lub nieistnienia tego obciążenia. Opisaną w normie metodę, stosuje się do oceny skutków gorąca u osoby podczas okresu reprezentatywnego dla jej lub jego całkowitego narażenia w ciągu dnia roboczego (do 8 h).
- PN-EN ISO 9920:2009 „Ergonomia środowiska termicznego - Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży”, w której określono, dla danego zestawu odzieży, metody oszacowania właściwości cieplnych (oporu przed utratą ciepła na sucho oraz straty ciepła przez parowanie) w warunkach równowagi cieplnej, na podstawie wartości uzyskanych dla znanych wyrobów odzieżowych, zestawów i tekstyliów [214].

3.2. Przegląd źródeł literaturowych.

Pojęcie zagrożenia klimatycznego w środowisku pracy czyli ujemnego wpływu temperatury i wilgotności powietrza na organizm ludzki sięga początków XX wieku, kiedy człowiek nauczył

się określać właściwości fizyczne powietrza tj. temperaturę, wilgotność, prędkość oraz oceniać ich wpływ na stan zdrowia i samopoczucia pracowników związane bezpośrednio z wzrostem temperatury ciała pracownika i brakiem możliwości oddania namiaru ciepła do atmosfery. Początkowo z uwagi na brak innych przyrządów pomiarowych warunki cieplne środowiska pracy określane były za pomocą temperatury powietrza mierzonej termometrem cieczowym o czym mogą świadczyć pierwsze polskie przepisy mówiące o skróceniu czasu pracy robotników kopalń podziemnych przy temperaturze 30°C [47]. Jednak ocena warunków cieplnych środowiska pracy przy pomocy samej temperatury powietrza okazała się niewystarczająca. Poszukiwanie lepszych rozwiązań doprowadziło do skonstruowania przez Augusta w 1828 r. przyrządu określającego wilgotność powietrza na podstawie wskazań dwóch identycznych termometrów zawieszonych obok siebie. Jeden miał banieczkę owiniętą mokrym muślinem stale zwilżanym z naczynia szklanego zawierającego destylowaną wodę. Naturalny ruch powietrza powodował odparowywanie wody z muślinu i oziębianie banieczki tzw. termometru mokrego. Różnica wskazań obu termometrów była miarą wilgotności powietrza. Zastosowana tu zasada okazała się tak dobra, że stosuje się ją nadal w nowoczesnych psychrometrach, w tym stosowanym w górnictwie powstałym kilka lat później 1887-1892 -psychrometrze Assmanna [48,49]. Zjawisko wilgotności wykorzystał w swoich badaniach Halande, który zauważył, iż temperatura wilgotna termometru t_w dobrze odzwierciedla reakcje fizjologiczne człowieka zachodzące w środowisku gorącym i można ją wykorzystać jako kolejny wskaźnik mikroklimatu. Dalsze badania w zakresie obciążenia termicznego zaowocowały wynalezieniem w 1913 r. [50] przez Hilla katatermometru, który jest przyrządem przeznaczonym do pomiaru natężenia chłodzenia organizmu człowieka w danym otoczeniu. W przybliżony sposób modeluje on proces wymiany ciepła między organizmem ludzkim a otoczeniem. Katatermometr jest termometrem alkoholowym z oznaczonymi temperaturami 35°C i 38°C. Średnia wartość tych temperatur wynosi 36.5°C i odpowiada w przybliżeniu temperaturze ciała ludzkiego. Im wolniej opada słup alkoholu w katatermometrze, tym mniejsze jest natężenie chłodzenia w danych warunkach środowiska pracy. Obniżanie temperatury następuje przede wszystkim na skutek wymiany ciepła przez konwekcję, promieniowanie oraz przewodnictwo cieplne. W celu uwzględnienia ochłodzenia spowodowanego parowaniem potu, zbiorniczek z alkoholem owija się zwilżonym w wodzie i dokładnie wyciśniętym muślinem. Ilość ciepła oddawana przez katatermometr do otoczenia podczas opadania alkoholu w granicach skali dla danego przyrządu jest wielkością stałą nazywaną powszechnie stałą katatermometru. Natężenie chłodzenia K wyrażone w katastopniach, czyli w $\text{mcal}/(\text{cm}^2\text{s})$, oblicza się dzieląc stałą katatermometru F przez czas opadania alkoholu τ (wzór nr 3.1)

$$K = \frac{F}{\tau} \text{ mcal/cm}^2 = \frac{F}{\tau} \cdot 41,86 \text{ W/cm}^2, \quad (3.1)$$

gdzie:

F- stała katatermommetru - 41.868 (W/m²)/(mcal/cm²s)

τ – czas opadania alkoholu

W celu przeliczenia intensywności chłodzenia wyrażonej za pomocą katatermommetru w mcal/(cm²s) na jednostki układu SI wyrażoną W/m², liczbę katastopni mnoży się przez stałą 41.868 (W/m²)/(mcal/cm²s). L. Hill [52,53,54,55] podał związki zachodzące między natężeniem chłodzenia Ks, podanym w katastopniach, oraz prędkością v powietrza i jego temperaturą T na termometrze suchym i mokrym. Dzięki odkryciom L Hilla, pomimo, że katatermometr ze względu na swoje rozmiary nie odzwierciedla w idealnym stopniu fizycznego modelu wymiany ciepła między organizmem ludzkim a otoczeniem ani pojemności cieplnej organizmu to określenie warunków klimatycznych na podstawie pomiarów katatermommetrem znalazło szerokie zastosowanie w polskim górnictwie i ponownie wróciło po trzech latach nieobecności w 2019 r. do zapisów obowiązujących aktów wykonawczych.

Według aktualnego stanu prawnego obowiązującego w Polsce w warunkach górniczych intensywności chłodzenia na stanowiskach pracy nie powinna być niższa niż 11 katastopni wilgotnych (Kw), w literaturze można znaleźć też inne opinie na temat dopuszczalnych wartości natężenia chłodzenia. K. Skoczyński uważał, że osiągnięcie w przodkach górniczych od 6 do 8 katastopni suchych lub 18 do 25 katastopni wilgotnych gwarantuje wysoki komfort pracy [56].

Ze względów praktycznych w górnictwie – w celu uniknięcia kłopotliwych pomiarów katatermommetrem stosuje się też często wzory pośrednie do uzyskania wartości katastopni na podstawie rezultatów pomiarów temperatury suchej i prędkości powietrza (3.2, 3.3):

$$\text{dla } w < 1 \text{ m/s} \quad K = (0,35 + 0,85 \sqrt[3]{v}) \cdot (36,5 - t_w) \quad (3.2)$$

$$\text{dla } w > 1 \text{ m/s} \quad K = (0,1 + 1,1 \sqrt[3]{v}) \cdot (36,5 - t_w) \quad (3.3)$$

gdzie:

K – katastopnie wilgotne, Kw,

v – prędkość powietrza, m/s,

t_w – temperatura wilgotna, °C.

Współcześnie w wielu krajach zajmujących się problematyką zagrożenia klimatycznego metody oceny obciążenia termicznego osób pracujących w otoczeniu gorącym nie ograniczają się tylko do oceny parametrów fizycznych środowiska pracy ale oparte są także na wynikach doświadczeń

prowadzonych w warunkach stworzonych w komorach klimatycznych lub istniejących na stanowiskach pracy. Badania te, umożliwiają również ocenę fizjologicznych i psychologicznych skutków długotrwałej pracy osób zatrudnionych w trudnych warunkach klimatycznych na ich stan zdrowia, komfort i wydajność pracy. W powyższych badaniach jak już wcześniej wspomniano podstawowe parametry mikroklimatu na stanowisku pracy są wyznaczone przy użyciu przyrządów pomiarowych stosowanych w wentylacji kopalń czy inżynierii środowiska [53, 56,57, 58, 59, 60, 61, 62] Z kolei reakcje fizjologiczne człowieka wyznaczone są za pomocą podłączonej do ciała pracownika aparatury medycznej, która monitoruje jego podstawowe parametry życiowe w zmiennych warunkach pracy. Reakcje psychologiczne badanych osób oceniane są na podstawie badań subiektywnych i behawioralnych.

Uzyskane wyniki badań były opracowywane najczęściej statystycznie i na tej podstawie wyznaczano optymalną dla danej grupy ludzi temperaturę otoczenia. Badania tego typu na ogół były łatwe do wykonania czym można tłumaczyć wielką liczbę publikacji na temat zagrożenia klimatycznego opracowanych we wszystkich częściach świata: [63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81. 82, 83, 84, 85, 86, 87]. W wielu z cytowanych badań pomijano jednak pomiary niektórych parametrów środowiska i nie określano wydatku energetycznego człowieka. W początkowym okresie badań pomijano także wpływ rodzaju odzieży na komfort cieplny. Stąd, jakkolwiek przedstawiane przez wymienionych autorów wyniki są bez wątpienia prawdziwe dla warunków w jakich je uzyskano, trudno jest uogólnić je dla innych warunków. Na przykład podczas wcześniejszych doświadczeń wykonywanych w środowisku naturalnym z reguły ubierano ludzi w ciężką odzież dzienną o niezdefiniowanych parametrach; z kolei obecnie, gdy nie jest możliwe dokładne odtworzenie parametrów używanej przez pracowników odzieży, zastosowanie wyników tych badań jest ograniczone.

Inną grupą badań były doświadczenia laboratoryjne, wykonane na ogół z udziałem stosunkowo małej grupy ludzi, które polegały na badaniach wpływu jednego lub wielu zmiennych parametrów środowiska na warunki komfortu cieplnego. Niekiedy były połączone również ze ścisłą obserwacją parametrów fizjologicznych człowieka [88, 89, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98]. Ciekawe studium przypadków dały również badania skoncentrowane na ocenie wpływu na warunki komfortu cieplnego, intensywnych źródeł promieniowania cieplnego, oraz zmian parametrów cieplnych i obserwacji szybkości przebiegu procesów metabolicznych [99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106]. W ostatnich kilkudziesięciu latach jako narzędzie badawcze oceniające zagrożenie klimatyczne w środowisku pracy naukowcy z całego świata propagują modele matematyczne, które umożliwiają określenie komfortu pracy w różnych warunkach klimatu [107, 108, 109, 110, 111, 112] oraz empiryczne zależności zawierające takie elementy: jak temperatura, wilgotność czy

prędkość powietrza [113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129]. Celem tych działań jest znalezienie syntetycznej zależności, która dałaby możliwość zagwarantowania bezpieczeństwa pracy w gorącym otoczeniu zwłaszcza w warunkach podziemnych kopalń głębinowych. Uważano bowiem, że do niebezpiecznego przegrzania organizmu może dojść, gdy zdolność chłodnicza organizmu będzie mniejsza od wartości wytworzonego ciepła w wyniku przemian metabolicznych [130, 131, 132, 133] 78, 149, 154]. Dla poparcia powyższych teorii, głównym obiektem badań w warunkach dołowych byli ratownicy górniczy, którzy zwłaszcza w trakcie prowadzenia akcji ratowniczych z użyciem aparatów oddechowych najbardziej narażeni byli na przegrzanie organizmu i udar cieplny. Badania wokół tej grupy zawodowej skupiły się tu na określeniu tolerancji cieplnej organizmu ratownika [134, 135, 136, 137, 138, 139, 140] oraz opracowaniu rozwiązań umożliwiających: chłodzenie ciała ratowników i wspomagających system oddychania [141, 142, 143, 144, 145, 146]. W badaniach klimatycznych i wydolnościowych brali udział również pracownicy innych oddziałów kopalni, u których próbowano określić m.in. zależność między częstością akcji serca a zużyciem tlenu, wpływ oddziaływania temperatury skał oraz wody podziemnej na parametry życiowe organizmu pracownika, analityczne parametry stresu cieplnego czy częstotliwość występowania udaru cieplnego i śmiertelnych zawałów serca u górników powyżej 40 roku życia pracujących w trudnych warunkach klimatycznych [147, 148, 149, 150, 151, 152]. Wszystkie te badania przyczyniły się do wyznaczenia wskaźnika dyskomfortu cieplnego [153, 154, 155, 156], który został opracowany przez J. Drendę na podstawie równania komfortu Fangera [157]. Wskaźnik ten określa stan niezadowolenia człowieka z warunków cieplnych otoczenia i zależy on od: parametrów środowiska, wydatku energetycznego pracownika, stopnia aklimatyzacji oraz izolacyjności termicznej odzieży.

Uwzględniając powyższe można stwierdzić, że wskaźniki charakteryzujące obciążenie cieplne najczęściej dzieli się na empiryczne i fizjologiczne. Pierwsze z nich, opracowane drogą empiryczną, odnoszą się do otoczenia, czyli do mikroklimatu, a nie do parametrów fizjologicznych osoby. Do tej grupy zalicza się między innymi temperaturę efektywną ET, skorygowaną temperaturą efektywną CET, katastroficznie, temperaturę mierzoną termometrem wilgotnym t_w , *WBGT* i inne. Wskaźniki fizjologiczne z kolei zależne są od obciążenia cieplnego człowieka i opracowane zostały na podstawie takich parametrów jak: temperatura wewnętrzna ciała t_{er} , wzrost temperatury wewnętrznej ciała w określonym czasie, wydatek energetyczny pracownika, średnia temperatura skóry ciała t_{sk} , przewidywany strumień potu S_w , a także niektóre parametry układu krwionośnego (na przykład częstość skurczów serca HR) lub oddechowego, związane z ogólnym obciążeniem ustroju człowieka spowodowane obciążeniem cieplnym. W tej grupie wskaźników

można wyróżnić PHS (Predicted Heat Strain), ITS (Index of Thermal Stress), P4SR (Predicted Four Hours Sweat Rate), zdolność chłodniczą otoczenia (Cooling Power), wskaźnik dyskomfortu cieplnego, ISO 7933. Nie w każdym przypadku pojęcie wskaźnik jest właściwe, gdyż niektóre wymienione nazwy dotyczą procedur postępowania przy ocenie mikroklimatu, których efektem jest zbiór wartości parametrów fizycznych i fizjologicznych, które dotyczą zmian zachodzących w organizmie człowieka. Wykorzystanie wskaźników fizjologicznych znalazło również swoje zastosowanie w górnictwie i w innych gałęziach przemysłu w celu precyzyjnego określenia klimatycznych warunków pracy człowieka.

4. WYBRANE WSKAŹNIKI OBCIĄŻENIA CIEPLNEGO ORGANIZMU

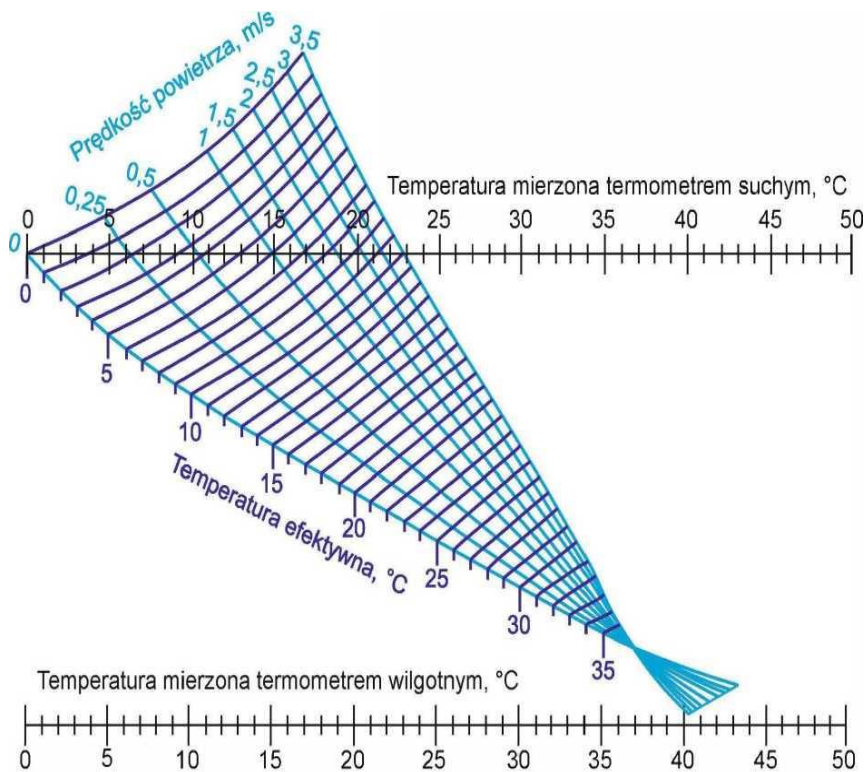
Najbardziej znanymi wskaźnikami klimatu poza opisaną wcześniej intensywnością chłodzenia dla środowiska górniczego wyznaczoną na podstawie pomiarów katatermometrem i obliczeniu wartości Kata (K) są:

- Temperatura efektywna amerykańska *ET* (oznaczana w Polsce przez *ATE*),
- Skorygowany wskaźnik temperatury efektywnej *CET*,
- Temperatura zastępcza klimatu t_{zk}
- Wskaźnik dyskomfortu cieplnego δ ,
- Temperatura zastępcza śląska *TŚ*,
- Wskaźnik obciążenia cieplnego *HSI*.
- Cooling power, *CP*
- Zmodyfikowany wskaźnik obciążenia cieplnego *ITS*,
- Wskaźnik *WBGT*.

4.1. Temperatura efektywna *TE* (amerykańska temperatura efektywna *ATE*)

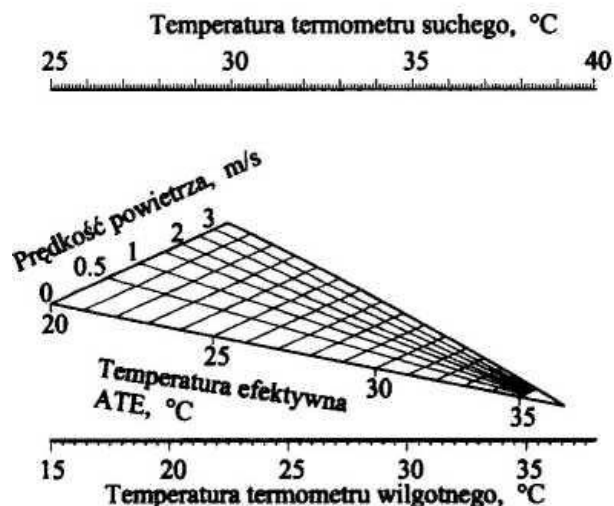
Temperatura efektywna (**TE**) definiowana jest jako temperatura nieruchomego i nasyconego wilgocią powietrza, o takiej samej zdolności chłodzącej organizm jaką ma powietrze o danej temperaturze mierzonej termometrem suchym t_s i o wilgotności względnej ϕ , przy jego ruchu z prędkością v_a . Wskaźnik ten odczytuje się z nomogramu (Rys. 4.1) na którym można w oparciu o różne kombinacje temperatury, prędkości i wilgotności powietrza wyznaczyć temperaturę efektywną przy której człowiek odczuwa jednakowe oddziaływanie cieplne, przy zbliżonych reakcjach fizjologicznych, takich jak: przyspieszenie tętna czy podniesienie temperatury ciała. Nomogramy zostały opracowanych dla ludzi ubranych w szorty lub kombinezony w wyniku badań prowadzonych na początku lat 20 ubiegłego stulecia przez American Society of Heating and Ventilating Engineers (ASHVE) [193, 194, 195]. W Polsce,

z uwagi na miejsce powstania często ten wskaźnik mikroklimatu określany jest mianem amerykańskiej temperatury efektywnej ATE [197]



Rysunek 4.1 . Przykład nomogramu służącego do wyznaczania temperatury efektywnej dla człowieka ubranego w zwykłą odzież letnią. [196]

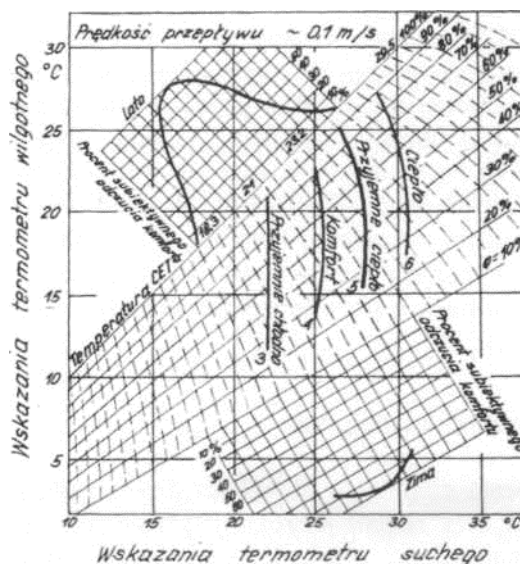
Amerykańską temperaturę efektywną, odpowiadającą warunkom najczęściej spotykanych w kopalniach przedstawiono na Rys. 4.2. Według normy amerykańskiej praca w ciągu 8 godzin jest dopuszczalna, gdy efektywna temperatura amerykańska jest mniejsza od 28°C. Gdy ATE zawiera się w granicach od 28 do 32°C, praca powinna być skrócona do 6 godzin oraz zmniejszona intensywność pracy lub norma produkcyjna. Powyżej temperatury efektywnej 32°C praca jest zabroniona. W górnictwie niemieckim obowiązuje norma, według której, z wyjątkiem kopalń soli, wielkość temperatury efektywnej amerykańskiej 30°C (w wyjątkowych wypadkach 32°C) stanowi granicę dopuszczalnej pracy górników. Normalna praca powinna odbywać się do 28°C temperatury powietrza mierzonego termometrem suchym t_s lub $ATE < 25^\circ\text{C}$. W przedziale temperatur $t_s > 28^\circ\text{C}$ lub $ATE > 25^\circ\text{C}$ oraz $ATE < 30^\circ\text{C}$ obowiązują skrócone czasy pracy. W kopalniach soli, gdy temperatura t_s powietrza jest niższa od 28°C, można pracować osiem godzin [118, 199]



Rys. 4.2. Amerykańska temperatura efektywna odpowiadająca wysokim temperaturom powietrza dla ludzi w hełmie, butach i lekkich szortach [132]

4.2. Skorygowany wskaźnik temperatury efektywnej CET

Skorygowany wskaźnik temperatury efektywnej CET powstał jako modyfikacja nomogramu temperatury efektywnej (TE) na którym nie uwzględniono wpływu ciepła wymienionego między organizmem a otoczeniem drogą promieniowania. W 1930r. H.M. Vernon wyeliminował tą wadę dzięki zastosowaniu do pomiaru temperatury powietrza i wyznaczenia wartości wskaźnika mikroklimatu zamiast termometru suchego t_s termometr poczerzonej kuli t_g o średnicy 150 mm [198]. Skorygowaną temperaturę efektywną przedstawiono na rysunku 4.3.



Rys. 4.3. Nomogram do wyznaczania skorygowanej temperatury efektywnej CET [201]

4.3. Temperatura zastępcza klimatu (tzk).

Temperatura zastępcza klimatu definiowana jest jako wskaźnik dodatniego obciążenia termicznego, wyznaczonego na podstawie pomiarów temperatury mierzonej termometrem suchym, temperatury mierzonej termometrem wilgotnym oraz prędkości ruchu powietrza. Według normy PN-G-03100: 1997 [216] wartości temperatury zastępczej klimatu odpowiadały wartościom odniesienia wskaźnika WBGT opisanego w normie: PN-EN 27243:2005 [207] wobec powyższego, temperaturę zastępczą klimatu można wyznaczyć na podstawie wzoru (4.1):

$$t_{zk} = 0,6 \cdot t_w + 0,4 \cdot t_a - v_a, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.1)$$

Gdzie:

t_a - temperatura powietrza mierzona termometrem suchym, $^\circ\text{C}$;

t_w - temperatura powietrza mierzona termometrem wilgotnym, $^\circ\text{C}$;

v_a – prędkość przepływu powietrza, m/s;

Ocena warunków klimatycznych na podstawie temperatury zastępczej klimatu polega na porównaniu wartości wskaźnika mikroklimatu z wartościami granicznymi wyznaczonymi dla różnych wydatków energetycznych [217], czyli od stopnia uciążliwości pracy.

Dopuszczalne graniczne wartości temperatury zastępczej klimatu wynoszą:

dla pracy lekkiej - $t_{zk} < 30,0^\circ\text{C}$,

dla pracy umiarkowanej - $t_{zk} < 28,0^\circ\text{C}$,

dla pracy ciężkiej - $t_{zk} < 26,0^\circ\text{C}$,

dla pracy bardzo ciężkiej - $t_{zk} < 25,0^\circ\text{C}$.

Według założeń normy PN-G-03100: 1997 czas pracy powinien być skrócony, jeżeli temperatura t_{zk} jest większa od wartości granicznych oraz praca powinna być zabroniona, gdy $t_{zk} \geq 32,0^\circ\text{C}$, z wyjątkiem akcji ratowniczych.

Poziom ciężkości pracy określa wydatek energetyczny odniesiony do jednostki powierzchni skóry, który wynosi:

- dla pracy lekkiej $65 < M \leq 130 \text{ W /m}^2$,
- dla pracy umiarkowanej $130 < M \leq 200 \text{ W /m}^2$,
- dla pracy ciężkiej $200 < M \leq 260 \text{ W /m}^2$,
- dla pracy bardzo ciężkiej $M > 260 \text{ W /m}^2$,

W przypadku przekroczenia wartości granicznych omawianego wskaźnika mikroklimatu należy stosować skrócony czas pracy. Czas pracy powinien zostać skrócony do 6 godzin, liczonych łącznie

za zjazdem i wyjazdem, jeżeli temperatura zastępcza klimatu nie przekracza wartości granicznych ustalonych przy maksymalnym wydatku energetycznym:

- dla pracy lekkiej 32°C,
- dla pracy umiarkowanej 30°C,
- dla pracy ciężkiej 28°C,
- dla pracy bardzo ciężkiej 27°C.

W 2014 została opublikowana nowa wersja normy PN-G-03100:1997 dotyczącej wyznaczania temperatury zastępczej klimatu PN-G-03100:2014-05. Podstawową różnicą w porównaniu do starszej wersji jest wprowadzenie definicji stanowiska pracy oraz użycie innych kryteriów ograniczających wartość prędkości powietrza przy wyznaczaniu wartości temperatury zastępczej klimatu.

W przypadku stanowisk zlokalizowanych w klimatyzowanych kabinach zamkniętych, należy przyjmować wartość prędkości powietrza 0 m/s. Natomiast dla stanowisk w wyrobiskach górniczych, w których średnia prędkość powietrza przekracza 2 m/s, należy przyjmować wartość $v_a = 2$ m/s. Zmianę tą wprowadzono z uwagi na niedoskonałości wskaźnika t_{zk} , i zaniżanie oceny obciążenia cieplnego w wyrobiskach, w których występuje wysoka prędkość powietrza. Temperatura zastępcza klimatu jest uwzględniona w aktualnych przepisach górniczych [33,34] i stosowana w kopalniach miedzi.

4.4. Wskaźnik dyskomfortu cieplnego δ .

Wskaźnik dyskomfortu cieplnego δ określa stan niezadowolenia człowieka z warunków cieplnych otoczenia, a jego wartość zależy od:

- parametrów fizycznych mikroklimatu, czyli rodzaju i intensywności pracy
- wydatku energetycznego pracownika,
- izolacyjności termicznej odzieży
- stopnia aklimatyzacji

Zostało on opracowany przez profesora Jana Drendę [153, 154, 155, 156] na podstawie równania komfortu Fanger'a [157] wzór (4.2)

$$S = M(1 - \eta) + E_o + P + C + R + E \quad (4.2)$$

gdzie:

S – akumulacja ciepła,

M – ciepło metabolizmu (wydatek energetyczny), W/m²

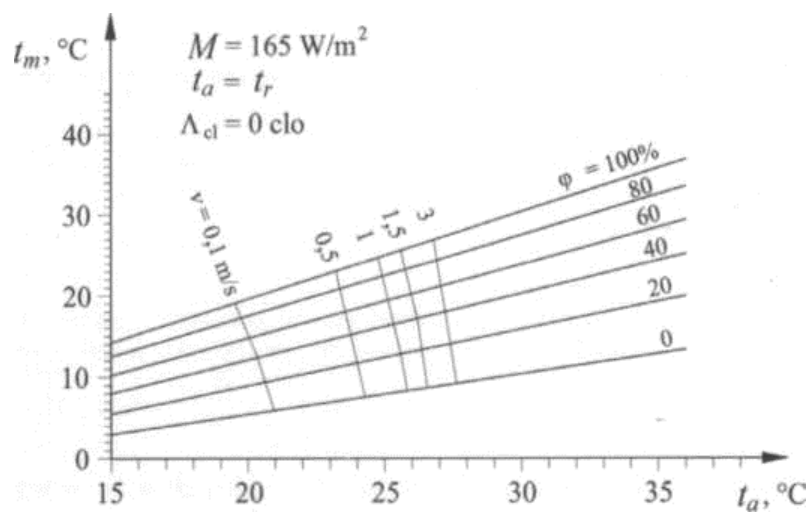
η – sprawność ruchowa

E_o – straty ciepła poprzez oddychanie

P, C, R – ilość ciepła wymienianego z otoczeniem na drodze przewodzenia, konwekcji i promieniowania

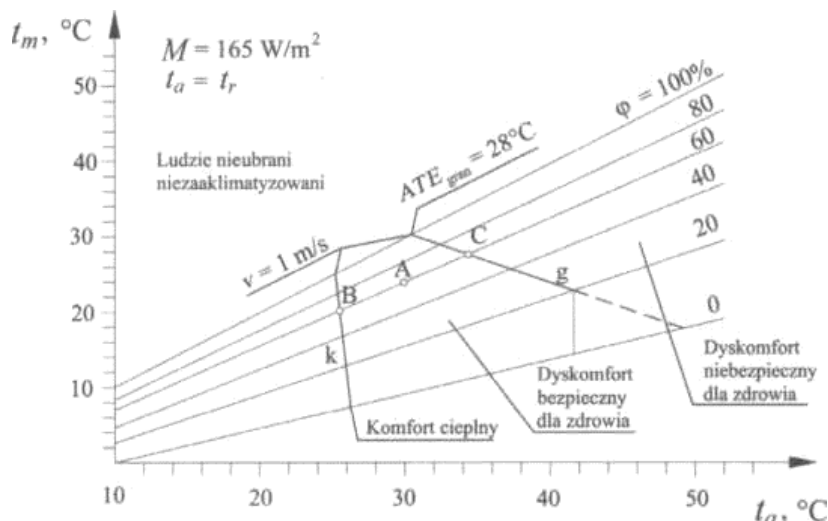
E – ilość ciepła wymienianego na drodze odparowania potu

Na rysunku 4.4 w układzie współrzędnych temperatur powietrza termometru suchego i wilgotnego na izoliniach wilgotności względnej powietrza oraz dla wydatku energetycznego pracownika, dla przyjętego założenia, że temperatura powietrza jest równa temperaturze otoczenia oraz dla ludzi nieubranych pokazano krzywe dyskomfortu ciepłego Fangera w zależności od prędkości powietrza. Jeżeli parametry środowiska nie odpowiadają punktom leżącym na krzywych komfortu ciepłego Fangera, to w środowisku tym panują warunki dyskomfortowe (chłodne i gorące).



Rys. 4.4. Krzywe komfortu ciepłego Fangera w układzie współrzędnych temperatura termometru suchego i temperatura termometru wilgotnego (t_a, t_w) dla wydatku energetycznego $M=165 \text{ W/m}^2$ [155]

Rysunek 4.5 pokazuje, że dyskomfort ciepły dzieli się na bezpieczny i niebezpieczny dla zdrowia i życia człowieka. Dyskomfort bezpieczny to taki dyskomfort, w którym wskaźniki mikroklimatu WBGT i ATE nie osiągają granicznych wartości odniesienia ustalonych na podstawie oceny parametrów fizjologicznych organizmu ludzkiego. Warunki klimatyczne, dla których wskaźniki WBGT lub ATE mikroklimatu przewyższają graniczne wartości odniesienia są już niebezpieczne dla zdrowia, czyli występuje dyskomfort niebezpieczny (Rys 4.5)



Rys. 4.5. Granice komfortu i dyskomfortu cieplnego [155]

Na podstawie krzywych komfortu cieplnego Fangera i granicznych wartości odniesienia wskaźników ATE dla różnych założeń, Profesor Jan Drenda wyznaczył wskaźnik dyskomfortu cieplnego δ z następującej zależności:

$$\delta = \frac{ATE_A - ATE_{komf}}{ATE_{gran} - ATE_{komf}} \quad (4.3)$$

gdzie:

ATE_A - Efektywna temperatura amerykańska występująca w środowisku A o znanych parametrach fizycznych powietrza odczytana z wykresu (Rys 4.2)

ATE_{komf} - Efektywna temperatura amerykańska określona dla parametrów fizycznych środowiska B, w których panują warunki komfortu cieplnego. Temperaturę należy odczytać z wykresu (Rys 4.2), przyjmując parametry fizyczne powietrza z wykresów komfortu cieplnego Fangera,

ATE_{gran} - Efektywna temperatura amerykańska graniczna, której wartość wyznaczana jest w zależności od wydatku energetycznego, stopnia aklimatyzacji pracownika i oporu cieplnego odzieży.

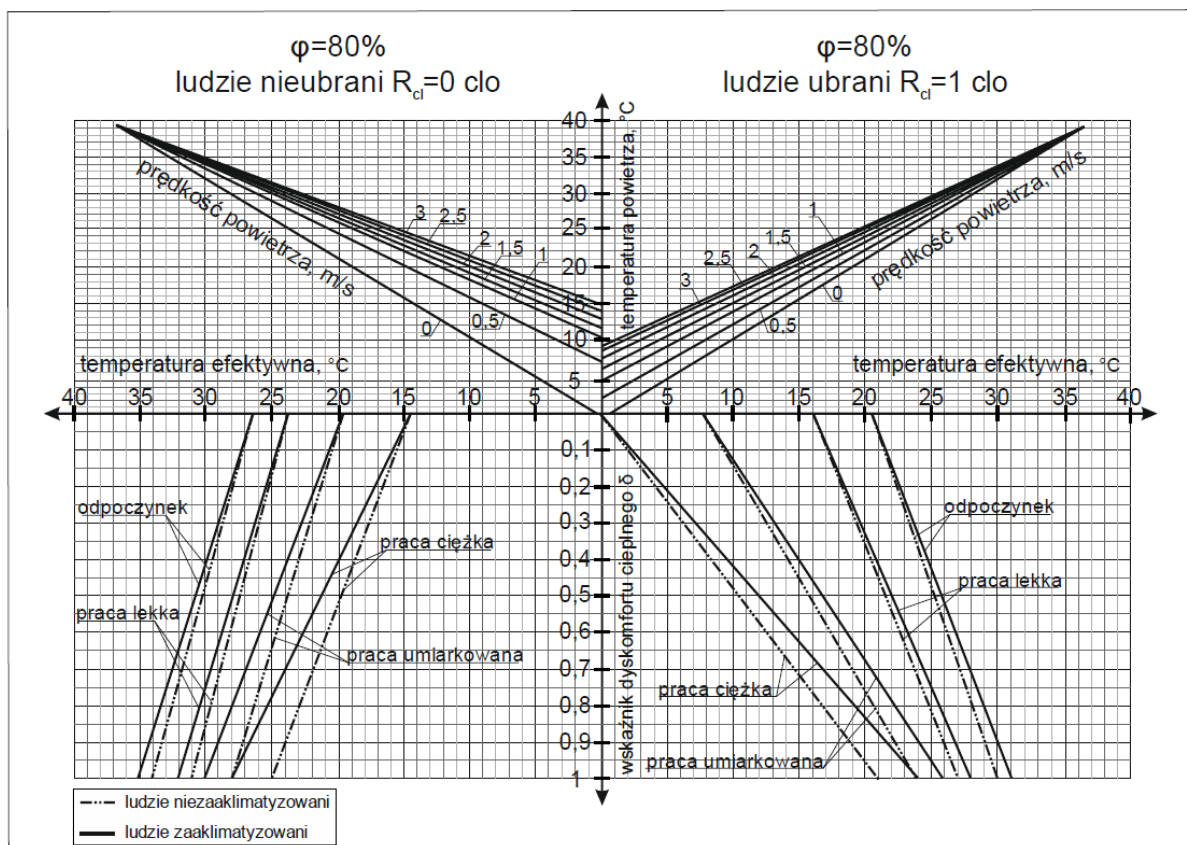
Wartości wskaźnika dyskomfortu cieplnego obrazujące warunki klimatyczne środowiska pracy przedstawia Tabela 4.1

Tabela 4.1. Wartości wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ [199].

Wartość wskaźnika δ	Opis środowiska i warunków klimatycznych
$\delta < 0$	środowisko odczuwane jest jako chłodne
$\delta = 0$	komfort cieplny
$0 < \delta < 0,2$	warunki klimatyczne korzystne; korzystne warunki klimatyczne można porównywać z warunkami komfortu cieplnego, czyli stanu zadowolenia człowieka z parametrów cieplnych otoczenia; warunki te powinny stanowić cel klimatyzacji pomieszczeń
$0,2 < \delta < 0,5$	zadowalające warunki klimatyczne; jest to dyskomfort cieplny, w którym człowiek nie odczuwa uciążliwości cieplnych; system termoregulacyjny skutecznie

Wartość wskaźnika δ	Opis środowiska i warunków klimatycznych
	utrzymuje stałą temperaturę wewnętrzną ciała ludzkiego; środowiska takie nie wymagają stosowania metod poprawy warunków klimatycznych
$0,5 < \delta < 0,8$	trudne warunki klimatyczne; w tych środowiskach człowiek odczuwa wyraźne niezadowolenie z warunków cieplnych otoczenia; występuje zwiększone wydzielanie potu, co jest wyraźnym symptomem dyskomfortu cieplnego; stan ten wymaga stosowania metod poprawy warunków klimatycznych;
$0,8 < \delta < 1$	bardzo trudne warunki klimatyczne; w tym przedziale wartości wskaźnika dyskomfortu cieplnego warunki klimatyczne są bardzo trudne, ale jeszcze bezpieczne; konieczna jest ich poprawa
$\delta \geq 1$	środowisko odczuwane jest jako zbyt ciepłe i dyskomfort jest niebezpieczny dla zdrowia; praca lub przebywanie człowieka w takich warunkach powinny być zabronione; dopuszczalna może być jedynie akcja ratownicza z zachowaniem wszelkich środków bezpieczeństwa

Wskaźnik dyskomfortu cieplnego można wyznaczyć za pomocą nomogramów, które są sporządzone dla różnych wilgotności względnych powietrza φ (20%, 40%, 60%, 80%, i 100%). Przykładowy nomogram znajduje się na Rys 4.6. W zależności od wilgotności względnej powietrza dobiera się odpowiedni nomogram, który umożliwi wyznaczenia wartości wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ . Każdy nomogram dzieli się na dwie części - prawą i lewą. Prawa część nomogramu odnosi się do człowieka ubranego w normalną odzież roboczą (koszula flanelowa, długie spodnie, bluza robocza) o oporze cieplnym 1 clo. Lewa część nomogramu odnosi się do człowieka nieubranego (0 clo). Nomogramy powstały przy założeniu upraszczającym, że średnia temperatura promieniowania cieplnego otoczenia jest równa temperaturze powietrza. Założenie to jest spełnione dla większości kopalnianych wyrobisk.



Rys. 4.6. Nomogram do wyznaczania wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ [218]

4.5. Temperatura zastępcza śląska TŚ

Temperatura zastępcza Śląska TŚ powstała jako miernik cieplnych warunków pracy w polskich kopalniach węgla kamiennego oraz kopalniach rud miedzi. Wartość wskaźnika zależy od temperatury mierzonej termometrem suchym t_a i wilgotnym t_w , prędkości przepływu powietrza v_a i wilgotności względnej powietrza ϕ . Według autora [219,218] ostatni człon wzoru redukuje wpływ dużych prędkości przepływu powietrza na wartość wskaźnika mikroklimatu, co umożliwia zastosowanie go do oceny warunków mikroklimatu w każdym wyrobiskach górniczych. Temperatura zastępcza Śląska posiada charakterystykę przebiegu w układzie współrzędnych (t_a , t_w) zbliżoną do charakterystyki efektywnej temperatury amerykańskiej i na podstawie danych z rutynowo prowadzonych w kopalniach pomiarów parametrów klimatu i przepływu powietrza może być łatwo obliczana, według wzoru 4.4

$$T\acute{S} = 0,7 \cdot t_w + 0,3 \cdot t_a - (1,7 - \phi) \cdot \phi \cdot v, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.4)$$

Gdzie:

t_a - temperatura powietrza mierzona termometrem suchym, $^\circ\text{C}$;

t_w - temperatura powietrza mierzona termometrem wilgotnym, $^\circ\text{C}$;

v_a – prędkość przepływu powietrza, m/s;

φ – wilgotność względna; %

Profesor Jan Drenda w swoich publikacjach zaproponował też normowanie czasu pracy według określonych wartości temperatury zastępczej ślaska $T\acute{S}$ (Tabela 4.2):

Tabela 4.2. Normatywny czas pracy wg wskaźnika temperatury zastępczej ślaskiej $T\acute{S}$

Wartość wskaźnika $T\acute{S}$	Norma czasu pracy
$T\acute{S} < 26\text{ }^\circ\text{C}$	Normalny czas pracy
$26\text{ }^\circ\text{C} \leq T\acute{S} < 30\text{ }^\circ\text{C}$	skrócony czas pracy do 6 godzin
$T\acute{S} \geq 30\text{ }^\circ\text{C}$	praca zabroniona z wyjątkiem prowadzenia akcji ratowniczych

4.6. Wskaźnik obciążenia cieplnego HSI.

Wskaźnik obciążenia cieplnego HSI (Heat Stress Index) obrazuje natężenie uciążliwości warunków termiczno-wilgotnościowych. Wyraża on (w %) stosunek strat ciepła na parowanie z powierzchni ciała człowieka, które są niezbędne dla zachowania równowagi cieplnej organizmu (E_{req}) oraz maksymalnej ilości ciepła jaka może być odprowadzona przez odparowanie potu (E_{max}) z całkowitej wygolonej skóry, w danych warunkach. Przybliżoną wartość wskaźnika HSI określa stosunek (4.5):

$$HSI = \frac{E_{req}}{E_{max}} \cdot 100\% \quad (4.5)$$

Gdzie:

HSI – wskaźnik obciążenia cieplnego, %;

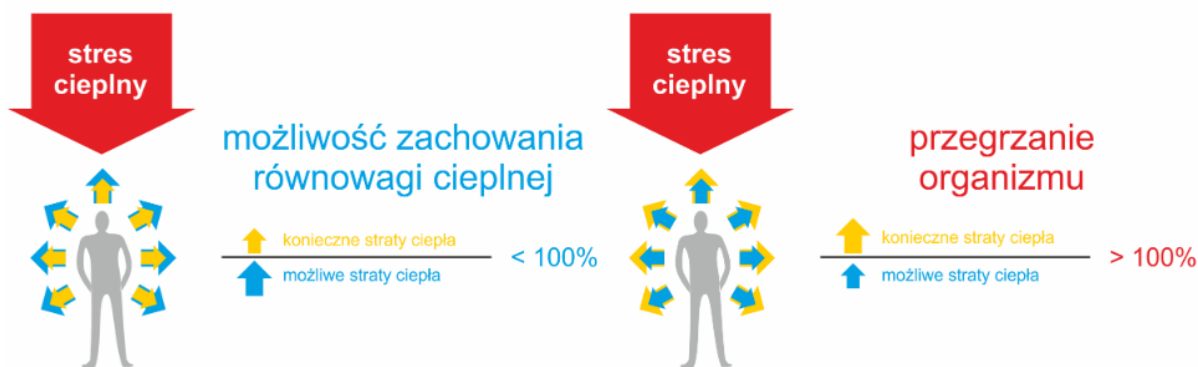
E_{req} – strata ciepła przez parowanie potu, niezbędna do utrzymania równowagi cieplnej organizmu, W/m^2 ;

E_{max} – maksymalna ilość ciepła, jaka może być odprowadzona przez odparowanie potu, W/m^2 ;

Przy wyznaczaniu E_{req} (H.S. Beldinga) i (T:F. Hacha) obliczyli straty ciepła drogą konwekcji C i promieniowania R z zależności (4.6)

$$E_{req} = M - (C + R) \quad (4.6)$$

Do obliczeń wprowadzono również współczynniki w celu uwzględnienia rodzaju odzieży. Sporządzono także nomogram umożliwiający wyznaczenie maksymalnego czasu pracy. Granice bezpieczeństwa zostały podane w postaci kombinacji wydzielania potu S_w mniejszego od $1\text{ dm}^3/\text{h}$ oraz mniejszej od 100% wartości wskaźnika HSI . Rys. 4.7



Rys. 4.7. Granice bezpieczeństwa dla wskaźnika obciążenia cieplnego *HSI*. [202]

Z przeprowadzonych obserwacji i badań wynika, iż przy wartości wskaźnika HSI 40-60% niezbędna jest aklimatyzacja, a przy wyższych wartościach - konieczna medyczna selekcja pracowników. Wartość $HSI = 100\%$ została uznana za maksymalną, tolerowaną przez zdrowych i sprawnych młodych pracowników. Autorzy opracowanego wskaźnika wskazali, iż po przekroczeniu $HSI = 100\%$, zachodzi niebezpieczeństwo podwyższenia temperatury wewnętrznej organizmu pracownika dlatego należy liczyć się z ograniczeniem czasu ekspozycji.

Poszczególne wartości HSI odpowiadają następujące stopnie obciążenia organizmu i reakcje fizjologiczne przedstawione w Tabeli 4.3 [200]:

Tabela 4.3. Wartości wskaźnika HSI.

HSI (%)	Natężenie stresu cieplnego, efekt fizjologiczny
≤ 0	łagodny stres chłodu
0,1 - 10	warunki termoneutralne (brak obciążeń termiczno-wilgotnościowych),
10,1 - 30	łagodny lub umiarkowany stres cieplny,
30,1 - 70	silny stres cieplny, zagrożenie dla zdrowia dla osób niezaaklimatyzowanych
70,1 - 90	bardzo silny stres cieplny, niezbędne dostarczanie wody i soli mineralnych
90,1 - 100	maksymalny stres cieplny, tolerowany przez młode, zaaklimatyzowane osoby
> 100	niebezpieczeństwo podwyższenia temperatury wewnętrznej, czas przebywania w takich warunkach musi być nadzorowany.

4.7. Cooling power, CP

Cooling power [6], czyli siła chłodząca powietrza oddziaływująca na człowieka znajdującego się w środowisku o danym klimacie, zależy od trzech podstawowych sposobów wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem, do których zalicza się: konwekcję, promieniowanie cieplne i parowanie potu. Wskaźnik ten oblicza się ze wzoru (4.7):

$$CP = C + R + E, \quad (4.7)$$

gdzie:

- C - gęstość strumienia ciepła wymienianego przez ciało ludzkie z powietrzem przez konwekcję,
- R - gęstość strumienia ciepła wymienianego przez ciało ludzkie z otoczeniem przez promieniowanie,
- E - gęstość strumienia ciepła odbieranego przez powietrze z powierzchni skóry przez parowanie potu.

W obliczeniach „cooling power” przyjmuje się stałą bezpieczną temperaturę powierzchni ciała człowieka równą 35°C. Szczegółowy wzór dla obliczania siły chłodzącej powietrza „cooling power” przedstawia wzór (4.8) [21, 186]:

$$CP = 17 \left(\frac{t_r}{2} + 290,7 \right)^3 \cdot 10^{-8} (t_{SK} - t_R) + h_c (t_{SK} - t_s) + 0,0167 \cdot h_c (e_{SK} - e_s) \quad (4.8)$$

gdzie:

t_R - średnia temperatura promieniowania cieplnego otoczenia (przyjmuje się, że jest równa temperaturze powietrza), °C,

t_s - temperatura powietrza, °C,

t_{SK} - średnia temperatura skóry człowieka (przyjmuje się $t_{SK} = 35^\circ\text{C}$),

h_c - współczynnik wymiany ciepła przez konwekcję $\text{W/m}^2\text{C}$, który oblicza się:

- dla konwekcji swobodnej:

$$h_c = 2,38 \cdot |t_{SK} - t_s|^{0,25}$$

- dla konwekcji wymuszonej:

$$h_c = 3,5 + 5,2 \cdot w \quad \text{gdy } w \leq 1\text{m/s},$$

$$h_c = 8,7 \cdot w^{0,6} \quad \text{gdy } w > 1\text{m/s}$$

e_{SK} - ciśnienie cząstkowe pary wodnej dla temperatury skóry, Pa,

e_s - ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu, Pa.

Wskaźnik klimatu „cooling power”, określający siłę chłodzącą powietrza i otoczenia w jednostkach gęstości wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a powietrzem i otoczeniem [W/m^2], wskazuje na rodzaj pracy i wysiłku fizycznego człowieka przebywającego w danym środowisku, czyli na jego wydatek energetyczny i pracę jaką można bezpiecznie wykonywać w danym klimacie.

4.8. Zmodyfikowany wskaźnik obciążenia cieplnego ITS

Zmodyfikowany wskaźnik obciążenia cieplnego (*Index of Thermal Stress*, ITS) wprowadzony został w 1963 r. przez Beniamina Givoni (1963), który zauważył, że do wyznaczenia gęstości strumienia odparowania E_{req} można posłużyć się bilansem cieplnym (4.9) [203].

$$E_{req} = M - (C + \bar{R}) - R_s, \text{ W/m}^2 \quad (4.9)$$

gdzie:

\bar{R} - gęstość strumienia ciepła przenoszona przez promieniowanie, bez uwzględnienia promieniowania słonecznego, W/m²;

R_s - gęstość strumienia ciepła promieniowania słonecznego, W/m²;

Z kolei przy wyznaczaniu gęstości strumienia wydzielanego potu S_w skorzystać można z pojęcia efektywności odparowania η wydzielanego potu (4.10)

$$S_w = \frac{E_{req}}{\eta}, \text{ W/m}^2 \quad (4.10)$$

Wobec czego wskaźnik ITS jest równy (4.11):

$$ITS = \frac{M - (C + \bar{R}) - R_s}{0,37\eta}, \text{ g/h} \quad (4.11)$$

gdzie:

C - gęstość strumienia ciepła przenoszona przez konwekcję, W/m²;

M - ciepło metabolizmu (wydatek energetyczny), W/m²;

η - efektywności odparowania, bez wymiaru

Wyrażenie bez czynnika 0,37 w mianowniku stanowi wartość wskaźnika w jednostkach energetycznych.

4.9. Wskaźnik WBGT

Wskaźnik WBGT pozwala na ocenę najwyższego dopuszczalnego obciążenia cieplnego organizmu w środowisku gorącym a jego nazwa pochodzi od nazw czujników wykorzystywanych do pomiarów parametrów środowiska: do pomiaru temperatury w stanie wilgotnym (temperatura wilgotnego termometru – Wet Bulb) oraz pomiaru temperatury pocernionej kuli (Globe Temperature). Został on opracowany w latach 50 ubiegłego wieku przez C.P. Yaglou i C.D. Minarda [205], pierwotnie na potrzeby wojska jednak szybko znalazł on również zastosowanie w działaniach na rzecz poprawy bezpieczeństwa i higieny pracy propagowanych przez międzynarodowe i krajowe organizacje oraz instytucje (m.in. NIOSH, ISO, EN) [206].

WBGT jako wskaźnik używany do oceny obciążenia cieplnego organizmu do 2017 r. był powiązany z wydatkiem energetycznym i przedstawiony w postaci tabel w polskim wydaniu normy PN-EN 27243:2005 (oraz PN-EN 27243:2005P) [2011]. W 2017 r. norma ta została zastąpiona dokumentem EN ISO 7243:2017, a w styczniu 2018 r. zatwierdzono polskie tłumaczenie normy PN-EN ISO 7243:2018-01. W nowym wydaniu normy PN-EN ISO 7243: 2018-01 doprecyzowano

wartości odzieżowego współczynnika korygującego CAV, który po uwzględnieniu wpływu odzieży na wartość wskaźnika obciążenia cieplnego pracownika określa wartość WBGT_{eff}.

Wskaźnik WBGT jest funkcją dwóch lub trzech zmiennych: temperatury poczernionej kuli (t_g), temperatury naturalnej wilgotnej (t_{nw}) oraz (w przypadku oddziaływania promieniowania słonecznego) temperatury powietrza (t_a), (wzory 4.12 i 4.13)

- bez promieniowania słonecznego

$$WBGT = 0,7 \cdot t_{nw} + 0,3 \cdot t_g \quad (4.12)$$

- gdy występuje promieniowanie słoneczne:

$$WBGT = 0,7 \cdot t_{nw} + 0,2 \cdot t_g + 0,1 \cdot t_a \quad (4.13)$$

Istnieje również odmiana wskaźnika WBGT opracowana w GIG-u, według której przybliżony wskaźnik (określony za pomocą pomiarów psychroaspiratorem) wynosi (4.14):

$$WBGT = 0,67 t_{nw} + 0,33 t_a \quad (4.14)$$

gdzie:

t_{nw} - temperatura wilgotna naturalna, mierzona termometrem wilgotnym stacjonarnym, °C

t_g - temperatura poczernionej kuli (temperatura globalna), mierzona termometrem w kuli o średnicy 15 cm o czarnych ściankach (termometr Vernona), °C

t_w - temperatura wilgotna naturalna, mierzona termometrem wilgotnym stacjonarnym, °C

t_a - temperatura powietrza mierzona termometrem suchym, °C

W normie PN-EN ISO 7243 znajdują się wymagania techniczne dotyczące stosowanych czujników do pomiarów ww. parametrów. Zakres oraz dokładność pomiaru wynoszą odpowiednio: dla temperatury naturalnej wilgotnej 5 ÷ 40 °C (±0,5 °C), dla temperatury poczernionej kuli 20 ÷ 50 °C (±0,5 °C) oraz 50 ÷ 120 °C (±1 °C), (dla kuli o średnicy 150 mm), dla temperatury powietrza 10 ÷ 60 °C (±0,5 °C) [209]

Zgodnie z zapisami normy PN-EN ISO 7243 pomiary parametrów mikroklimatu służących do obliczania wskaźnika WBGT powinny być prowadzone w reprezentatywnym okresie około 1 h. na wysokości 1,1 m, natomiast w przypadku pozycji siedzącej na wysokości 0,6 m. Odczyty parametrów czyli temperaturę poczernionej kuli i temperaturę termometrem wilgotnym należy prowadzić w środowisku gorącym z dużą częstotliwością co sekundę lub minutę. (PN-EN ISO 7243:2018-01).

W przypadku wystąpienia zmienności czasowej parametrów (np. t_g, t_{nw}) lub szacowanych wartości (np. tempo metabolizmu), należy wyznaczyć reprezentatywną wartość średnią ważoną, której podstawą czasu jest okres 1 h, zgodnie ze wzorem (4.15).

$$p' = \frac{(p_1 \cdot t_1) + \dots + (p_n \cdot t_n)}{t_1 + \dots + t_n} \quad (4.15)$$

gdzie:

p_1, \dots, p_n to poziom badanego parametru uzyskanego w czasie t_1, \dots, t_n ; a $t_1 + \dots + t_n = 1$ h.

W przypadku szacowania ilości ciepła wytwarzanego przez organizm, a zatem określania tempa metabolizmu, można się posłużyć wartościami podanymi w załączniku normy PN-EN ISO 7243 bądź posiłkować się zapisami normy PN-EN ISO 8996. Oszacowaną całkowitą ilość ciepła wytwarzanego w czasie 8 h czasu pracy należy przyporządkować do odpowiedniej klasy tempa metabolizmu przedstawionego w Tabeli 4.4

Tabela 4.4. Klasyfikacja poziomów tempa metabolizmu [209]

Klasa tempa metabolizmu	Średnie tempo metabolizmu, W	Opis czynności
0 (spoczynek)	115	siedzenie swobodne
1 (praca lekka zamknąć)	180	lekka praca ręczna
2 (praca średnio ciężka)	300	długotrwała praca ręką i ramieniem; praca kończyną górną i dolną
3 (praca ciężka)	415	intensywna praca ramieniem i tułowiem; przenoszenie ciężkich materiałów
4 (praca bardzo ciężka)	520	bardzo intensywna praca wykonywana w tempie od szybkiego do maksymalnego

W związku z tym, że stopień obciążenia cieplnego zależy od stosowanej przez pracownika odzieży, należy to ująć w obliczeniach. Jest to uwzględniane przez wartość korekcji odzieżowej CAV (Clothing Adjust-ment Value). Zgodnie z zapisami normy PN-EN ISO 7243 wartość CAV jest dodawana do obliczanej wartości WBGT, a uzyskana wówczas wartość WBGT_{eff} jest wartością reprezentującą oszacowanie obciążenia cieplnego pracownika, które powoduje stosowana odzież robocza. Wartość WBGT_{eff} określa się jeżeli pracownik stosuje inną odzież niż standardowa odzież robocza, według równania wzór 4.16:

$$WBGT_{eff} = WBGT + CAV \quad (4.16)$$

gdzie:

CAV- wartość korelacji odzieżowej

WBGT – Wskaźnik WBGT obliczony z zależności (4.17)

W załączniku F do normy PN-EN ISO 7243 znajduje się wykaz wartości CAV. Przykładowe wartości zamieszczono w Tabeli 4.5.

Tabela 4.5. Przykładowe wartości korekcji odzieżowej CAV (208, 210)

Zestaw odzieży	Izolacyjność cieplna zestawu odzieży. clo	CAV WBGT, °C
Standardowe ubrania robocze wykonane z tkaniny (zestaw referencyjny)	0,6	0
Kombinezon wykonany z tkaniny bawełnianej poddanej obróbce (lub z lekkiego poliestru)	Brak danych	0
Kombinezon bawełniany	1,0	2
Odzież wykonana z podwójnej warstwy tkaniny - przeznaczony do zakładania na odzież roboczą	Brak danych	3
Zimowa odzież robocza	1,4	4
Kombinezon z kapturem z pojedynczej warstwy z barierą przepuszczalną (np. kombinezony ochronne, kombinezony chroniące przed substancjami chemicznymi)	Brak danych	11

Wartość korekcji odzieżowej odzwierciedla wpływ stosowania odzieży innej niż standardowa odzież robocza. Zwykle CAV zwiększa się wraz ze zwiększaniem oporu dla pary wodnej. Na CAV wpływają również takie czynniki, jak: ciepło promieniowania, prędkość powietrza, ruchy ciała czy pośrednio wilgotność odzieży (PN-EN ISO 7243). Jeżeli dla badanego zestawu odzieży wartość CAV nie została wyznaczona, istnieje możliwość jej oszacowania na podstawie takiej wartości dla odzieży o zbliżonych właściwościach cieplnych (które są dokładnie opisane w normie PN-EN ISO 9920) [214]. Po wykonaniu wszystkich obliczeń wyznaczone wartości WBGT (lub $WBGT_{eff}$) porównuje się z wartościami odniesienia, które odpowiadają bezpiecznym poziomom ciągłej ekspozycji do 8 h (Tab. 4.6.).

Tabela 4.6. Wartości odniesienia WBGT ($WBGT_{eff}$) dla osób zaaklimatyzowanych i niezaaklimatyzowanych, w odniesieniu do pięciu klas tempa metabolizmu [208; 215]

Tempo metabolizmu (klasa)	Średnie tempo metabolizmu, W	progowa wartość odniesienia WBGT °C	
		dla osób zaaklimatyzowanych	dla osób niezaaklimatyzowanych
Klasa 0 - spoczynkowe tempo metabolizmu	115 (100 - 125)	33	32
Klasa 1- Niskie tempo metabolizmu (praca lekka)	180 (125 - 235)	30	29
Klasa 2 Umiarkowane tempo metabolizmu (praca średnio ciężka)	300 (235÷360)	28	26
Klasa 3 - Wysokie tempo metabolizmu (praca ciężka)	415 (360÷465)	26	23

Tempo metabolizmu (klasa)	Średnie tempo metabolizmu, W	progowa wartość odniesienia WBGT °C	
		dla osób zaaklimatyzowanych	dla osób niezaaklimatyzowanych
Klasa 4 bardzo wysokie tempo metabolizmu (praca bardzo ciężka)	520 (>460)	25	20

Przedstawione wartości odniesienia mają zastosowanie dla osób zdrowych i sprawnych fizycznie. Za osobę zaaklimatyzowaną uznawana jest osoba, która była ekspozycja na gorące warunki pracy (podobne lub bardziej ekstremalne) co najmniej przez jeden tydzień pracy bezpośrednio przed okresem oceny (przeprowadzenia pomiarów). W innym przypadku osoba taka uznawana jest za niezaaklimatyzowaną.

Jeżeli wyznaczona wartość WBGT_{eff} jest większa od odpowiedniej wartości odniesienia zawartej w Tabeli 4.4., to ryzyko wystąpienia dolegliwości zależnych od gorąca się zwiększa. Wówczas należy albo bezpośrednio zmniejszyć obciążenie wysiłkiem lub stres cieplny w miejscu pracy, albo przeprowadzić bardziej szczegółową analizę obciążenia cieplnego na stanowisku pracy wg normy PN-EN ISO 7933.

5. ODZIAŁYWANIE ŚRODOWISKA TERMICZNEGO NA ORGANIZM CZŁOWIEKA.

Prawidłowe funkcjonowanie organizmu człowieka uzależnione jest od utrzymywania temperatury wewnętrznej na poziomie około 37°C, osiąga się ten stan dzięki mechanizmom termoregulacji wewnętrznej, które polegają na dostosowaniu ilości ciepła wytwarzanego w organizmie (termoregulacja chemiczna) i ciepła wymienianego między organizmem, a otoczeniem (termoregulacja fizyczna) do potrzeb bilansu cieplnego w sposób zapewniający utrzymanie homeostazy termicznej w zmiennych warunkach środowiska [157, 171, 172]. Procesem tym steruje ośrodek termoregulacji zlokalizowany w podwzgórzu, który składa się z dwóch części:

- ośrodka eliminacji ciepła znajdującego się w przedniej części podwzgórza, który kontroluje utratę ciepła,
- ośrodka zachowania ciepła znajdującego się on w tylnej części podwzgórza, który odpowiedzialny jest za zatrzymywanie ciepła w ustroju oraz stymulację jego produkcji.

System termoregulacji organizmu pozwala na uzyskanie stanu równowagi cieplnej w szerokim zakresie wartości parametrów otoczenia. Osiągnięcie równowagi cieplnej poprzedza zawsze stan przejściowy, w którym organizm dąży do uregulowania takich parametrów jak temperatura wewnętrzna ciała, średnia temperatura skóry i jej nawilżenie. W literaturze [173, 174, 175] zdefiniowano się dwa rodzaje termoregulacji tj. behawioralną i fizjologiczną.

Termoregulacja behawioralna u człowieka polega na świadomym wykorzystywaniu osiągnięć techniki tj. urządzeń do schładzania lub ogrzewania środowiska, wyboru odpowiedniego ubrania dostosowanego do zmiennych parametrów otoczenia, rodzaju i intensywność wykonywanej pracy czy przyjęcia postawy ograniczającej lub sprzyjającej wymianie ciepła z otoczeniem. W przypadku, gdy termoregulacja behawioralna jest niedostateczna, zostaje uruchomiona termoregulacja fizjologiczna.

Termoregulacja fizjologiczna oparta jest na odruchach bezwarunkowych. W okolicznościach, kiedy organizmowi grozi wyziębienie naczyń, skóra silnie się kurczy, powodując zmniejszenie przepływu krwi skutkiem czego jest obniżenie temperatury skóry i zmniejszenie wymiany ciepła z otoczeniem. Kurczą się mięśnie przywłosne sprawiając, że pojawia się tzw. „gęsia skórka” oraz jeżenie się włosów na skórze co zmniejszają również wymianę ciepła poprzez konwekcję. Jednocześnie wzrasta ilość ciepła produkowanego wewnątrz ustroju, głównie w mięśniach szkieletowych i narządy wewnętrzne tj. takich jak trzustka i wątroba.

Z kolei jeśli człowiek znajduje się w mikroklimacie gorącym w efekcie zwiększonego obciążenia cieplnego dochodzi do rozszerzenia naczyń skóry i zwiększenia skórno przepływu krwi. Zwiększa się temperatura powierzchni ciała i przepływ pomiędzy wnętrzem ciała a jego

powierzchnią co prowadzi z kolei do zmniejszenia różnicy temperatury pomiędzy skórą a otoczeniem i ogranicza pobieranie ciepła ze środowiska zewnętrznego. W sytuacji wyczerpania się zdolności regulacyjnych skórny przepływ krwi uaktywnia się kolejny mechanizm, a mianowicie pobudzenie pracy gruczołów potowych i oddawanie ciepła poprzez parowanie potu. Wydajność tego mechanizmu zależy od wilgotności powietrza (odwrotnie proporcjonalnie) i prędkości ruchu powietrza (wprost proporcjonalnie) [176].

Ekspozycja na wysoką temperaturę i wysiłek fizyczny stanowi obciążenie dla układu krążenia, nerwowego, oddechowego oraz gruczołów potowych skóry. W sytuacji takiej może dochodzić do przekroczenia temperatury wewnętrznej ciała powyżej 38°C i hipertermii czyli takiego wzrostu temperatury ciała wskutek gromadzenia się ciepła doprowadzonego z zewnątrz bądź wytworzonego w organizmie, którego w panujących warunkach nie można oddać do otoczenia. Hipertermia wysiłkowa powoduje kilkukrotny wzrost przepływu krwi przez mięśnie i skórę kosztem krążenia trzewnego, przyspieszenie pracy serca, kilkukrotny wzrost objętości wyrzutowej serca, przyspieszenie i spływanie oddechów.

Poszerzenie łożyska naczyniowego w skórze prowadzi do spadku ciśnienia tętniczego krwi. Utrata ciepła na drodze parowania potu wiąże się ze spadkiem stężenia elektrolitów i odwodnieniem. Hipertermia zaburza fosforylację oksydacyjną w komórkach nerwowych, co wtórnie prowadzi do zaburzeń funkcji narządów i układów. Z kolei odwodnienie pogarsza możliwości wysiłkowe i termoregulacyjne organizmu. Ocenia się, że przy braku jakichkolwiek mechanizmów regulacyjnych przyrost temperatury wewnętrznej ustroju wynosiłby 1°C na każde 5 – 7 minut wysiłku fizycznego.

Wartości temperatury zewnętrznej w przedziale między 18 a 23 °C uznawane są za warunki termoneutralne. W gorących warunkach klimatu uruchamiane są w organizmie procesy termoregulacyjne chroniące przed przegrzaniem. Im bardziej intensywne są te procesy, tym bardziej zmniejszają się możliwości wysiłkowe człowieka. W trakcie procesów metabolicznych w organizmie wytwarza się ciepło endogenne, którego wielkość zależy od wieku, płci i masy ciała człowieka. W spoczynku wynosi ono około 100 watów w ciągu sekundy. Podczas wysiłku fizycznego jest ono 10 – 20 razy większe niż w stanie spoczynku.

Tolerancja mikroklimatu gorącego uzależniona jest w dużym stopniu od wydolności fizycznej i stopnia zaaklimatyzowania człowieka do wysokiej temperatury. Wyniki badań wskazują, że przyrost temperatury wewnętrznej o 1,2 – 1,5 °C nawet u osób sprawnych fizycznie i zaadaptowanych do gorąca zmniejsza ich zdolność do wysiłku fizycznego o 20%, a po osiągnięciu temperatury 38,8 - 39 °C – o 35%. U osób o średniej wydolności fizycznej i zaaklimatyzowanych spadki te wynoszą odpowiednio 50% i 70% [177,178,179].

Przyrost temperatury wewnętrznej ciała mimo uruchomienia mechanizmów regulacyjnych prowadzi do wystąpienia zespołu przegrzania z objawami klinicznymi o różnym stopniu nasilenia. Wśród postaci klinicznych zespołu przegrzania wyróżnia się:

1/ zmiany skórne tzw. potówki – podrażnienie skóry przez pot, wtórne zakażenie przewodów potowych;

2/ omdlenie cieplne – w wyniku przemieszczenia krwi w poszerzonym łożysku naczyniowym dochodzi początkowo do osłabienia, zamroczenia, a w końcu do omdlenia;

3/ skurcze cieplne – bolesne skurcze mięśni będące następstwem utraty chlorku sodu z potem i hiponatremii;

4/ obrzęk termiczny – obrzęki stóp i podudzi wywołane rozkurczem naczyń obwodowych i ortostatycznym przemieszczeniem krwi do najniżej położonych części ciała;

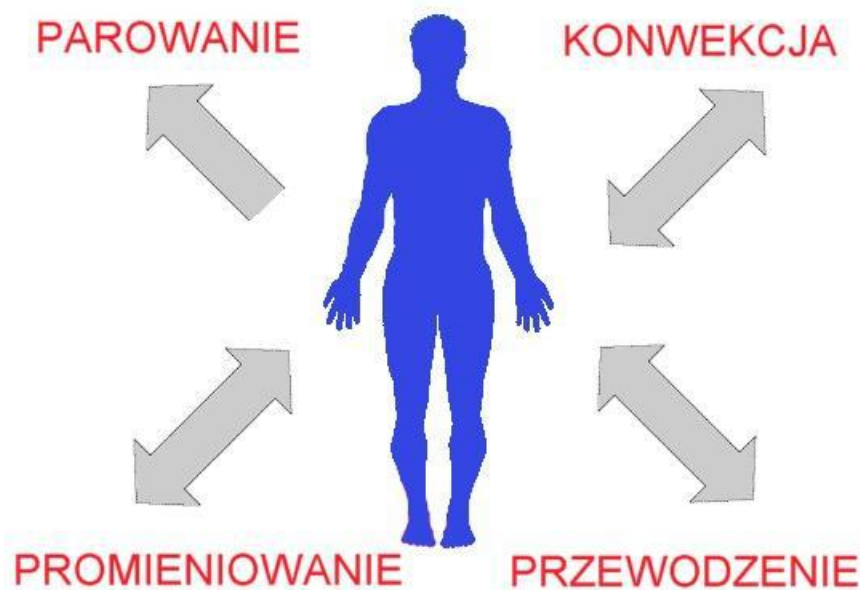
5/ wyczerpanie cieplne – zespół ogólnych objawów: złego samopoczucia, osłabienia, bólów głowy, nudności, wymiotów, przyspieszonej akcji serca, spadku ciśnienia tętniczego, obfitych potów związanych ze wzrostem wewnętrznej temperatury ciała, która mieści się zwykle w przedziale 38 - 40°C;

6/ udar cieplny – najcięższa postać kliniczna zespołu przegrzania, do której dochodzi w następstwie wyczerpania się mechanizmów termoregulacyjnych i wzrostu temperatury wewnętrznej ciała powyżej 40 °C. Objawy rozwijają się zwykle gwałtownie w ciągu kilku godzin i obejmują: nagłe bóle i kurcze mięśni, majaczenie, pobudzenie ruchowe, napady drgawek, utratę przytomności. W przypadkach o ciężkim przebiegu może rozwinąć się ostra niewydolność nerek, uszkodzenia mięśnia sercowego, obrzęk płuc, zespół krzepnięcia wewnątrznaczyniowego z uogólnioną skazą krwotoczną. Ryzyko wystąpienia udaru cieplnego wiąże się z działaniem wysokiej temperatury otoczenia i dużej wilgotności powietrza wraz z intensywnym wysiłkiem fizycznym [177].

5.1. Rodzaje wymiany ciepła między organizmem człowieka a otoczeniem.

Zagadnienie wymiany ciepła między ciałem pracownika a gorącym otoczeniem było przedmiotem wielu badań naukowych i publikacji [180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188,189], w których autorzy zgodzili się z faktem, iż wymiana ciepła to zjawisko występujące wówczas, gdy istnieje różnica temperatur między ciałem człowieka a środowiskiem zewnętrznym w którym układ o temperaturze wyższej posiada możliwość oddawania energii układowi o temperaturze niższej [191, 192], a głównymi drogami wymiany ciepła ze skumulowanego

w organizmie człowieka z otoczeniem odbywa się przez promieniowanie, przewodzenie, konwekcję i parowanie Rys. 5.1



Rys. 5.1. Drogi wymiany ciepła człowieka z otoczeniem.

- **Promieniowanie** – polega na przenoszeniu energii przez kwanty promieniowania elektromagnetycznego o określonym zakresie długości fal. W odróżnieniu do konwekcji i przewodzenia nie wymaga ono pośrednictwa ośrodka materialnego w przekazywaniu energii i może rozchodzić się w próżni.
- **Przewodzenie ciepła** – to oddawanie ciepła przedmiotom i elementom otoczenia o niższej temperaturze polega na przenoszeniu energii wewnątrz ośrodka materialnego, lub z jednego ośrodka do drugiego w warunkach bezpośredniego kontaktu ciał o różnych temperaturach. Jest to przekazywanie energii kinetycznej mikroskopowego ruchu cząsteczek (jonów, atomów).
- **Konwekcja** – to unoszenie ciepła z organizmu przez powietrze zachodzi wówczas gdy występuje ruch makroskopowych części płynu o różnych temperaturach i gęstościach. Konwekcja naturalna (swobodna) następuje wskutek różnicy gęstości płynu spowodowanej różnicą temperatury w ośrodku. Konwekcja wymuszona następuje wskutek wymuszenia przepływu ciepła przez pompę lub wentylator.
- **Parowanie** – to usuwanie nadmiaru ciepła z organizmu przez wodę wydalaną przez płuca (wydychanie pary wodnej) i skórę (odparowanie potu) polega ono na przenoszeniu ciepła wytworzonego wewnątrz organizmu na powierzchnie skóry co prowadzi do obniżenia temperatury wewnętrznej ciała człowieka.

Z przeprowadzonych badań wynika iż człowiek część swego ciepła wewnętrznego „oddaje” do otoczenia na skutek wypromieniowania fal elektromagnetycznych podczerwonych, których wartość zależy od temperatury i powierzchni ścian otoczenia w którym znajduje się człowiek oraz temperatury powierzchni i pozycji ciała. Utrata ciepła przez przewodzenie jak do tej pory jest najmniejsza ponieważ ciało człowieka zwykle izolowane jest przez odzież, a utrata ciepła przez przewodzenie zachodzi wówczas, gdy człowiek styka się bezpośrednio z innym, chłodniejszym ciałem, np. na powierzchni przez kontakt z zimną wodą, lodem, powierzchniami ciał o niższej temperaturze takimi jak: kamienie, trawa, drzewa. W warunkach dołowych kopalń głębinowych utrata ciepła przez przewodzenie najczęściej zachodzi w wyniku kontaktu ciała człowieka z metalowymi elementami obudowy lub powierzchniami urządzeń chłodniczych o niższej temperaturze, niż otoczenie. Odczuwane to przez człowieka może być odbierane jako ulga lub wrażenie nieprzyjemne spowodowane oziębieniem pleców i okolicy lędźwiowo-krzyżowej.

Jeśli ciepło unoszone jest wraz z cząsteczkami materii, mówimy wówczas o konwekcji. Szybkość przenoszenia ciepła tą drogą zależy przede wszystkim od przewodnictwa cieplnego tkanek i od temperatury powierzchni ciała ludzkiego, która z kolei zależna jest od ilości wytwarzanego ciepła w jednostce czasu przez organizm i przewodnictwa cieplnego tkanek, oraz temperatury i wilgotności powietrza. Co ciekawe przez konwekcję może się odbywać zarówno ogrzewanie ustroju jak i utrata ciepła z organizmu. Utrata ciepła przez parowanie zachodzi wówczas, gdy prężność pary wodnej na powierzchni skóry jest wyższa niż w otaczającym powietrzu. Utrata ciepła przez parowanie jest większa w środowisku o małej wilgotności (suche powietrze), a mniejsza przy większej wilgotności powietrza dla danej stałej temperatury powietrza. W warunkach cechującym się wysoką temperaturą i dużą wilgotnością powietrza np. wyrobiska górnicze, parowanie wody ze skóry i dróg oddechowych jest utrudnione co powstaje uczucie duszności i dyskomfortu. Aby lepiej zrozumieć mechanizmy wymiany cieplnej między człowiekiem a otoczeniem potraktowano organizm ludzki, jako otwarty układ termodynamiczny i wprowadzono pojęcie bilansu cieplnego i zdolności chłodniczej powietrza [24, 179, 221, 222].

5.2. Bilans cieplny.

Już na początku lat 60 ubiegłego wieku z uwagi na bezpieczeństwo i higienę pracy osób zatrudnionych w trudnych warunkach cieplnych uznano, iż konieczne są badania reakcji fizjologicznych pracownika na otaczające go warunki klimatyczne i związany z nimi wysiłek fizyczny. Za istotne rozwiązania tego zagadnienia uznano sporządzenie bilansu cieplnego organizmu pracownika jako kompleksowego narzędzia służącego do oceny warunków pracy przy wysokiej temperaturze i wilgotności powietrza. Bilans cieplny miał być podstawą do określenia

związków między parametrami otoczenia, wykonywaną pracą a wartością określonych parametrów fizjologicznych; w szczególności tych, których zmiany charakteryzują odpowiedź organizmu na obciążenie cieplne jak:

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

W wyrobiskach górniczych często mamy do czynienia z sytuacją w której organizm nie oddaje ciepła, lecz pobiera je z otoczenia, w związku z powyższym teoretyczna zależność na podstawie której możemy wyznaczyć bilans cieplny konieczny do określenia granic dyskomfortu cieplnego ma postać wzoru (5.1) a jego interpretacje graficzna przedstawia Rys. 5.2 [223]:

$$Q = Q_W \pm Q_P \pm Q_R \pm Q_C \pm Q_K \pm Q_V \quad (5.1)$$

gdzie:

Q - Ilość ciepła zgromadzonego w organizmie;

Q_W - Ilość ciepła wytworzonego w organizmie (zależy od obciążenia wysiłkiem fizycznym;)

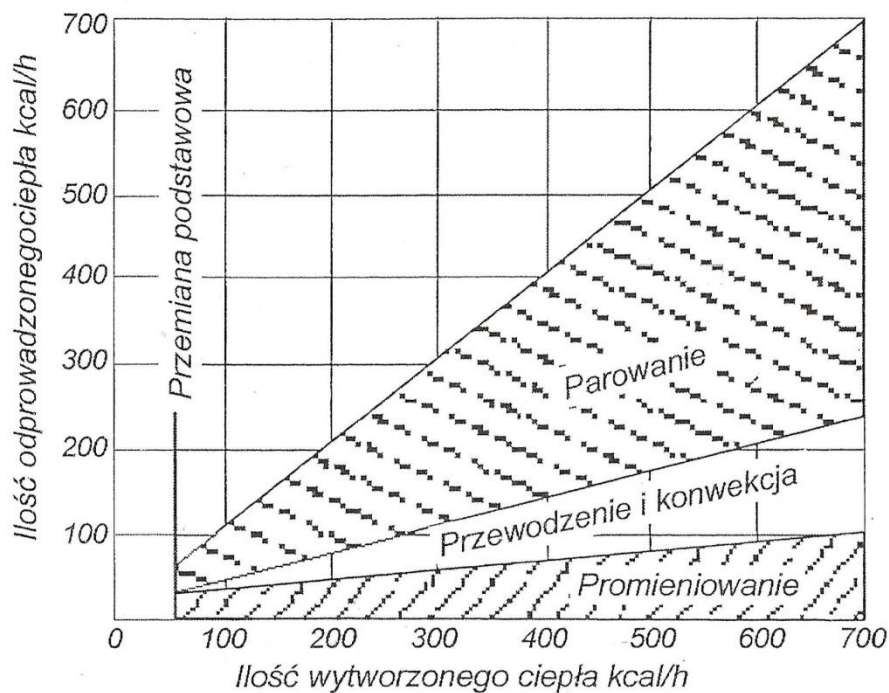
Q_P - Ilość ciepła utraconego przez parowanie potu;

Q_R - Wymiana ciepła przez promieniowanie (zależy od różnicy pomiędzy temperaturą otaczających powierzchni i temperaturą zewnętrznąj powierzchni odzieży a nieosłoniętych części ciała);

Q_C - Wymiana ciepła przez konwekcję (zależy od różnic pomiędzy temperaturą otaczającego powietrza i temperaturą zewnętrznąj powierzchni odzieży a nieosłoniętych części ciała);

Q_K - Wymiana ciepła przez przewodzenie (bezpośredni kontakt ciała z przedmiotem)

Q_V - Wymiana ciepła przez układ oddechowy



Rys. 5.2. Mechanizmy odprowadzania ciepła z organizmu człowieka [223]

Aby wyznaczyć bilans cieplny, należy skorzystać z modelu Fanger'a lub z modelu Lustineca. W modelu Fanger'a kształt równania komfortu cieplnego przybiera postać wzoru (5.2), a w modelu Lustineca wzoru (5.3).

Model Fanger'a

Kształt równania komfortu cieplnego według Fanger'a

$$f(M, A_{cl}, t_a, t_r, p_w, V) = 0 \quad (5.2)$$

gdzie:

M - Szybkość metabolicznej produkcji ciepła

A_{cl} - Przewodność cieplna odzieży

t_a - Temperatura otaczającego powietrza,

t_r - Średnia temperatura promieniowania.

p_w - Ciśnienie pary wodnej

V - średnia prędkość ruchu powietrza

Model Lustineca

Kształt równania komfortu cieplnego według Lustineca

$$f(M, K, t_g) = 0 \quad (5.3)$$

gdzie:

M - Szybkość metabolicznej produkcji ciepła;

K - Wymiana ciepła poprzez odzież;
 t_g - Temperatura termometru kulistego;

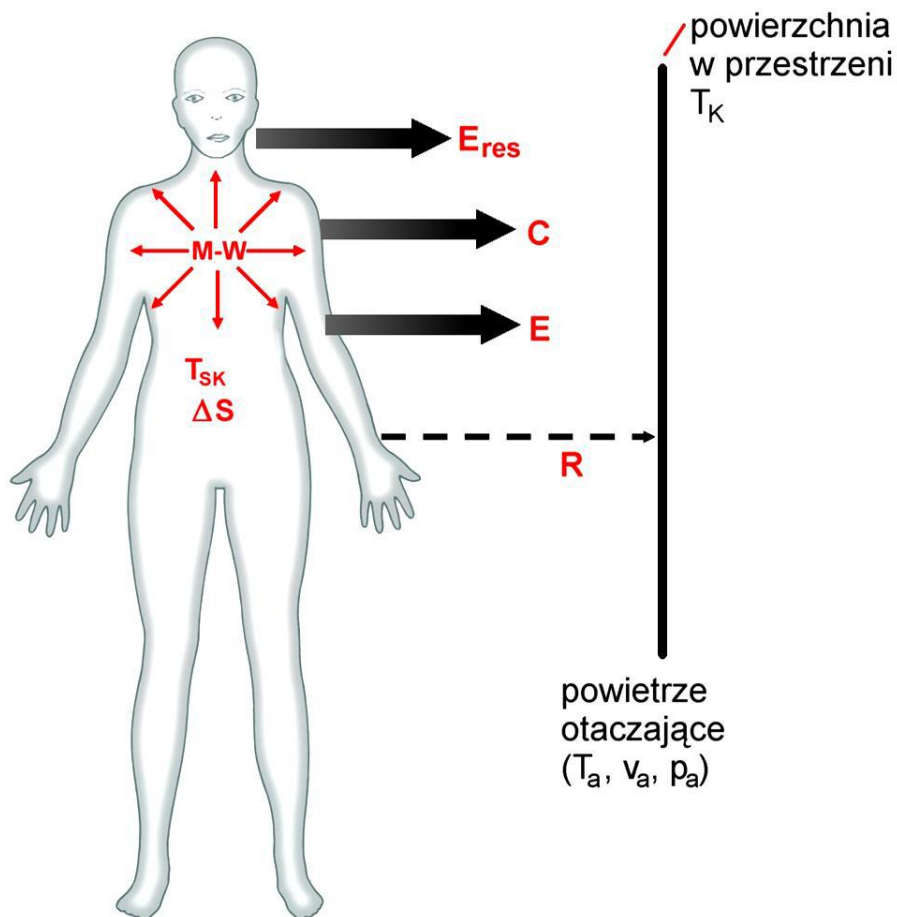
Obydwa modele reprezentują różne podejścia w kwestii mechanizmów wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem i otoczeniem. Propozycja Lustineca wyraźnie pomija pewne mechanizmy wymiany ciepła. Do rozwiązania równania Fangera (5.2) konieczne jest stosowanie komputerów ze względu na zaawansowane obliczenia, ale w efekcie otrzymuje się bardzo dokładne wyniki. Z kolei wzór Lustineca (5.3) pozwala na szybkie oraz proste obliczenie jednak otrzymane wyniki nie są aż tak dokładne jak w metodzie Fangera. [224]. W praktyce jednak większe zastosowanie znalazł model Fangera, który po przekształceniach i modyfikacjach ostatecznie przybrał postać równania bilansu cieplnego ciała człowieka (5.4) wykorzystywanego w normach ISO, CEN oraz PN.

$$M - W = E + C + R + C_{res} + E_{res} + K + \Delta S, \text{ W/m}^2 \quad (5.4)$$

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 ,
 ΔS – gęstość strumienia ciepła gromadzonego w organizmie człowieka, W/m^2 .

Przedmiotowy bilans cieplny organizmu pracownika (Rys. 5.4) może być rozpatrywany w procesie niestacjonarnej lub stacjonarnej wymiany ciepła w gorącym otoczeniu. Stan niestacjonarnej wymiany ciepła charakteryzuje się tym, że parametry fizjologiczne, takie jak: temperatura wewnętrzna ciała, strumień wydzielanego potu, temperatura skóry ciała oraz wielkości pochodne, zależą od czasu. Proces niestacjonarnej wymiany ciepła rozpoczyna się na skutek zmiany parametrów otoczenia lub natężenia pracy fizycznej. W szczególności proces nieustalanej wymiany ciepła następuje po rozpoczęciu wysiłku o określonym wydatku energetycznym na stanowisku pracy, do którego przybywa zatrudniony co zobrazowane zostało w normie PN-EN ISO 7933:2005 [186].



Rys. 5.3. Bilans cieplny organizmu [189]

5.3. Metoda analitycznego wyznaczania stresu cieplnego wg normy PN-EN ISO 7933:2005

W ostatnich kilkudziesięciu latach powstało wiele metod oceny cieplnych warunków pracy opartych na teorii bilansu cieplnego człowieka, gdzie parametrami fizjologicznymi charakteryzującymi obciążenie cieplne jest ubytek wody z organizmu oraz temperatura wewnętrzna. W kilku jednostkach naukowych Unii Europejskiej zajmujących się fizjologią pracy w ramach projektu badawczego „Heat Stress” realizowanego między innymi przez J. Malchaire, K. Parsons, B. Kampmann, H. Gebhardt, P. Mehnert, G. Alfano, P.A. Piette, B. Griefahn, G. Havenith, E. Den Hartog, I. Holmer przeprowadzono wiele badań eksperymentalnych w warunkach laboratoryjnych lub polowych, które doprowadziły do opracowania najbardziej rozwiniętej postaci fizjologicznego modelu wymiany ciepła między organizmem człowieka a gorącym otoczeniem który znalazł swoje odzwierciedlenie w założeniach normy PN-EN ISO 7933:2005. Pierwsze wydanie normy pod nazwą PN-EN12515:2002 opierało się na modelu obliczeń „wymaganej ilości potu”. W celu uniknięcia nieporozumień z uwagi na liczne zmiany

w poprawionej wersji normy, nazwa modelu obliczeń została zmieniona na „przewidywany strumień ciepła” w skrócie od angielskiej nazwy „model PHS”

Celem omawianej metody jest ocena warunków pracy, w których może dochodzić do nadmiernego wzrostu temperatury wewnętrznej lub utraty wody z organizmu z uwagi na oddziaływanie środowiska gorącego. Metoda ta umożliwi również określenie dopuszczalnego czasu ekspozycji człowieka na warunki środowiska, który z punktu widzenia warunków fizjologicznych jest do zaakceptowania.

Do przeprowadzenia oceny warunków mikroklimatu w środowisku pracy za pomocą normy PN-EN ISO 7933:2005 niezbędne jest:

- Określenie podstawowych parametrów mikroklimatu tj. temperatury mierzonej termometrem suchym t_s , temperatury mierzonej termometrem wilgotnym t_w , ciśnienia barometrycznego p_{bar} i prędkości ruchu powietrza v_a ,
- Określenie, z jaką intensywnością człowiek wykonuje swoją pracę (M wydatek energetyczny),
- Określenie izolacyjności termicznej odzieży pracownika I_{cl} (na podstawie badań lub z dostępnych tabel),
- Określenie stanu aklimatyzacji pracownika
- Określenie czy człowiek ma stały dostęp do napojów w celu uzupełnienia niedoboru wody spowodowanego poceniem,
- Określenie zakładanego czasu ekspozycji na dane warunki mikroklimatu (czas pracy).

W celu uszczegółowienia analizy można także podać dodatkowe informacje takie jak:

- Waga i wzrost pracownika,
- W jakiej pozycji człowiek wykonuje pracę (siedząca, stojąca, kucanie),
- Emisyjność odzieży,
- Prędkość, z jaką przemieszcza się człowiek podczas pracy,
- Kąt zwarty między kierunkiem przemieszczania się człowieka a kierunkiem ruchu powietrza.

Wykorzystanie omawianej metody obliczeń wiąże się z pewnymi ograniczeniami. W tabeli 5-1 podano zakresy wartości parametrów, dla których model może być uważany za poprawny. Jeśli jeden lub kilka parametrów przekracza podane zakresy dopuszcza się zastosowanie modelu, a wyniki należy rozpatrywać z ostrożnością oraz należy zwracać szczególną uwagę na ludzi narażonych na ekspozycję na takie warunki mikroklimatu [196, 229].

Tabela 5.1. Zakresy wartości parametrów, modelu PHS [231]

Parametry	Symbol	Jednostka	Minimum	Maksimum
Temperatura powietrza mierzona termometrem suchych	t_s	°C	15	50
Cząstkowe ciśnienie pary wodnej	p_a	kPa	0	4.5

Parametry	Symbol	Jednostka	Minimum	Maksimum
Różnica między temperaturą promieniowania a temperaturą mierzona termometrem suchym	$t_r - t_s$	°C	0	60
Prędkość mchu powietrza	v_a	m/s	0	3
Wydatek energetyczny	M	W/m ²	100	450
Izolacyjność termiczna. odzieży	I_{cl}	clo	0,1	1,0

W obecnej postaci metoda oceny warunków mikroklimatu nie ma zastosowania w przypadkach, w których pracownik wyposażony jest w specjalne ubranie ochronne (odzież odbłaskową, odzież z aktywnym chłodzeniem lub wentylacją, odzież nieprzepuszczalną) oraz nie jest bezpośrednio brany pod uwagę wpływ noszonego wyposażenia ochrony osobistej [230]. Analiza warunków pracy za pomocą omawianej metody obliczeń nie dotyczy reakcji fizjologicznych pojedynczych osób, lecz bierze pod uwagę standardową osobą w dobrym stanie zdrowia, przystosowaną do pracy, którą wykonuje [196].

Wykonując analizę cieplnych warunków pracy według metody analitycznego wyznaczania i interpretacji stresu cieplnego doznawanego przez człowieka w środowisk gorącym otrzymuje się:

- wartość finalnej temperatury rektalnej po zadanym czasie ekspozycji,
- ilość utraty wody z organizmu po zadanym czasie ekspozycji, wyrażoną w gramach,
- dopuszczalny czas ekspozycji, w którym temperatura rektalna nie powinna przekroczyć 38° C,
- dopuszczalny czas ekspozycji, podczas którego nie powinno dojść do utraty wody z organizmu powyżej 7,5% masy ciała człowieka,
- dopuszczalny czas ekspozycji, podczas którego nie powinno dojść do utraty wody z organizmu powyżej 5% masy ciała człowieka.

5.3.1. Podstawowe definicje dotyczące izolacyjności i oporu odzieży roboczej.

Izolacyjność cieplną i opór w przenoszeniu pary wodnej zestawu odzieży omówiono w normie PN-EN ISO 7933:2005, a także w PN-EN ISO 9920:2009, które wskazują, iż na jawne i niejawne przenoszenie ciepła między ciałem osoby a otoczeniem duży wpływ mają parametry odzieży, do których zalicza się przede wszystkim:

- izolacyjność cieplną I_{cl}
- przepuszczalność i_m
- dynamiczna oporność parowania $R_{l\ dyn}$ ubioru.

Izolacyjność cieplna interpretowana jest jako opór stawiany jawnej utracie ciepła przez materiał zawarty między dwoma powierzchniami wyrażona (m² · K)/W. Tradycyjną jednostką izolacyjności cieplnej zestawu odzieżowego jest **clo**, które podaje izolację cieplną zestawu

odzieżowego niezbędną do utrzymania równowagi termicznej między ciałem osoby siedzącej a otoczeniem, przy prędkości powietrza v_a równej 0,1 m/s, temperaturze powietrza mierzonego termometrem suchym t_a wynoszącej 21 °C, temperaturze promieniowania otoczenia t_r wynoszącej 21 °C oraz wilgotności względnej φ nie mniejszej niż 50%. Między podanymi jednostkami zachodzi zależność: 1 clo = 0,155 (m²·K)/W.

Izolacyjność całkowitą I_T (opór w przenoszeniu ciepła jawnego przez odzież) to izolacyjność cieplna między powierzchnią skóry, łącznie z bielizną, zamkniętymi warstwami powietrza i warstwą graniczną powietrza, w warunkach statycznych, wyrażona w (m²·K)/W. Izolacyjność ta jest równa wg wzoru (5.5) stosunkowi różnicy temperatury na powierzchni skóry i w powietrzu $\bar{t}_{sk} - t_a$ do gęstości strumienia ciepła traconego drogą jawną H ,

$$I_T = \frac{\bar{t}_{sk} - t_a}{H}, (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W} \quad (5.5)$$

gdzie:

\bar{t}_{sk} - średnia temperatura powierzchni skóry, °C;

t_a - temperatura otoczenia, °C;

H - jawna strata ciepła na powierzchni skóry, W /m² .

Jawna strata ciepła H obejmuje konwekcję C , promieniowanie R i przewodnictwo cieplne K i można ją obliczyć z zależności (5.6)

$$H = C + R + K \quad (5.6)$$

Izolacyjnością podstawową (wewnętrzną) I_{cl} nazywa się izolacyjność cieplną między powierzchnią skóry i warstwą zewnętrzną odzieży, wraz z zamkniętymi warstwami powietrza, w stanie statycznym i opisana jest równaniem (5.7)

$$I_T = \frac{\bar{t}_{sk} - \bar{t}_{cl}}{H}, (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W} \quad (5.7)$$

gdzie:

\bar{t}_{cl} - średnia temperatura zewnętrznej powierzchni odzieży, °C;

Izolacyjnością granicznej warstwy powietrza I_a nazywa się izolacyjność warstwy powietrza, ukształtowanej przy warstwie zewnętrznej odzieży, a w przypadku ciała nagiego, przy powierzchni skóry (równanie 5.8)

$$I_a = \frac{\bar{t}_{cl} - t_a}{H}, (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W} \quad (5.8)$$

Współczynnikiem pola powierzchni odzieży f_{cl} nazywa się pole powierzchni zewnętrznej osoby ubranej A_{cl} do pola powierzchni nagiego ciała A_{Du} określoną z zależności 5.9

$$f_{cl} = \frac{A_{cl}}{A_{Du}} \quad (5.9)$$

Wartość izolacyjności całkowitej I_T jest równa sumie izolacyjności wewnętrznej I_{cl} oraz izolacyjności warstwy granicznej powietrza I_a . Ze względu na różnice w wielkości pól powierzchni zewnętrznej odzieży A_{cl} i powierzchni skóry A_{Du} przy obliczaniu sumy wartości izolacyjności podstawowej I_{cl} oraz izolacyjności powietrza I_a wprowadza się współczynnik pola powierzchni odzieży f_{cl} z równania (5.10)

$$I_T = I_{cl} + \frac{I_a}{f_{cl}}, (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W} \quad (5.10)$$

Oporem w przenoszeniu pary wodnej R_e nazywa się opór stawiany parze wodnej przenoszonej między dwoma powierzchniami, wyrażany w $(\text{m}^2 \text{ kPa})/\text{W}$. Wielkość ta jest równa stosunkowi gradientu prężności pary wodnej do utraty ciepła przez parowanie na jednostkę pola powierzchni ciała.

Całkowitym oporem pary wodnej $R_{e,T}$ nazywa się opór pary wodnej między powierzchnią skóry ciała, łącznie z bielizną, zamkniętymi warstwami powietrza i warstwą graniczną powietrza, w warunkach statycznych, wyrażony w $(\text{m}^2 \cdot \text{kPa})/\text{W}$.

Analogicznie do oporu cieplnego wartość całkowitego oporu pary wodnej $R_{e,T}$ może być przedstawiona w postaci sumy podstawowego oporu pary wodnej $R_{e,cl}$ oraz oporu powietrza w granicznej powierzchniowej warstwie powietrza $R_{e,a}$. Także w tym przypadku uwzględnia się różnice pól powierzchni zewnętrznej odzieży A_{cl} i powierzchni skóry A_{Du} , wprowadzając f_{cl} z zależności (5.11)

$$R_{e,T} = R_{e,cl} + \frac{R_{e,a}}{f_{cl}}, (\text{m}^2 \cdot \text{kPa})/\text{W} \quad (5.11)$$

Całkowity statyczny opór cieplny ubioru $I_{tot st}$ to opór materiału odzieży, a także opór warstwy przyściennej powietrza i wyznacza się go ze wzoru (5.12)

$$I_{tot st} = I_{cl st} + \frac{I_{a st}}{f_{cl}}, (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W} \quad (5.12)$$

gdzie:

$I_{cl st}$ - statyczny opór cieplny materiału ubrania, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$;

$I_{a st}$ - statyczny opór cieplny warstwy przyściennej powietrza, $(\text{m}^2 \text{ K})/\text{W}$;

f_{cl} - współczynnik pola powierzchni odzieży.

Pole powierzchni osoby ubranej A_{cl} jest większe od pola powierzchni ciała bez ubrania. Ich stosunek $f_{cl} = A_{cl}/A_{Du}$ jest większy od jedności. Zazwyczaj stosuje się przybliżenie (5.13):

$$f_{cl} = 1 + 1,97 \cdot I_{cl st} \quad (5.13)$$

Stacyjny opór cieplny osoby nieubranej, wywołany obecnością warstwy przyściennej spokojnego powietrza, przyjmuje się w wysokości 0,111 $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$. Z podanej definicji wynika, że

suma gęstości strumieni ciepła $C + R$ osoby nieubranej i pozostającej w bezruchu może być wyrażona wzorem (5.14)

$$C + R = \frac{\bar{t}_{sk} - t_a}{I_{tot\ st}}, \text{ W/m}^2 \quad (5.14)$$

Dynamiczny całkowity opór cieplny zestawu odzieżowego $I_{tot\ dyn}$ oblicza się z zależności (5.15) oraz z dynamicznego oporu cieplnego warstwy przyściennej powietrza z zależności (5.16):

$$I_{tot\ dyn} = C_{orr\ tot} \cdot I_{tot\ st}, \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (5.15)$$

gdzie:

$I_{tot\ dyn}$ = całkowity dynamiczny opór cieplny materiału ubrania, $(\text{m}^2 \cdot \text{K)/W}$;

$C_{orr\ tot}$ - korekta całkowitego dynamicznego oporu cieplnego ubrania

$$I_{a\ dyn} = C_{orr\ la} \cdot I_{a\ st}, \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (5.15)$$

Ostatecznie wzór na całkowity dynamiczny opór cieplny ubioru pracownika $I_{cl\ dyn}$ przyjmuje postać (wzór 5.16)

$$I_{cl\ dyn} = I_{tot\ dyn} - \frac{I_{a\ dyn}}{f_{cl}}, \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad (5.16)$$

Dynamiczny współczynnik przepuszczalności ubrania $i_{m\ dyn}$, uwzględniający przepływ powietrza i szybkość względną pracownika, określa się mnożąc statyczną przepuszczalność odzieży i_m przez czynnik $C_{orr\ e}$ wzór (5.17) gdzie $C_{orr\ e}$ oblicza się z zależności (5.19):

$$i_{m\ dyn} = i_m \cdot C_{orr\ e}, \quad (5.17)$$

gdzie:

$$C_{orr\ e} = (2,6 \cdot C_{orr\ tot} - 6,5) \cdot C_{orr\ tot} + 4,9, \quad (5.18)$$

Pojęcia przepuszczalności wilgoci ubioru pracownika oraz sposoby pomiaru i zestawienia wartości zostały podane w normie PN-EN ISO 9920:2000.

5.3.2. Charakterystyka modelu PHS.

Metoda analitycznego wyznaczania i interpretacji stresu cieplnego doznawanego przez człowieka w środowisku gorącym opiera się na modelu PHS. Zgodnie z założeniami pracownik przystępujący do pracy jest wypoczęty oraz posiada dobry stan zdrowia. Na podstawie badań określono parametry początkowe pracownika przystępującego do pracy tj. temperatura rektalna t_{re} oraz wewnętrzna t_{cr} wynoszą $36,8^\circ\text{C}$ oraz temperatura średnia skóry t_{sk} wynosi $34,1^\circ\text{C}$. Z uwagi na działanie układu termoregulacji na zasadzie sprzężenia zwrotnego ustalono stałe czasowe reakcji organizmu ze względu na temperaturę skóry (3 min), temperaturę wewnętrzną (10 min) oraz ze względu na wydzielanie potu (10 min).

Model PHS polega na wyznaczeniu dla określonego środowiska pracy wymaganej gęstości strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania E_{req} . Wymagana gęstość strumienia ciepła drogą parowania E_{req} jest to ilość ciepła potrzebna do utrzymania równowagi termicznej ciała i obliczana jest na podstawie teorii bilansu cieplnego. Elementy bilansu cieplnego obliczane są w oparciu o aktualną wiedzę, między innymi o teorię wpływu układu warstw powietrza pomiędzy skórą człowieka, odzieżą a otoczeniem na wynikową izolacyjność termiczną odzieży ze względu na aktywność ruchową człowieka oraz wentylację stanowisk pracy [94]. Na tej podstawie równanie bilansu cieplnego zapisano w następującej postaci (5.19):

$$E_{req} = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R - \Delta S_{eq}, W/m^2 \quad (5.19)$$

gdzie:

E_{req} - wymagana gęstość strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania W/m^2

M - gęstość strumienia ciepła wytworzonego w trakcie procesów metabolicznych (wydatek energetyczny), W/m^2

W - gęstość strumienia ciepła zamienionego na pracę mechaniczną, W/m^2

C_{res} - gęstość strumienia ciepła wymienionego w drogach oddechowych przez konwekcje, W/m^2

E_{res} - gęstość strumienia ciepła wymienionego w drogach oddechowych przez odparowanie, W/m^2

C - gęstość strumienia ciepła wymienionego drogą konwekcji, W/m^2

R - gęstość strumienia ciepła wymienionego drogą promieniowania, W/m^2

ΔS_{eq} - gęstość strumienia ciepła gromadzonego w organizmie człowieka z uwagi na temperaturę wewnętrzną organizmu związaną z przemianami metabolicznymi, W/m^2 .

Gęstość strumienia ciepła wymienionego w drogach oddechowych przez konwekcje można obliczyć według następującego wzoru empirycznego (5.20):

$$C_{res} = 0,00152 \cdot M \cdot (25,56 + 0,885 \cdot t_a + 0,641 \cdot p_a), W/m^2 \quad (5.20)$$

gdzie:

M - gęstość strumienia ciepła wytworzonego w trakcie procesów metabolicznych (wydatek energetyczny), W/m^2

t_a - temperatura mierzona termometrem suchym, °C,

p_a - ciśnienie cząstkowe pary wodnej, kPa.

Gęstość strumienia ciepła wymienionego w drogach oddechowych przez odparowanie E_{res} oblicza się według wzoru empirycznego (5.21):

$$E_{res} = 0,00127 \cdot M \cdot (59,34 + 0,53 \cdot t_a + 11,61 \cdot p_a), W/m^2 \quad (5.21)$$

gdzie:

M - gęstość strumienia ciepła wytworzonego w trakcie procesów metabolicznych (wydatek energetyczny), W/m^2 ,

t_a - temperatura mierzona termometrem suchym, °C,

p_a - ciśnienie cząstkowe pary wodnej, kPa.

Dla ludzi nieubranych w warunkach statycznych czyli bez zmian ruchu powietrza lub

człowieka wymiana ciepła jawnego ($C + R$) określona jest przez następujący wzór (5.23):

gdzie:

$$C + R = \frac{t_{sk} - t_s}{I_{tot\ st}}, \quad (5.23)$$

$I_{tot\ st}$ - całkowita statyczna izolacyjność termiczna odzieży (dla ludzi nieubranych wynosi 0,111 m²K/W):

Dla ludzi ubranych w statyczną izolacyjność termiczną odzieży wyznacza się na podstawie następującego wzoru (5.24)

$$I_{tot\ st} = I_{cl\ st} + \frac{I_{a\ st}}{f_{cl}}, \text{ m}^2\text{K/W} \quad (5.24)$$

Gdzie:

$I_{cl\ st}$ - statyczna izolacyjność termiczna odzieży, m²·K/W

$I_{a\ st}$ - statyczna izolacyjność warstwy powietrza, m²·K/W

f_{cl} - współczynnik uwzględniający wpływ ubrania na wielkość powierzchni wymiany ciepła.

Współczynnik uwzględniający wpływ ubrania na wielkość powierzchni wymiany ciepła oblicza się za pomocą wzoru (5.25):

$$f_{cl} = 1 + 1,97 \cdot I_{cl\ st} \quad (5.25)$$

Aktywność ruchowa człowieka i wentylacja stanowisk pracy może modyfikować wartość izolacyjności termicznej odzieży i parametrów dotyczących sąsiadujących warstw powietrza. Przepływ powietrza i przemieszczanie zmniejszają izolacyjność termiczną odzieży. Z uwagi na to wprowadza się współczynnik korekcyjny dla statycznej izolacyjności termicznej odzieży oraz izolacyjność termiczną zewnętrznej warstwy powietrza [234]:

$$I_{tot\ dyn} = C_{orr,tot} \cdot I_{tot\ st}, \text{ m}^2\text{K/W} \quad (5.26)$$

$$I_{a\ dyn} = C_{orr,la} \cdot I_{a\ st}, \text{ m}^2\text{K/W} \quad (5.27)$$

$$C_{orr,tot} = C_{orr,cl} = e^{(0,043 - 0,398 \cdot v_{ar}^2 - 0,378 v_w + 0,094 \cdot v_w^2)} \quad (5.28)$$

gdzie:

$I_{tot\ dyn}$ - całkowita dynamiczna izolacyjność termiczna odzieży, m²·K/W,

$C_{orr,tot}$ - współczynnik korekcji dynamicznej izolacyjności termicznej odzieży w zależności od rzeczywistej izolacyjności termicznej odzieży,

$I_{a\ dyn}$ - dynamiczna izolacyjność termiczna warstwy powietrza, m²·K/W,

$C_{orr,la}$ - współczynnik korekcji dynamicznej izolacyjności termicznej suchej odzieży ($I_{cl} = 0 \text{ clo}$),

$C_{orr,cl}$ - współczynnik korekcji dynamicznej izolacyjności termicznej suchej odzieży ($I_{cl} 0,6 \geq \text{clo}$),

v_{ar} - prędkość względna powietrza, m/s
 v_{ar} - prędkość przemieszczania się człowieka, m/s

Dla $I_{cl} \geq 0,6$ clo zastosowano wzór (5.29):

$$C_{orr,tot} = C_{orr,la} = e^{(-0,472 \cdot v_{ar} + 0,047 \cdot v_{ar}^2 - 0,342 v_w + 0,117 \cdot v_w^2)} \quad (5.29)$$

Dla $0 \leq I_{cl} \leq 0,6$ clo zastosowano wzór (5.30):

$$C_{ort,tot} = (0,6 - I_{cl}) \cdot C_{orr,la} + I_{cl} \cdot C_{orr,cl} \quad (5.30)$$

gdzie:

I_{cl} - izolacyjność termiczna odzieży, clo.

Z tym, że prędkość względna powietrza jest limitowana do wartości $v_{ar} \leq 3$ m/s, a prędkość poruszania się człowieka jest limitowana do $v_{ar} \leq 1,5$ m/s

Gdy prędkość chodzenia jest niezdefiniowana lub osoba stoi w miejscu to wartość v_w oblicza się za pomocą wzoru (5.31):

$$v_w = 0,0052 \cdot (M - 58), \text{ m/s} \quad (5.31)$$

uwzględniając warunek, aby:

$$v_w \leq 0,7 \text{ m/s}$$

Finalnie dynamiczną izolacyjność odzieży oblicza się ze wzoru (5.32):

$$I_{cl\ dyn} = I_{tot\ dyn} - \frac{I_{a\ dyn}}{f_{cl}}, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (5.32)$$

gdzie:

$I_{cl\ dyn}$ - dynamiczna izolacyjność termiczna odzieży, $\text{m}^2 \cdot \text{K/w}$

Wymiana ciepła przez konwekcję i promieniowanie określana jest za pomocą następujących równań:

- Równanie opisujące wymianę ciepła między odzieżą a środowiskiem (5.33):

$$C + R = f_{cl} \cdot [h_{cdyn} \cdot (t_{cl} - t_a) + h_r \cdot (t_{cl} - t_r)], \text{ W/m}^2 \quad (5.33)$$

gdzie:

t_{cl} - temperatura powierzchni odzieży, °C,

h_{cdyn} - dynamiczny współczynnik przenikania ciepła konwekcyjnego, $\text{W/m}^2\text{K}$

h_r - radiacyjny współczynnik przenikania ciepła, $\text{W/m}^2\text{K}$

- Równanie opisujące wymianę ciepła pomiędzy skórą a powierzchnią odzieży (5.34):

$$C + R = \frac{t_{sk} - t_{cl}}{I_{cl\ dyn}}, \text{ w/m}^2 \quad (5.34)$$

Dynamiczny współczynnik przenikania ciepła konwekcyjnego h_{cdyn} określany jest jako największa wartości z następujących wyrażeń:

$$2,38 \cdot |t_{sk} - t_s|^{0,25}, \quad (5.35)$$

$$3,5 + 5,2 \cdot v_{ar} \quad (5.36)$$

$$8,7 v_{ar}^{0,6} \quad (5.37)$$

Radiacyjny współczynnik przenikania ciepła h_r określa się za pomocą wzoru (5.38):

$$h_r = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \varepsilon \cdot \frac{A_r}{A_{du}} \cdot \frac{(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4}{t_{ci} - t_{cr}}, \text{ W/m}^2\text{K} \quad (5.38)$$

gdzie:

ε - emisyjność.

Część powierzchni skóry, która bierze udział w wymianie ciepła przez promieniowanie A_r/A_{du} jest równa: 0,67 dla postawy kucającej, 0,70 dla postawy siedzącej, dla postawy stojącej 0,77

Kiedy pracownik nosi odzież odbłaskową należy skorygować współczynnik h_r przez $F_{cl,R}$ wynoszący według wzoru (5.39):

$$F_{cl,R} = (1 - A_p) \cdot 0,97 + A_p \cdot F_r, \quad (5.39)$$

gdzie:

$F_{cl,R}$ - współczynnik redukcji dla wymiany ciepła promieniowania z powodu noszenia ubrań odbłaskowych,

A_p - część powierzchni ciała objętego odzieżą odbłaskową,

F_r - emisyjność odzieży odbłaskowej.

Oba wyrażenia określające wymianę ciepła przez konwekcję i promieniowanie ($C + R$) powinny być rozwiązane iteracyjnie w celu uzyskania t_{cl} .

W środowisku, dla którego stosuje się model zawarty w metodzie analitycznego wyznaczania i interpretacji stresu cieplnego, średnia temperatura skóry człowieka może być określona w zależności od parametrów sytuacji roboczej stosując następujące wzory empiryczne [233]:

- Dla ludzi nieubranych ($I_{cl} \leq 0,2$) wg wzoru (5.40):

$$t_{sk,eq\ nu} = 7,19 + 0,064 \cdot t_a + 0,061 \cdot t_r - 0,348 \cdot v_a + 0,198 \cdot p_a + 0,000 \cdot M + 0,616 \cdot t_{re}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.40)$$

- Dla ludzi ubranych ($I_{cl} \geq 0,6$) wg wzoru (5.41):

$$t_{sk,eq\ cl} = 12,17 + 0,020 \cdot t_a + 0,044 \cdot t_r - 0,253 \cdot v_a + 0198 \cdot p_a + 0.000 \cdot M + 0,616 \cdot t_{re}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.41)$$

gdzie:

I_{cl} - izolacyjność termiczna odzieży, clo,

$t_{sk,eq\ nu}$ - średnia temperatura skóry człowieka dotycząca ludzi nieubranych, $^\circ\text{C}$,

$t_{sk,eq\ cl}$ - średnia temperatura skóry człowieka dotycząca ludzi ubranych, $^\circ\text{C}$,

t_a - temperatura mierzona termometrem suchym, $^\circ\text{C}$,

t_r - temperatura promieniowania, $^\circ\text{C}$,

v_a - prędkość powietrza, m/s,

p_a - ciśnienie cząstkowe pary wodnej, kPa.

Dla izolacyjności termicznej odzieży I_{cl} o wartości pomiędzy 0,2 a 0,6 clo, aby wyznaczyć średnią temperaturę skóry człowieka należy ekstrapolować między tymi dwoma wartościami przy użyciu wzoru (5.39):

$$t_{sk,eq} = t_{sk,eq\ nu} + 2,5 \cdot (t_{sk,eq\ cl} - t_{sk,eq\ nu}) \cdot (I_{cl} - 0,2), \quad (5.42)$$

Średnia temperatura skóry t_{sk} w czasie t_i zależy od:

- średniej temperatury skóry $t_{sk,i-1}$ w czasie t_{i-1} ,
- średniej temperatury skóry człowieka $t_{sk,eq}$, którą można przewidzieć na podstawie warunków panujących w czasie ostatniego przyrostu czasu biorąc pod uwagę równanie (5.42).

Jeśli stała czasowa reakcji dotycząca temperatury skóry jest równa 3 sek należy zastosować następujący wzór:

$$t_{sk,i} = 0,7165 \cdot t_{sk,i=1} + 0,2835 \cdot t_{sk,eq}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.43)$$

gdzie:

$t_{sk,i}$ - średnia temperatura skóry po czasie t_i , $^\circ\text{C}$.

W środowisku neutralnym temperatura wewnętrzna organizmu wzrasta z czasem wykonywania pracy i jest zależna od szybkości metabolizmu związanego z indywidualnymi czynnikami takimi jak moc tlenowa. W przypadku przeciętnego organizmu można założyć, że temperatura wewnętrzna rośnie w zależności od tempa metabolizmu, zgodnie z następującym wzorem (5:44):

$$t_{cr,eq} = 0,0036 \cdot (M - 55) + 36,8, \quad (5.44)$$

gdzie:

$t_{cr,eq}$ - temperatura wewnętrzna w zależności od tempa metabolizmu.

Temperatura wewnętrzna organizmu osiągnie wartość temperatury wewnętrznej związanej z tempem metabolizmu przy zakładanej reakcji organizmu wynoszącej 10 minut, wzór (5.45):

$$t_{cr} = 36,8 + (t_{cr,eq} - 36,8)(1 - \exp\left(\frac{-t}{10}\right)), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.45)$$

To równanie można zapisać też w inny sposób, wzór 5.46:

$$t_{cr,eq} = t_{cr,eq\ i-1} \cdot k + t_{cr,eq} \cdot (1 - k), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.46)$$

gdzie:

$t_{cr,eq\ i}$ - temperatura wewnętrzna w zależności od tempa metabolizmu po czasie t_i , $^\circ\text{C}$,

$t_{cr,eq\ i-1}$ - temperatura wewnętrzna w zależności od tempa metabolizmu po czasie t_{i-1} , $^\circ\text{C}$.

$$k = \exp\left(\frac{-incr}{10}\right), \quad (5.47)$$

Zgodnie z powyższym gęstość strumienia ciepła gromadzonego w organizmie człowieka oblicza się za pomocą wzoru (5.48):

$$\Delta S_{eq} = c_{sp}(t_{cr,eq\ i} - t_{cr,eq\ i-1})(1 - \alpha), \text{ W/m}^2 \quad (5.48)$$

gdzie:

c_{sp} - ciepło właściwe ciała, $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

α - część masy ciała w temperaturze skóry.

Wymagane zwilżenie skóry w_{req} wyraża się stosunkiem wymaganej gęstości strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania E_{req} do maksymalnej gęstości strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania na powierzchni skóry E_{max} , wzór (5.49):

$$w_{req} = \frac{E_{req}}{E_{max}} \quad (5.49)$$

Maksymalna gęstości strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania na powierzchni skóry E_{max} określana jest wzorem (5.50):

$$E_{max} = \frac{p_{sk,s} - p_a}{R_{tdyn}}, \text{ W/m}^2 \quad (5.50)$$

gdzie:

$p_{sk,s}$ - nasycone ciśnienie pary wodnej w temperaturze skóry, kPa,

p_a - ciśnienie cząstkowe pary wodnej, kPa,

R_{tdyn} - całkowity dynamiczny opór przenikania przez odzież pary wodnej do przygranicznej warstwy powietrza, $\text{m}^2 \cdot \text{kPa/W}$

Wymaganą gęstość strumienia potu wyznacza się na podstawie wymaganej gęstości strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania E_{req} , biorąc pod uwagę zróżnicowanie warunków odbierania potu przez otoczenie oraz nierównomierne wydzielanie potu na powierzchni skóry. Wymaganą gęstość strumienia potu oblicza się na podstawie wzoru 5.51:

$$S_{w_{req}} = \frac{E_{req}}{r_{req}}, \text{ W/m}^2 \quad (5.51)$$

gdzie:

$S_{w_{req}}$ - wymagana gęstość strumienia potu, W/m^2

r_{req} - wymagana wydajność parowania przez pocenie.

Gęstość strumienia potu wyrażona jest w watach na metr kwadratowy. Jeden W/m^2 odpowiada przepływowi $1,47 \text{ g/m}^2\cdot\text{h}$ lub $2,67 \text{ g/h}$ dla domyślnych założeń (powierzchnia ciała $1,8\text{m}^2$).

Uzyskanie odpowiedniej wymaganej gęstości strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania E_{req} wiąże się z zapewnieniem wymaganego zwilżenia skóry w_{req} oraz wymaganej gęstości strumienia potu $S_{w_{req}}$. Model matematyczny pozwala na symulowanie przewidywanej gęstości strumienia odprowadzanego drogą parowania E_p , przewidywanego zwilżenia skóry w_p oraz przewidywanej gęstości strumienia potu S_{w_p} biorąc pod uwagę ograniczenia ciała w_{max} i $S_{w_{max}}$ oraz gwałtowną reakcję systemu termoregulacji poprzez wymianę ciepła drogą parowania potu. Jeśli występuje równowaga termiczna nie dochodzi do gromadzenia ciepła w organizmie.

W środowisku gorącym może zdarzyć się, że wymagana gęstość strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania E_{req} przewyższa przewidywaną gęstość strumienia odprowadzanego drogą parowania E_p i wtedy dochodzi do gromadzenia ciepła w organizmie. Akumulacja ciepła w organizmie szacowana jest na podstawie różnicy pomiędzy wymaganą i przewidywaną gęstością strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania. Podczas akumulacji ciepła dochodzi do zwiększania się temperatury skóry i ciała.

Wymiana ciepła jest obliczana w czasie t_i , odnosząc się do kondycji ciała będącego w poprzednim czasie obliczeń oraz jest funkcją warunków klimatycznych i przemian metabolicznych w jednostce czasu. Na podstawie tych wartości jest określana wymiana ciepła w następnym kroku czasowym. W ten sposób zmiany przewidywanej gęstości strumienia potu S_{wp} i temperatury rektalnej t_{re} są określone iteracyjnie. Maksymalny dopuszczalny czas ekspozycji D_{Um} zostanie osiągnięty, gdy temperatura rektalna przekroczy wartość graniczną lub dojdzie do utraty wody z organizmu przekraczając odpowiednie wartości maksymalne.

W sytuacjach, w których maksymalna gęstości strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania na powierzchni skóry E_{max} jest ujemna, dochodzi do kondensacji pary wodnej na skórze oraz szacunkowy dopuszczalny czas ekspozycji na dane warunki mikroklimatu może wynosić mniej niż 30 minut. Zjawisko pocenia w takiej sytuacji odgrywa ważną rolę w szacowaniu wymiany ciepła drogą parowania. Należy podjąć specjalne środki ostrożności i indywidualny fizjologiczny nadzór nad pracownikiem, który znalazł się w takich warunkach mikroklimatu.

Interpretacja wartości obliczonych według zalecanej metody analitycznej jest oparta na dwóch kryteriach oceny stresu cieplnego:

- maksymalne zwilżenie skóry w_{max} ,
- maksymalna gęstość strumienia potu Sw_{max} ·

oraz na dwóch kryteriach oceny obciążenia cieplnego:

- maksymalna temperatura rektalna $t_{re\ max}$,
- maksymalna utrata wody z organizmu D_{max} ·

Wymagana gęstość strumienia potu Sw_{req} nie może przekroczyć maksymalnej gęstości strumienia potu Sw_{max} osiąganego przez człowieka, natomiast wymagane zwilżenie skóry w_{req} nie może przekroczyć maksymalnego zwilżenia skóry w_{max} osiąganego przez człowieka. Te dwie wartości maksymalne tworzą funkcję aklimatyzacji człowieka. W przypadku braku równowagi bilansu cieplnego wzrasta temperatura rektalna. Temperatura rektalna powinna być ograniczona do maksymalnej wartości $t_{re\ max} = 38^{\circ} C$, aby nie doszło do uszkodzeń organizmu człowieka. Bez względu na bilans cieplny utrata wody powinna być ograniczona do wartości D_{max} , zgodnie ze zdolnością człowieka do utrzymania równowagi hydrologicznej organizmu.

Gdy wymagana gęstość strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania E_{req} jest większa od maksymalnej gęstości strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania na powierzchni skóry E_{max} następuje pełne zwilżenie skóry ($w_{req} > 1$). Wtedy w_{req} odpowiada grubość warstwy wody na powierzchni skóry. Teoretycznie, jeśli $w_{req} > 1$ wydajność parowania powinna stać się mniejsza.

dla $w_{req} \leq 1$ wymagana wydajność parowania przez pocenie wynosi: $r_{req} = \frac{1-w_{req}^2}{2}$

dla $w_{req} \geq 1$ wydajność parowania przez pocenie wynosi: $r_{req} = \frac{2-w_{req}^2}{2}$

Stała czasowa odpowiedzi organizmu człowieka na określone warunki poprzez wywołanie strumienia potu została określona na 10 min. Z uwagi na to przewidywaną gęstość strumienia potu w czasie t_i można wyznaczyć ze wzoru (5.52):

$$S_{w_p} = S_{w_{p1}} \cdot k_{sw} + S_{p,i-1} \cdot (1 - k_{sw}), \text{ W/m}^2 \quad (5.52)$$

gdzie:

$$k_{sw} = \exp \cdot \left(\frac{-incr}{10} \right)$$

Jak wspomniano powyżej, wymagane zwilżenie skóry może być teoretycznie większe niż 1 dla obliczeń przewidywanego strumienia potu. Z uwagi na to, że przepływ ciepła drogą parowania ogranicza się do powierzchni warstwy wodnej znajdującej się na powierzchni ciała, przewidywane zwilżenie skóry nie może być większe niż 1. Dzieje się tak, dlatego że przewidywany strumień potu jest ponad dwa razy większy niż maksymalny przepływ ciepła drogą parowania.

Przewidywana gęstość strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania E_p wyznacza się z zależności (5.53):

$$E_p = w_p \cdot E_{max}, \quad (5.53)$$

gdzie:

w_p - przewidywane zwilżenie skóry.

Gęstość strumienia ciepła akumulowanego w organizmie człowieka w ostatnim przyroście czasu t_i jest wyrażona równaniem (5.54):

$$S = E_{req} - E_p + S_{eq}, \text{ W/m}^2 \quad (5.54)$$

gdzie:

E_p - przewidywana gęstość strumienia ciepła odprowadzanego drogą parowania, W/m^2

Omawiany proces akumulacji ciepła prowadzi do wzrostu temperatury wewnętrznej, uwzględniając wzrost temperatury skóry. Część masy ciała o temperaturze średniej temperatury wewnętrznej ciała jest wyrażona równaniem (5.55):

$$(1 - \alpha) = 0,7 + 0,09 (t_{cr} - 36,8) \quad (5.55)$$

gdzie:

α - część masy ciała w temperaturze skóry,

t_{cr} - temperatura wewnętrzna ciała, $^{\circ}\text{C}$.

Określono limit wartości dla części masy ciała w temperaturze skóry α [235]:

0,7 dla $t_{cr} < 36,8^{\circ}\text{C}$, 0,9 dla $t_{cr} < 39^{\circ}\text{C}$.

Rysunek 5.4 przedstawia rozkład temperatury w organizmie w czasie t_{i-1} i czasie t_i .

Na podstawie tego można obliczyć temperaturę wewnętrzną ciała $t_{cr,i}$ z równania (5.56):

$$t_{cr,i} = \frac{1}{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \left[\frac{\Delta S_i}{c_p \cdot W_b} + t_{cr,i-1} - \frac{t_{cr,i-1} - t_{sk,i-1}}{2} \cdot \alpha_{i-1} - t_{sk,i} \cdot \frac{\alpha_i}{2} \right], \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (5.56)$$

gdzie:

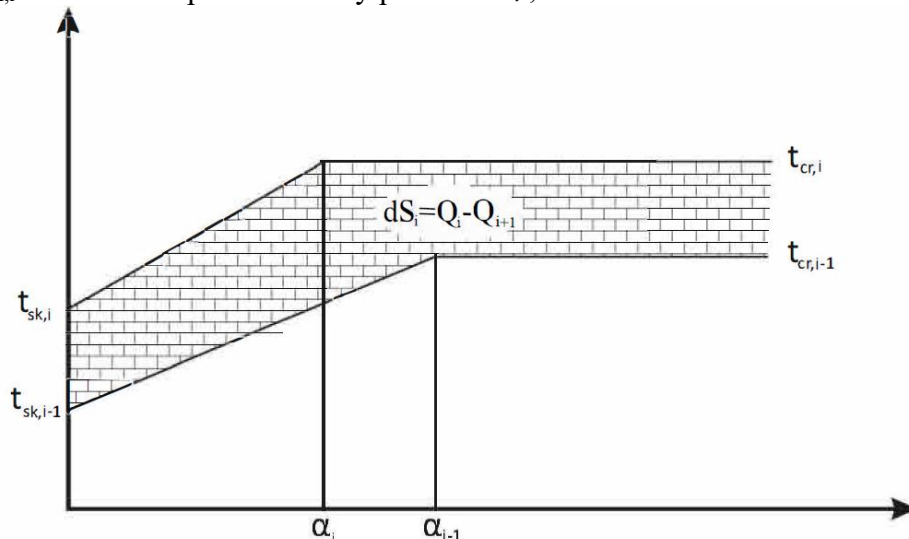
W_b - masa ciała, kg,

ΔS_i - akumulacja ciepła w organizmie w czasie t_i , W/m²

$t_{cr,i-1}$ - temperatura wewnętrzna po czasie t_{i-1} , °C,

$t_{sk,i-1}$ - średnia temperatura skóry po czasie t_{i-1} , °C,

$t_{sk,i}$ - średnia temperatura skóry po czasie t_i , °C.



Rys. 5.4. Rozkład temperatury w organizmie w czasie t_{i-1} i t_i

Temperaturę rektalną można wyznaczyć za pomocą następującego wzoru (5.57)

$$t_{re,i} = t_{re,i-1} \cdot \frac{2 \cdot t_{cr,i} - 1,962 \cdot t_{re,i-1} - 1,31}{9}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.57)$$

gdzie:

$t_{cr,i}$ - temperatura wewnętrzna po czasie t_i , °C,

$t_{re,i-1}$ - temperatura rektalna po czasie t_{i-1} , °C.

Model PHS pozwala ocenić warunki mikroklimatu, gdzie znane jest tempo metabolizmu, izolacyjność termiczna odzieży oraz parametry środowiska. Za pośrednictwem tej metody można analizować nie tylko stałe warunki pracy, lecz także zmienne warunki mikroklimatu lub różne obciążenia pracą w różnym okresie czasu. Metoda analitycznego wyznaczania i interpretacji stresu cieplnego umożliwia wprowadzenie różnych sposobów organizacji pracy i planowania okresów przerw, jeśli jest to konieczne.

5.4. Metody pomiaru wydatku energetycznego.

Wydatek energetyczny można wyznaczyć na podstawie różnych metod. Najczęściej w literaturze przedmiotu stosuje się określenie wydatku energetycznego wyrażonego w watach przypadających na metr kwadratowy powierzchni ciała (W/m^2). W oparciu o tę wartość można określić wydatek energetyczny wyrażony w kJ/min lub $kcal/min$. Do wyznaczenia wydatku energetycznego stosuje się różne metody wśród najpowszechniejszych są:

- metoda kalorymetrii bezpośredniej,
- metoda kalorymetrii pośredniej,
- metoda oparta na pomiarze częstości skurczów serca,
- metoda tabelaryczno-chronometrażowa.

Metoda kalorymetrii bezpośredniej to najstarszy sposób określania wydatku energetycznego, opierający się na założeniu, że każda postać energii wykorzystywanej przez organizm (energia mechaniczna, chemiczna czy elektryczna) ostatecznie zamieniana jest w energię cieplną, zatem ilość ciepła wydzielanego przez organizm odzwierciedla poziom przemian energetycznych (równoważę ilość zużywanej energii). Pomiar polega na oznaczeniu ilości ciepła wydzielanego przez organizm znajdujący się w komorze kalorymetrycznej, urządzeniu przypominającym pomieszczenie, otoczone obiegiem wodnym. Na podstawie zwiększenia się temperatury wody otaczającej ściany komory określa się ilość wydzielanego ciepła (w jednostce czasu). Tego typu badania wykonuje się w specjalnych komorach kalorymetrycznych. Metoda ta nie nadaje do pomiaru wydatku energetycznego w środowisku pracy z uwagi na specyfikę pomiaru [247].

Metoda kalorymetrii pośredniej jej podstawą jest założenie, że energia wykorzystywana przez organizm uzyskiwana jest w wyniku utleniania składników odżywczych (węglowodanów, tłuszczów i białek). W reakcjach tych zużywany jest tlen i wydzielany dwutlenek węgla, w ilościach proporcjonalnych do wydatkowanej energii. Pomiar wydatku energetycznego w tej metodzie polega na respiracyjnym określeniu wymiany gazów oddechowych (objętości zużytego tlenu i wydzielonego dwutlenku węgla) w jednostce czasu. Ilość wydatkowanej energii oblicza się na podstawie równoważnika energetycznego tlenu, którego wartość zależy od współczynnika oddechowego (R) ($R = V_{CO_2}/V_{O_2}$) i mieści się w przedziale 0,70–1,0. Dla R równego 0,71 równoważnik energetyczny wynosi 4,68 $kcal$, a dla R równego 1,0 równoważnik energetyczny wynosi 5,05. Warto zaznaczyć, że wartość współczynnika oddechowego zależy od wielu czynników, m.in. od rodzaju wykorzystywanego substratu energetycznego. Przykładowo przy czerpaniu energii jedynie z węglowodanów R wynosi 1, natomiast przy wykorzystywaniu

tłuszczów jako jedyne źródła energii – 0,7. Mierzac zatem tzw. koszt tlenowy ($l \cdot \text{min}^{-1}$ lub $\text{ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) i znając równoważnik energetyczny tlenu, można oznaczyć koszt kaloryczny danej czynności. Kalorymetrię pośrednią uważa się za metodę szczególnie przydatną w ocenie wydatku energetycznego wysiłku, zwłaszcza aerobowego (tlenowego). Koszty energetyczne wysiłku mogą stanowić kryterium klasyfikacji pracy o zróżnicowanym stopniu ciężkości dlatego metodę tą często wykorzystuje się do pomiaru wydatku energetycznego na stanowiskach pracy. [247]

Metoda oparta na pomiarze częstości skurczów serca wykorzystuje zjawisko zwiększenia natężenia przemian energetycznych następującego wskutek zwiększonego zaopatrzenia komórek w tlen i substraty energetyczne. Związany z tym wzmożony przepływ krwi przejawia się zmianami częstotliwości skurczów serca. Metoda bazuje na liniowej zależności między częstotliwością skurczów serca (*heart rate* – HR), a wielkością poboru tlenu (VO_2) w trakcie wysiłku. Pomiar musi być poprzedzony wyznaczeniem indywidualnej zależności regresyjnej HR/ VO_2 podczas wysiłku o różnej intensywności. Metodą tą można oznaczać wydatek energetyczny wysiłku oraz całodobowy wydatek energetyczny (monitorowanie pracy serca z odpowiednio dużą częstotliwością, np. co minutę). Wyznacza się okresy w ciągu doby, w których VO_2 szacowane jest z krzywej regresji liniowej, oraz takie, w których wydatek energetyczny odpowiada metabolizmowi spoczynkowemu, a następnie sumuje wszystkie wydatki. Metoda oparta na pomiarze częstości skurczów serca jest mniej skomplikowana niż pomiar pobierania tlenu, ale co za tym idzie dokładność też jest mniejsza. Obecnie pomiar wartości tętna może być łatwo rejestrowany w sposób ciągły przez odpowiednie przenośne przyrządy pomiarowe tzw. pulsometry. Tętno jest zależne od wielu czynników tj. wysiłku dynamicznego, stresu cieplnego, wysiłku statycznego, obciążenia psychicznego, hałasu oraz stanu zdrowia pracownika. Tego typu pomiar wydatku energetycznego jest poprawny tylko dla sytuacji, gdzie pracownik będzie wykonywał pracę charakteryzującą się znacznym wysiłkiem dynamicznym, z zaangażowaniem dużych grup mięśniowych przy małym statycznym obciążeniu mięśni [247, 248]

Metoda tabelaryczno-chronometrażowa polega na skrupulatnym zapisie w dzienniczku lub specjalnym kwestionariuszu (w postaci tabelki) wszystkich czynności podejmowanych w ciągu doby, z zaznaczeniem czasu ich trwania (min lub h), a następnie na ich podstawie odczytywaniu z tabel wartość wydatku energetycznego dla typowych czynności występujących w codziennym życiu i pracy zawodowej. Metoda określania wydatku energetycznego przy użyciu tabel jest obciążona dosyć dużym błędem z uwagi na specyfikę branż przemysłowych oraz zmian technologicznych, jakie zaistniały od stworzenia tego typu tabel. Zaletą tej metody jest możliwość

szerokiego zastosowania z uwagi na to, że nie trzeba stosować jakichkolwiek przyrządów pomiarowych. [247].

Analizując przedstawione metody warto zwrócić uwagę na fakt, iż nie istnieje idealne narzędzie oceniające aktywność fizyczną człowieka. Dobierając metodę wyznaczenia zapotrzebowania energetycznego (całkowitej przemiany materii, dobowego wydatku energetycznego) lub kosztów energetycznych poszczególnych rodzajów wysiłku (czynności), warto zwrócić uwagę na zalety i wady opisanych powyżej metod pomiaru wydatku energetycznego (Tabela 5.2) oraz dostosować wybór metody do indywidualnych potrzeb osoby badanej. Opisane metody, z wyjątkiem metody kwestionariuszowej, należy zaliczyć do metod obiektywnych, które stanowią niezbędne narzędzie badawcze w bilansowaniu zapotrzebowania energetycznego osób o dużej aktywności fizycznej. Metody te znajdują również swoje odzwierciedlenie w polskich i zagranicznych aktach normatywnych.

Tabela 5.2. Porównanie metod pomiaru wydatku energetycznego.

Metoda pomiaru wydatku energetycznego	Wady	Zalety
Kalorymetria bezpośrednia	Kosztowna. Skomplikowana technicznie. Sztuczne środowisko pomiaru	Dokładna i precyzyjna Czuła. Bezpośredni pomiar energii
Kalorymetria pośrednia	Wymaga najlepszych z dostępnych instrumentów pomiarowych – kosztowna Konieczność wykonywania czynności w masce. Dość skomplikowana technicznie	Dokładna i precyzyjna (w nieznacznym stopniu ustępuje dokładnością metodzie kalorymetrii bezpośredniej). Czuła. Bardzo rozpowszechniona. Umożliwia pomiar w warunkach naturalnych np. podczas pracy. Mierząc stosunek O ₂ do CO ₂ można określić rodzaj substratów energetycznych (węglowodany, białka, tłuszcze), z których uzyskiwana jest energia
Monitorowanie pracy serca	Konieczność indywidualnych oszacowań relacji HR/VO ₂ dla każdego badanego i znajomość wartości spoczynkowej częstości skurczów serca. Stosunkowo mała dokładność (z dokładnością do 239 kcal (1MJ) na 24h). Niezalecana w przypadku wysiłków o małej intensywności. Może nie odzwierciedlać zmian w poborze tlenu w ekstremalnych warunkach np.: wysoka temperatura, wilgotność powietrza itp.	Możliwość dokonywania pomiarów bez zmiany trybu życia, przy zwyczajowej aktywności badanego. Mała uciążliwość pomiaru - można stosować w naturalnych warunkach. Możliwość zastosowania do badań dzieci. Możliwość pomiaru pojedynczej czynności oraz pomiaru przez dłuższy okres czasu
Chronometryczowa (kwestionariuszowa)	Brak pomiaru rzeczywistego wydatku energetycznego Błędy obliczeniowe związane z niedoszacowaniem, nadinterpretacją, zapominaniem, subiektywną oceną badanej osoby	Łatwość zastosowania Dostępność

Najnowszym dokumentem w tym zakresie jest norma PN-EN ISO 8996:2022-06, która zawiera różne metody określania wydatku energetycznego w zależności od poziomu uzyskiwanej dokładności:

- **Poziom 1** - badania przesiewowe: przedstawiono prostą i łatwą w użyciu metodę tabelaryczną pozwalającą szybko sklasyfikować średnie obciążenie pracą jako lekkie, umiarkowane, wysokie lub bardzo wysokie w zależności od rodzaju aktywności,
- **Poziom 2** - obserwacje, badanie czasu i ruchu jest przeznaczone dla osób posiadających pełną wiedzę na temat warunków pracy, ale niekoniecznie przeszkolonych w zakresie ergonomii, w celu scharakteryzowania przeciętnej sytuacji pracy w określonym czasie: Opisano procedurę sukcesywnego rejestrowania aktywności w czasie, szacowania tempa metabolizmu każdej aktywności przy użyciu wzorów i danych przedstawionych w załączniku B normy, oraz obliczania średniego tempa metabolizmu ważonego czasem.
- **Poziom 3** – analizy jest to metoda skierowana do osób przeszkolonych w zakresie zdrowia w miejscu pracy i ergonomii środowiska termicznego. Wydatek energetyczny jest oceniany na podstawie zapisów tętna w reprezentatywnym okresie. Ta metoda pośredniej oceny tempa metabolizmu opiera się na jego związku z tętnem w określonych warunkach. Inna metoda na tym poziomie opiera się na wykorzystaniu akcelerometru do rejestrowania ruchu ciała.
- **Poziom 4** – ekspertyzy zawiera trzy metody pomiaru wydatku energetycznego wymagające uczestnictwa ekspertów. Metody te charakteryzują się małym błędem pomiaru. Wyróżnia się następujące metody określania wydatku energetycznego:
 - metoda oparta na pomiarze zużycie tlenu mierzone w krótkich okresach (od 10 min do 20 min);
 - metoda podwójnie znakowanej wody mająca na celu scharakteryzowanie średniego tempa metabolizmu w znacznie dłuższych okresach (od 1 tygodnia do 2 tygodni);
 - metoda kalorymetrii bezpośredniej.

W literaturze przedmiotu [240] w oparciu o wcześniejsze wersje cytowanej normy PN-EN ISO 8996 oraz PN-EN 28996:1999 na podstawie przeprowadzonych badań ciężkości pracy w polskich kopalniach podziemnych. Określony został wydatek energetyczny dla poszczególnych grup zawodowych górników. W ramach badań zebrano dane o stanowiskach pracy i zakresie wykonywanych czynności dla grup zawodowych polskich kopalń podziemnych. Na podstawie tych danych określono metodą tabelaryczną wydatek energetyczny poszczególnych charakterystycznych czynności wykonywanych w kopalniach oraz określono średni wydatek energetyczny na stanowiskach pracy. Ponadto wykonano pomiary pulsometrem in situ dla

zawodów charakterystycznych dla ścian i przodków eksploatacyjnych kopalń węgla. Porównanie wyników badań ciężkości pracy metodą tabelaryczną z metodą opartą na pomiarze częstości skurczów serca dla zawodów wykonywanych w ścianach i przodkach eksploatacyjnych przedstawiono w Tabeli 5.3.

Analizując powyższe wartości można stwierdzić, że wyniki oceny ciężkości pracy obiema metodami są zbliżone. Średni wydatek energetyczny w ścianach przodkach eksploatacyjnych plasuje się przeważnie na poziomie umiarkowanym z okresowym zwiększaniem ciężkości pracy.

Tabela 5.3. Porównanie średnich wartości wydatku energetycznego i ciężkości pracy pracowników ze względu na zastosowaną metodę pomiaru [240].

Miejsce pracy Stanowiska objęte badaniami	Klasa ciężkości pracy na podstawie metody tabelarycznej		Wydatek energetyczny obliczony na podstawie metody pomiaru częstości skurczów serca	
	Głównej	Dodatkowej	W/m ²	Klasa ciężkości pracy
Ściany	1	2	3	4
Dozór	umiarkowana	często lekka	150	umiarkowana
Kombajniści	umiarkowana	Sporadycznie ciężka	174	umiarkowana
Sekcyjni	umiarkowana	Czasem ciężka	174	umiarkowana
Elektrycy, Mechanicy	umiarkowana	Okresowo ciężka	167	umiarkowana
Pracownicy pomocniczy	umiarkowana	umiarkowana	153	umiarkowana
Przodki korytarzowe	1	2	3	4
Dozór	umiarkowana	często ciężka	208	średnio-ciężka
Kombajniści	umiarkowana	czasem ciężka	171	umiarkowana
Górnicy przodka	umiarkowana/ ciężka	Sporadycznie bardzo ciężka	207	średnio-ciężka
Elektrycy Mechanicy	umiarkowana	często ciężka	186	średnio-ciężka
Transport, Przesypy	umiarkowana	umiarkowana	169	umiarkowana

W ramach prowadzonych badań [240] autorzy określili również średni czas trwania poszczególnych etapów pracy (Tabela 5.4). Czasy określone w tabeli przedstawiają ogólne wyniki dla normalnego i skróconego czasu pracy. Na podstawie tych wyników badań można stwierdzić, że na stanowisku pracy górnik przebywa średnio około 310 minut. Droga na stanowisko oraz powrót ze stanowiska pracy przebiega przez wyrobiska, które charakteryzują się zwykle lepszymi warunkami mikroklimatu. Zgodnie w powyższym można wywnioskować, że pracownik narażony na zagrożenie klimatyczne, przeważnie swoje główne czynności na stanowisku pracy wykonuje przez mniej niż 6 godzin.

Tabela 5.4. Średni czas trwania poszczególnych etapów procesu pracy

Stanowiska objęte badaniami		Średni czas trwania etapów pracy [min]			
		Zjazd-wyjazd	Droga na stanowisko	Praca na stanowisku	Powrót ze stanowiska
Ściany	Kombajniści	436	52	339	44
	Sekcyjni	431	52	337	43
	Dozór	419	53	319	48
	Elektrycy, Mechanicy	416	54	313	47
	Pracownicy pomocniczy	415	53	314	45
Przodki korytarzowe	Kombajniści	385	52	289	46
	Górnicy w przodku	380	55	279	45
	Dozór	396	57	289	49
	Elektrycy Mechanicy	387	58	277	51
Transport	Transport, Przesypy	409	41	325	40

Źródło: opracowanie własne

W ramach prowadzonych, badań własnych wydatek energetyczny wyznaczony będzie w oparciu o metodę rejestracji tętna w trakcie całej zmiany roboczej.

6. PRAKTYCZNA OCENA TEMATU BADAWCZEGO.

6.1. Identyfikacja problemu badawczego w oparciu o badania ankietowe.

Zmiana przepisów górniczych w 2013 i 2016 r. i wprowadzenie do oceny zagrożenia klimatycznego temperatury zastępczej klimatu spowodowało duże niezadowolenie wśród górników i poruszenie central związkowych dlatego między sierpniem a wrześniem 2017r. Autorka przedmiotowej pracy doktorskiej zdecydowała się na przeprowadzanie badań ankietowych, które miały przybliżyć podłoże tego konfliktu.

Badania ankietowe umożliwiają uzyskanie potrzebnych informacji bezpośrednio od osób zatrudnionych w badanym środowisku oraz poznanie ich opinii na temat tego jak ankietowany ocenia i postrzega wybrany obszar czy zjawisko. Najbardziej wyrazistą formą badanego obszaru są badania anonimowe, które pozwalają osobie ankietowanej na całkowitą szczerłość w wyrażaniu swojej opinii co wskazuje te narzędzie jako jedno z najprostszych wiarygodnych źródeł badawczych.

W ramach prowadzonego w 2017 r. badania ankietowanego ankietarzy rozdali 1500 ankiet wśród pracowników kopalń zatrudnionych w trudnych warunkach klimatycznych. Ostatecznie w anonimowym badaniu ankietowym wzięło udział 1264 pracowników.

Ankieta skierowana do górników, poza formatką dotyczącą danych osobowych składała się z 24 pytań zamkniętych, które miały doprowadzić do poznania opinii górników na temat:

- a) sposobu identyfikacji i oceny istniejącego zagrożenia klimatycznego w wyrobiskach górniczych,
- b) transparentności przeprowadzonych pomiarów warunków klimatycznych,
- c) wprowadzonych zmian w przepisach dotyczących oceny zagrożenia klimatycznego,
- d) pogorszenia lub poprawy warunków pracy z uwagi na zagrożenie klimatyczne po w prowadzonych zmianach w przepisach górniczych,
- e) zwiększenia lub zmniejszenia stopnia uciążliwości pracy.

Przykładowe pytania przedstawiono w (Tab. 6.1):

Tabela 6.1. Pytania ankietowe dotyczące zagrożenia klimatycznego w kopalniach.

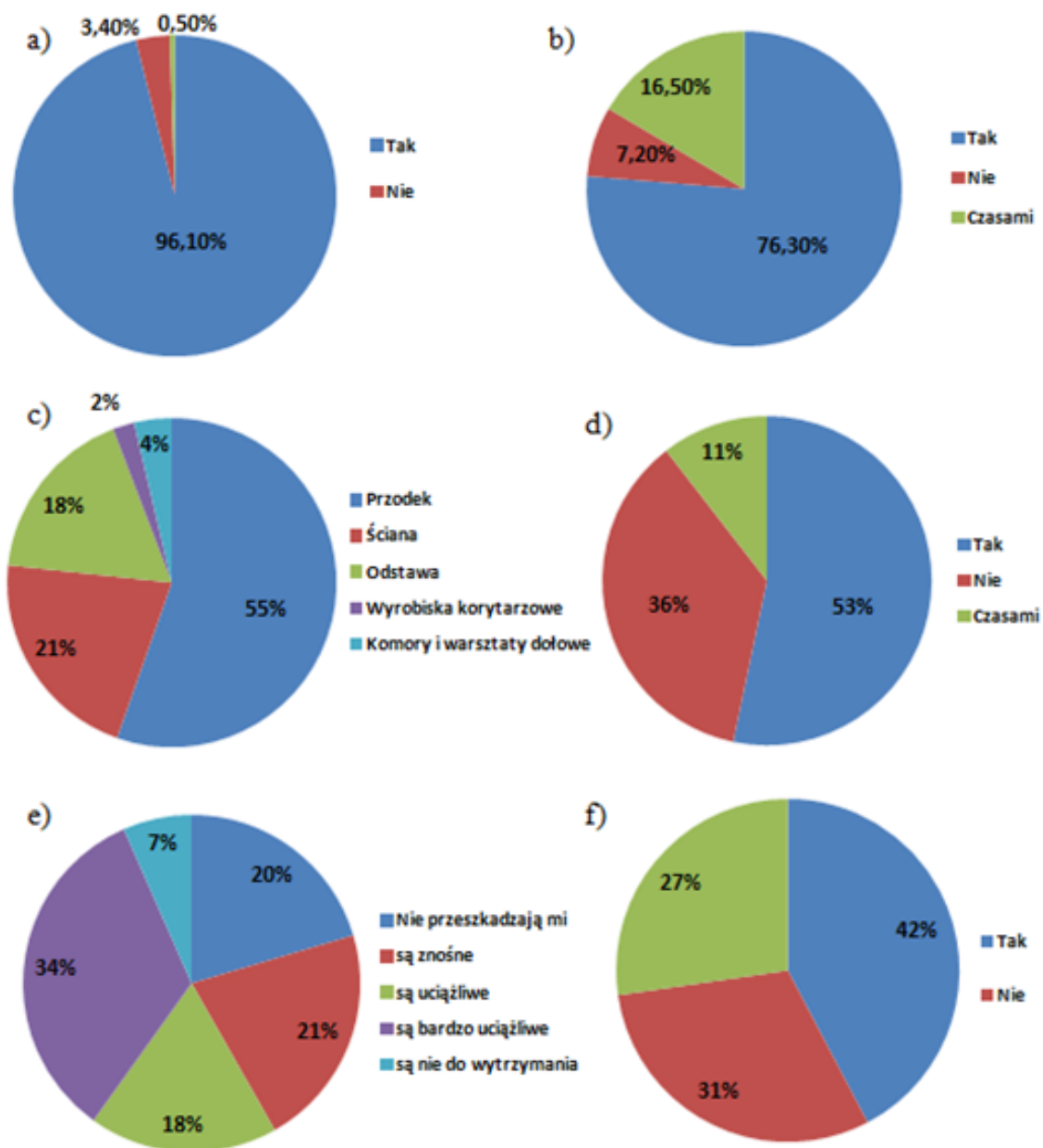
Lp.	Pytania ankietowe
1	Czy na pana kopalni istnieje zagrożenie klimatyczne?
2	Czy na swojej kopalni obserwujesz wzrost zagrożenia klimatycznego i pogorszone warunki pracy?
3	Czy na pana stanowisku pracy występuję zagrożenie klimatyczne?
4	W jakich wyrobiskach na kopalni występuję największe zagrożenie klimatyczne?
5	Jak Pan ocenia warunki klimatyczne panujące na pana stanowisku pracy?
6	Czy temperatura i wilgotność odczuwana w czasie pracy panu przeszkadza?
7	Jak temperatura mierzona termometrem suchym panuje na pana stanowisku pracy?
8	Jaka wilgotność panuje na pana stanowisku pracy?
9	Czy z uwagi na zagrożenie klimatyczne ma pan skrócony czas pracy do 6 godzin?.
10	Czy w wyrobisku którym pan pracuje są zabudowane urządzenia chłodzące - klimatyzatory?

11	Czy mimo zabudowanych urządzeń chłodzących masz skrócony czas pracy?
12	Jak ocenia pan nowy pomiar warunków klimatycznych?
13	Czy Pana zdaniem prędkość powietrza na pana stanowisku pracy jest wystarczająca
14	Czy pan wie co to jest temperatura zastępcza klimatu?
15	Czy potrafi pan obliczyć temperaturę zastępczą klimatu?
16	W pana odczuciu, który sposób wyznaczania zagrożenia klimatycznego był lepszy.
17	Jak pan odbiera nową metodę oceny warunków klimatycznych na stanowisku pracy?
18	Czy uważa pan zmianę przepisów w sprawie zagrożenia klimatycznego za właściwą i prawidłową?
19	Czy uważa pan, że sprzeciw i protesty organizacji związkowych w sprawie zmiany oceny warunków klimatycznych w kopalniach są słuszne?
20	Czy zmiana przepisów w sprawie zagrożenia klimatycznego wydłużyła pana czas pracy na stanowisku?
21	Jak wpłynęła na pana zmiana przepisów w sprawie zagrożenia klimatycznego?
22	Czy musi Pan robić częste przerwy w pracy z powodu trudnych warunków klimatycznych ?
23	Czy w związku z wydłużeniem czasu pracy musi się Pan rozbierać z ubrania roboczego aby wykonywać prace?
24	Czy w związku z wydłużeniem czasu pracy odczuwa pan jakieś dodatkowe dolegliwości: bóle i zawroty głowy, nudności, wymioty?

Zródło: opracowanie własne

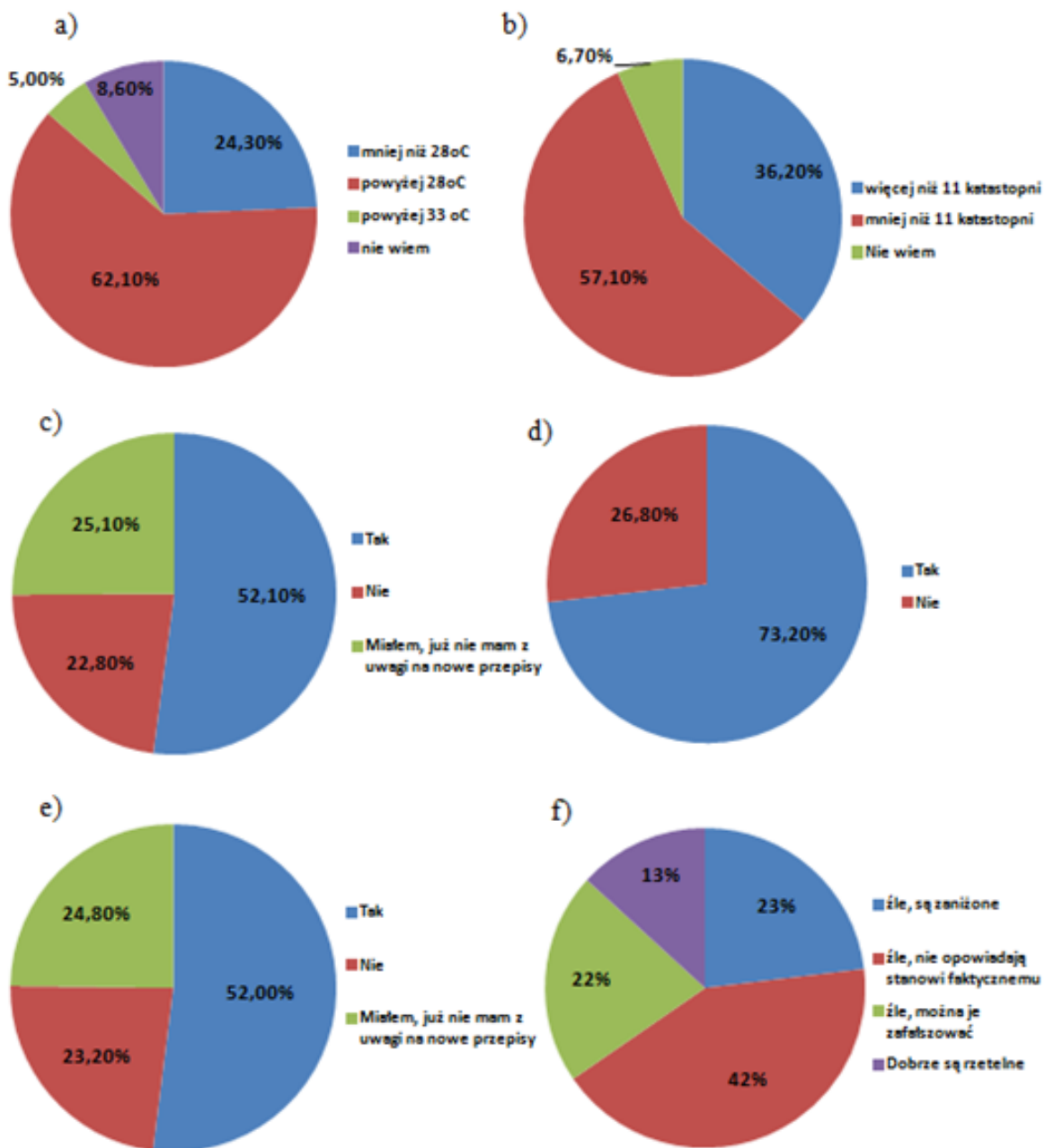
Pierwszy badany obszar dotyczący identyfikacji i oceny istniejącego zagrożenia klimatycznego w wyrobiskach górniczych w pierwszym pytaniu potwierdził fakt, iż w badaniu brali udział wyłącznie pracownicy kopalń zatrudnieni w wyrobiskach z występującym zagrożeniem klimatyczne z 1264 badanych. Ankietowani pracownicy to głównie górnicy pracujący w wyrobiskach przygotowawczych (438 osób) i eksploatacyjnych (681 osób) oraz pracownicy działu energomechanicznego (elektrycy i ślusarze - 96 osób pracujący bezpośrednio przy wydobywaniu w wyrobiskach ścianowych i przodkach górniczych. Ankietowani w 92,8% potwierdzają też, iż na przestrzeni ostatnich lat w ich kopalniach można zaobserwować wyraźny wzrost zagrożenia klimatycznego zwłaszcza w drażonych przodkach górniczych i prowadzonych ścianach. Ponad połowa z nich (53,3%) deklaruje, że na ich własnym stanowisku pracy stale występuje zagrożenie klimatyczne, a warunki pracy są uciążliwe lub bardzo uciążliwe z uwagi na wysoką temperaturę i wilgotność. Większość 62,1% ankietowanych podkreśla fakt, iż na co dzień pracuje w temperaturze przekraczającej 28°C i przy wilgotności niższej niż 11 katastopni (57,1% badanych), a mimo to u 25,1% ankietowanych nowelizacja przepisów górniczych spowodowała wydłużenie czasu pracy z 6 do 7,5 godziny. Przy analizie tych parametrów warto zauważyć, że przekroczenia temperatury i wilgotności występują mimo zastosowania w większości wyrobisk (73,2%) urządzeń chłodzących – klimatyzatorów (Rys. 6.1 i Rys. 6.2).

a) Czy na pana kopalni istnieje zagrożenie klimatyczne?, b) Czy na swojej kopalni obserwujesz wzrost zagrożenia klimatycznego i pogorszone warunki pracy?, c) W jakich wyrobiskach na kopalni występują największe zagrożenie klimatyczne?, d) Czy na pana stanowisku pracy występują zagrożenie klimatyczne?, e) Jak Pan ocenia warunki klimatyczne panujące na pana stanowisku pracy?, f) Czy temperatura i wilgotność odczuwana w czasie pracy panu przeszkadza?



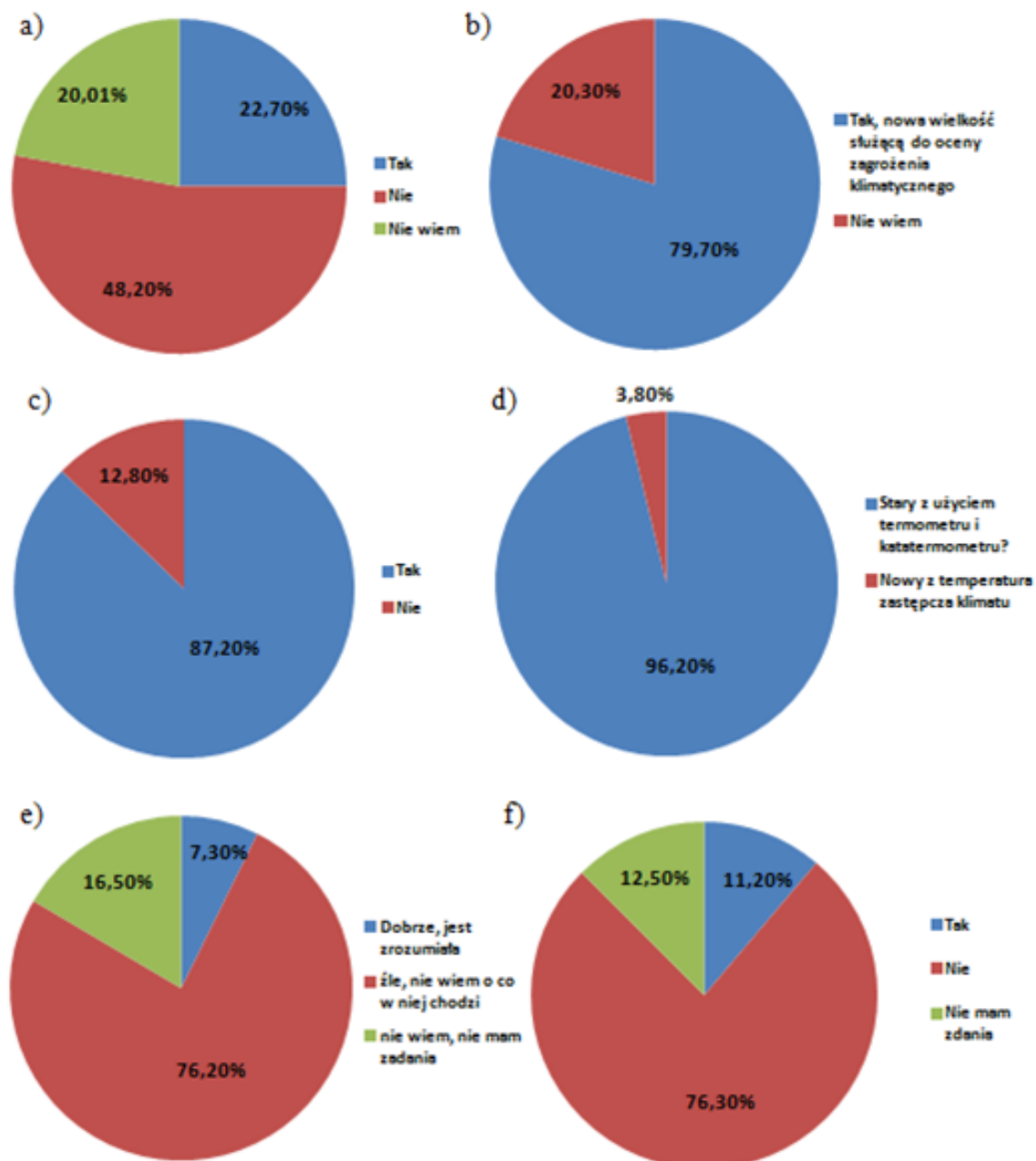
Rys. 6.1. Odpowiedź na pytania ankietowe blok I.

a) Jak temperatura mierzona termometrem suchym panuje na pana stanowisku pracy?
 b) Jaka wilgotność panuje na pana stanowisku pracy?, c) Czy z uwagi na zagrożenie klimatyczne ma pan skrócony czas pracy do 6 godzin?, d) Czy w wyrobisku którym pan pracuje są zabudowane urządzenia chłodzące - klimatyzatory?, e) Czy mimo zabudowanych urządzeń chłodzących masz skrócony czas pracy?, f) Jak ocenia pan nowy pomiar warunków klimatycznych?.



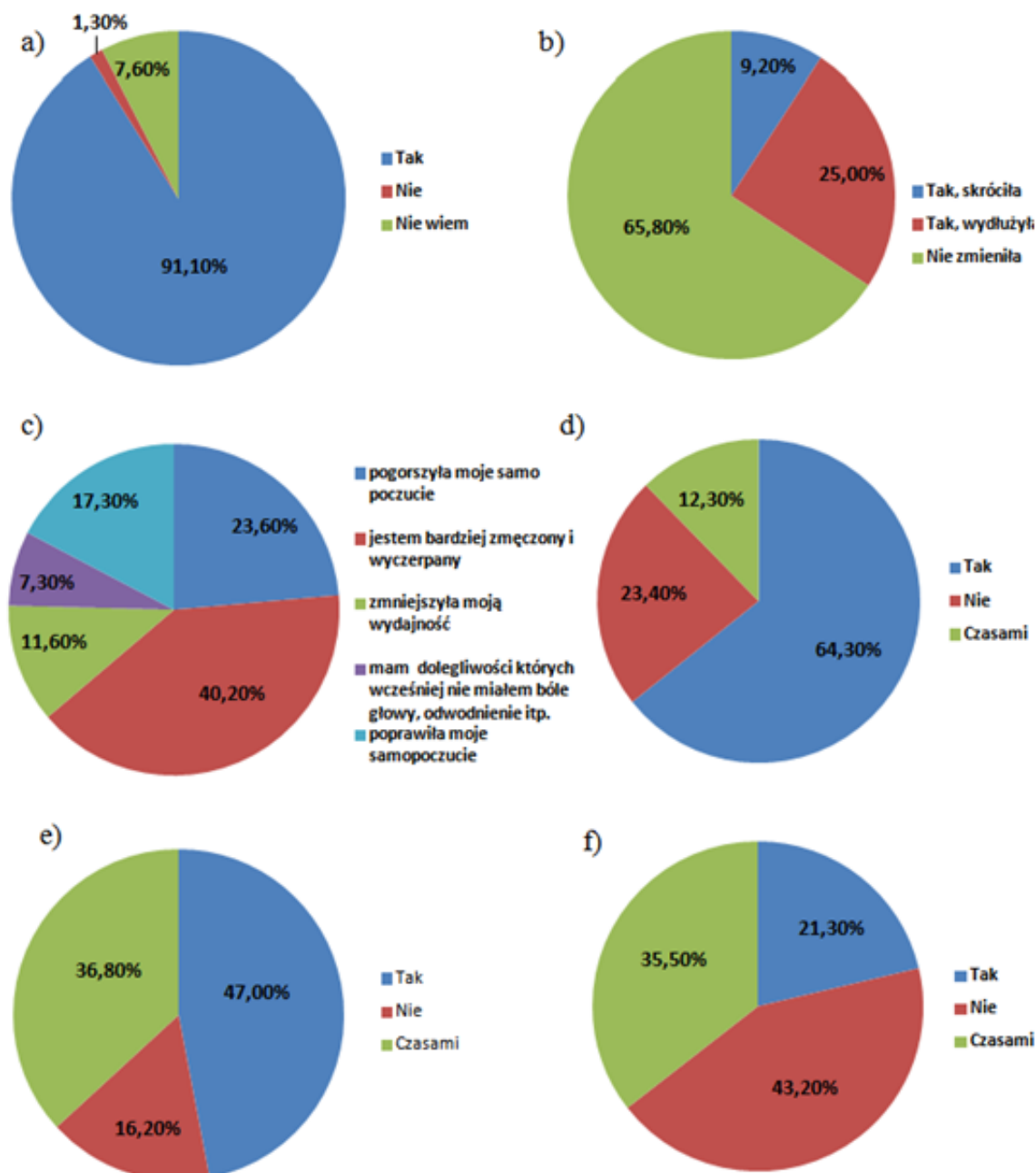
Rys. 6.2. Odpowiedź na pytania ankietowe blok I. cd.

a) Czy Pana zdaniem prędkość powietrza na pana stanowisku pracy jest wystarczająca?
 b) Czy pan wie co to jest temperatura zastępcza klimatu?, c) Czy potrafi pan obliczyć temperaturę zastępczą klimatu?, d) W pana odczuciu, który sposób wyznaczania zagrożenia klimatycznego był lepszy?, e) Jak pan odbiera nową metodę oceny warunków klimatycznych na stanowisku pracy?, f) Czy uważa pan zmianę przepisów w sprawie zagrożenia klimatycznego za właściwą i prawidłową?.



Rys. 6.3. Odpowiedź na pytania ankietowe blok II.

a) Czy uważa pan, że sprzeciw i protesty organizacji związkowych w sprawie zmiany oceny warunków klimatycznych w kopalniach są słuszne? b) Czy zmiana przepisów w sprawie zagrożenia klimatycznego wydłużyła pana czas pracy na stanowisku?, c) Jak wpłynęła na pana zmiana przepisów w sprawie zagrożenia klimatycznego?, d) Czy musi Pan robić częste przerwy w pracy z powodu trudnych warunków klimatycznych?, e) Czy w związku z wydłużeniem czasu pracy musi się Pan rozbierać z ubrania roboczego aby wykonywać prace?, f) Czy w związku z wydłużeniem czasu pracy odczuwa pan jakieś dodatkowe dolegliwości: bóle i zawroty głowy, nudności, wymioty?



Rys. 6.4. Odpowiedź na pytania ankietowe blok III.

Kolejny obszar poruszony w badaniu ankietowym dotyczył transparentności prowadzonych pomiarów. Ankietowani w zdecydowanej większości 86,8% źle oceniają nowe pomiary warunków klimatycznych uważając, że są one przez pracodawcę zaniżone (23,1% badanych), nie odpowiadają stanowi faktycznemu (42,3% badanych), oraz można je zafałszować (21,4%) zwłaszcza w zakresie mierzonej prędkości powietrza, która z reguły w wyrobkach górniczych jest nie wystarczająca. Olbrzymie kontrowersje wywołuje u ankietowanych również wyznaczanie tzw. temperatury zastępczej klimatu, którą górnicy znają (79,7%) ale jej nie rozumieją i nie potrafią obliczyć (87,2% badanych) – Rys.6.3.

Dla praktycznie każdego ankietowanego – 96,2% stary sposób określania warunków klimatycznych za pomocą temperatury suchej i katatermometru był zrozumiały i bardziej przejrzysty, ponieważ wynik pomiaru był znany od razu i można go było w razie wątpliwości powtórzyć. Przeprowadzone badania wykazują, iż blisko 73% ankietowanych źle odbiera nową metodę oceny warunków klimatycznych, a ponad 76% uważa wprowadzenie zmian w tym zakresie w przepisach górniczych za niesłuszne i popiera (91,1%) sprzeciw i protest organizacji związkowych w sprawie wycofania niekorzystnych zapisów w rozporządzeniu Ministra Środowiska i Ministra Energii.

Ostatni blok tematyczny badania ankietowego przeprowadzonego wśród górników poruszał kwestię uciążliwości pracy po wprowadzeniu zmian dotyczących oceny zagrożenia klimatycznego. Z przeprowadzonego badania w tym obszarze wynika, że u 25% badanych w związku z nowymi przepisami wydłużono czas pracy, a u 9,2% skrócono. 68,5% badanych ma niezmienny czas pracy wśród tej grupy i tak już 52,1% badanych z uwagi na warunki klimatyczne pracuje w systemie 6 godzinnym. Praca w trudnych warunkach klimatycznych sprawia, że górnicy zmuszeni są do zdejmowania ubrań podczas pracy, robią coraz większe przerwy w pracy (64,3% badanych), uskarżają się na pogorszenie samopoczucia (23,6% badanych), wyczerpanie i zmęczenie – 40,2% badanych. Niepokojący jest też fakt, iż 21,3% z nich przyznaje się do dodatkowych dolegliwości poza bólem głowy takich jak nudności i wymioty (rys. 6.3)

Wyniki przeprowadzonych badań ankietowych pokazały, że w sporze między organizacjami związkowymi, a WUG i Ministerstwem Środowiska rację ma strona społeczna, ponieważ wprowadzone zmiany mają niekorzystny wpływ na zdrowie pracowników, a metoda wyznaczania temperatury zastępczej klimatu do określania zagrożenia klimatycznego w warunkach rzeczywistych w kopalniach węgla kamiennego się nie sprawdza.

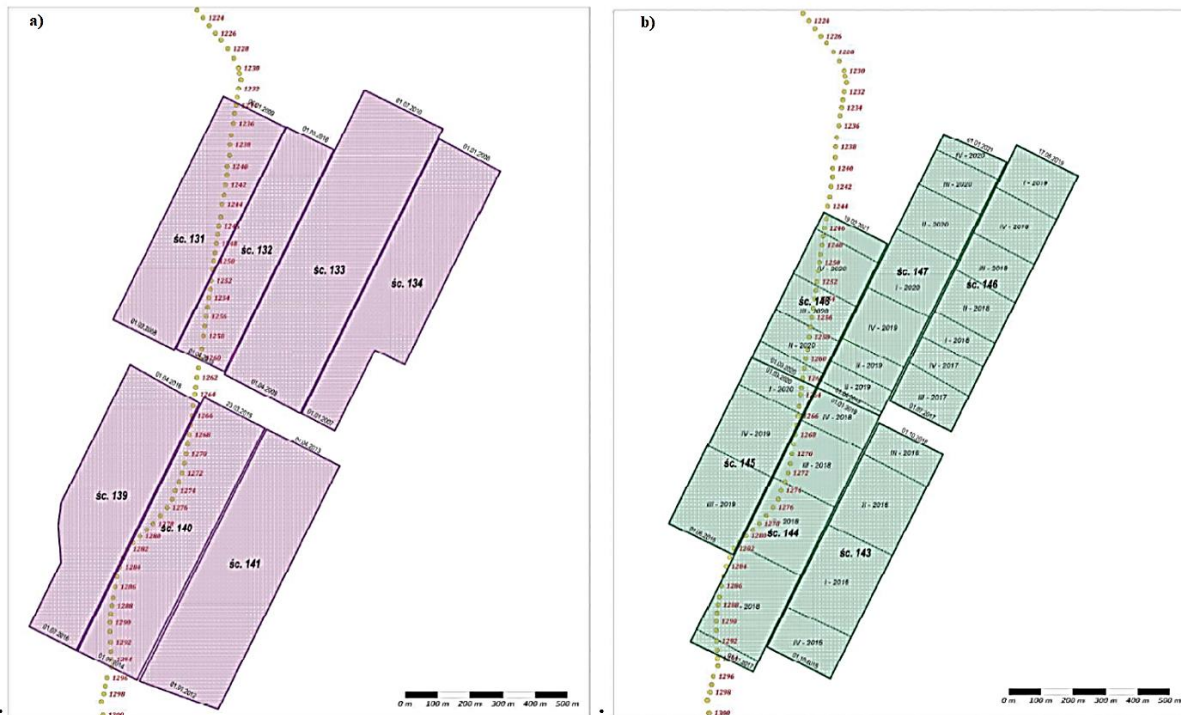
Uzyskane wyniki badań ankietowych i rozmowy ankietowanych z górnikami wskazały również na fakt, iż dotychczasowe działania prewencyjne prowadzone przez kopalnie i spółki górnicze związane między innymi z skróceniem czasu pracy czy wprowadzeniem urządzeń chłodniczych klimatyzacji stanowiskowej, grupowej i centralnej nie zapewniają warunków komfortu pracy. Powyższe informacje stały się podstawą do poszukiwania innych rozwiązań, które mogłyby wpłynąć na poprawę warunków pracy zwłaszcza górników zatrudnionych w przodkach górniczych i ścianach wydobywczych.

6.2. Badania środowiskowe.

W celu zweryfikowania odczuć ankietowanych górników w zakresie warunków klimatycznych panujących na ich stanowiskach pracy zdecydowano się na przeprowadzenie pomiarów środowiskowe zagrożenia klimatycznego w warunkach dołowych na jednej z kopalń należących do Polskiej Grupy Górniczej S.A. Jako obiekty badawcze wybrano ścianę wydobywczą prowadzoną przez oddział G-1. Dla wybranego obiektu oraz ludzi w nim zatrudnionych opracowano odpowiednią metodykę badawczą opartą na pomiarach fizycznych parametrów powietrza i środowiska pracy oraz pomiarach parametrów fizjologicznych górników biorących udział w badaniu.

6.2.1. Charakterystyka obiektu badawczego.

Kopalnia X w której zdecydowano się przeprowadzić badania warunków klimatycznych jest jedną z najstarszych kopalń węgla kamiennego zlokalizowanych na Śląsku. Jej główne poziomy wydobywcze znajdują się na poziomie 320, 600 i 790m. W czasie prowadzenia pomiarów kopalnia prowadzi eksploatację w pokładach 413/2 w części południowej i 414/2 w części południowej i północnej (Rys 6.5). Ze względu na zagrożenia naturalne obejmujące rejony prowadzonych robót przygotowawczych i eksploatacyjnych pokłady zaliczone są do I stopnia zagrożenia tapaniami, I kategorii zagrożenia metanowego. Klasy B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego. I stopnia zagrożenia wodnego. Kopalnia posiada również pokłady zaliczone do III i IV grupy samozapalności węgla co rzutuje na konieczność ograniczenia prędkości powietrze przepływającego przez rejony eksploatacyjne, aby nie dochodziło do pożarów endogenicznych. Kopalnia boryka się również ze wzrostem zagrożenia klimatycznego. mimo niskiej temperatury pierwotnej skał $t_{pg} \leq 30^{\circ}\text{C}$. Jak wynika z raportów GIG w latach 2019-2020 liczba wyrobisk górniczych z podwyższoną temperaturą powietrza w Kopalni X wzrosła sześciokrotnie mimo stosowania klimatyzacji lokalnej.



Rys.6.5 a) ściany w pokładzie 413/2, b) ściany w pokładzie 414/2

Uśrednione zestawienia pomiarów warunków klimatycznych wykonywanych przez służby wentylacyjne oraz komisję do spraw zagrożeń kopalni X pozwoliło ustalić rejon o największym zagrożeniu klimatycznym (Tabela 6.2). Na podstawie tych danych do dalszej analizy wytypowano Oddział wydobywczy G1- prowadzący eksploatację ściany 146 w pokł. 414/2.

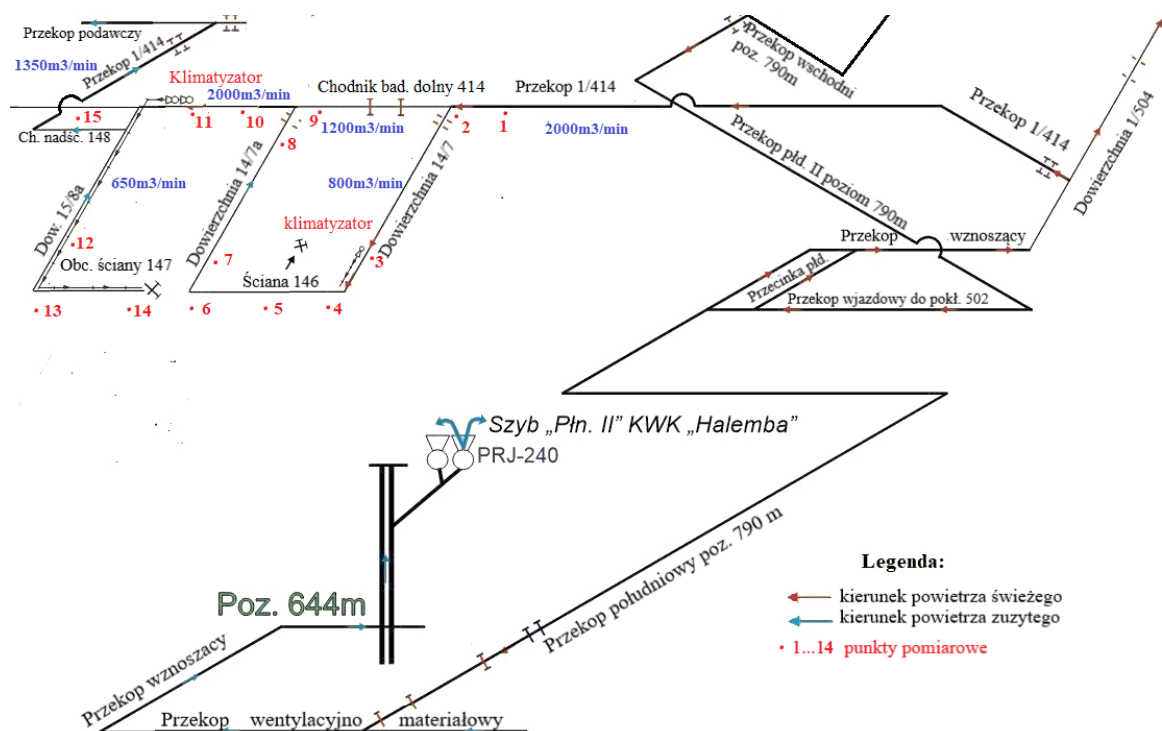
Tabela 6.2. Uśrednione pomiary warunków klimatycznych w wyrobiskach kopalni X.

Lp.	Miejsce pomiaru	Ts	Tw	Wilg	Kw
1.	Przekop 2/413 przed WLE	27,0	25,0	85	13,1
2.	Dowierzchnia 15/10 – przodek	28,2	26,2	85	11,2
3.	Przekop 413-414	26,8	25,2	88	12,9
4.	Chodnik nadścianowy 413 H-P	27,2	25,4	87	12,5
5.	Dowierzchnia 13/11	27,4	25,8	90	12,3
6.	Ściana 139/413/2 – wlot	27,8	26,2	88	11,8
7.	Ściana 139/413/2 - sekcja nr 60	28,2	26,8	90	11,2
8.	Ściana 139/413/2 – wylot	28,4	27,4	93	10,8
9.	Dowierzchnia 13/2 badawcza	29,2	28,4	94	10,7
10.	Dowierzchnia 13/5 badawcza	29,4	28,4	94	10,7
11.	Przecinka 13/5a	27,0	25,0	85	12,5
12.	Przekop 1/414	25,4	24,2	91	13,7
13.	Chodnik badawczy dolny 414	26,6	25,2	89	13,4
14.	Dowierzchnia 14/7 przed klimatyzatorem	27,8	26,6	89	13,2
15.	Ściana 146/414 - sekcja nr 4	26,6	25,2	89	13,2
16.	Ściana 146/414 - sekcja nr 49	28,2	26,6	88	12,2
17.	Ściana 146/414 – wylot	28,6	26,8	87	11,9
18.	Dowierzchnia 14/7a	29,0	27,4	88	11,5
19.	Chodnik badawczy dolny 414 przed klimatyzatorem	29,2	27,6	88	11,4

20.	Dowierzchnia 15/8a	28,4	27,2	91	10,9
21.	Obcinka ściany 147 przodek	28,6	27,4	91	10,7
22.	Przekop 2/413 przed wentylatorem	25,4	23,4	84	13,1
23.	Dowierzchnia 15/10 – przodek	27,2	26,0	91	12,6
24.	Dowierzchnia 15/10 wylot	27,4	26,2	91	12,4

6.2.2 Charakterystyka oddziału G-1 kopalni X.

W momencie prowadzonych badań Oddział G - 1 KWK „X” prowadził eksploatację ściany 146 zlokalizowanej w pokładzie 414/2 (Rys. 6.6). Ściana wybierana była systemem ścianowym poprzecznym, z zawałem stropu, z doszczelnianiem zrobów odpadami elektrownianymi, o wysokości do 2,1m, a na odcinku na którym zabudowane są zestawy obudowy zmechanizowanej GLINIK (od strony dowierzchni 14/7a) o wysokości do 2,0m. Front ściany przesunął się z południa na północ. Podstawowe dane techniczno-geologiczne zestawiono w Tabeli 6.3, a wyposażenie ściany przedstawiono w Tabeli 6.4.



Rys. 6.6. Rejon eksploatacyjny oddziału G1 i GRP 2 kopalni X.

Tabela 6.3. Podstawowe dane techniczno-geologiczne ściany 146 w pokł. 414/2

Numer ściany	146
Pokład/warstwa	414/2
Głębokość eksploatacji	śr. około 650m
Grubość pokładu (w polu ściany)	2,0m ÷ 2,65m
Wysokość ściany	do 2,1m do 2,0m (na odcinku zabudowy zestawów GLINIK)
Długość ściany 146	do 202m
Wybieg ściany	ok. 975m
Nachylenie pokładu	śr. 6° na S i SW
Nachylenie poprzeczne ściany	(-4°) do (+12,5°)
Nachylenie podłużne ściany	0° ÷ 7°
System, odmiana	ścianowy, poprzeczny
Kierowanie stropem	zawał z doszczelnieniem zrobów odpadami elektrownianymi
Kategoria zagrożenia metanowego	I
Klasa zagrożenia wybuchem pyłu węglowego	B
Zagrożenie pożarowe Wskaźnik samozapalności węgla Energia aktywacji utleniania Samozapalność (wg opracowania GIG z października 2012r. nr kop. 582 4397 2-113) Okres inkubacji pożaru	Sz^a = 91° C/min A = 67,7kJ/mol III grupa samozapalności, węgiel o średniej skłonności do samozapalenia. 70dni
Stopień zagrożenia tapaniami	I
Stopień zagrożenia wodnego	I

Tabela 6.4. Wyposażenie ściany 146 w pokł. 414/2

Typ obudowy zmechanizowanej	PUMAR-08/22POz GLINIK 08/22-POz/BSN
Typ kombajnu ścianowego	KSW – 460NZ o mocy 460 kW
Typ przenośnika ścianowego	PATENTUS – PAT E 260 o mocy 4 x 600kW
Typ przenośnika nadcianowego	GROT – 67B o mocy 2 x 55kW
Typ kruszarki	KRUK-2 o mocy 22 kW
Urządzenie do przekładki trasy przenośnika ścianowego	przesuwniki hydrauliczne zastosowanej obudowy zmechanizowanej typu PUMAR i GLINIK
Urządzenie do przekładki napędu głównego przenośnika ścianowego	Uniwersalne urządzenie do przekładki maszyn i urządzeń górniczych PAT - 1
Urządzenie do przekładki napędu pomocniczego przenośnika ścianowego	Przesuwniki ww. obudowy ścianowej
Urządzenie do przekładki przenośnika nadcianowego	Uniwersalne urządzenie do przekładki maszyn i urządzeń górniczych PAT - 1
Urządzenie chłodnicze	Chłodziarka powietrza typu TS-350/1

<p>Długość nielikwidowanego odcinka wyrobiska za frontem ściany 146: - dowierzchnia 14/7 w pokł. 414/2</p> <p>- dowierzchnia 14/7a w pokł. 414/2</p>	<p>do 6,0m – rabowanie odrzwi obudowy (zawał) lub podsadzanie</p> <p>do 2,0m – rabowanie odrzwi obudowy (zawał) lub podsadzanie</p>
<p>Ilość wypiętych jednorazowo łuków ociosowych</p>	<p>- od 3 do 4 sztuk tj. na długości max. 4m wyrobisk chodnikowych</p>

Ściana 146 w pokładzie 414/2 przewietrzana była systemem na „U”:

- **świeże powietrze** - doprowadzone było do rejonu ściany 146 z poz.790m.
 - droga świeżego powietrza z poziomu 790m:
 - szybem Wanda do poziomu 790m,
 - przekopem zachodnim poz. 790m,
 - przekopem dojściowym do pokładu 510,
 - przekopem południowym,
 - przekopem południowym II poz. 790m,
 - przekopem wjazdowym do pokładu 502,
 - przekopem wznoszącym,
 - przekopem wznoszącym, 1/414
 - przekopem wznoszącym, 14/7

Ilość powietrza doprowadzona z poz. 790m wystarczyła do przewietrzenia ściany 146.

- zużyte powietrze - odprowadzane było dowierzchnią 14/7a, chodnikiem badawczym 414, dowierzchnią badawczą 14/1, przekopem 2/414 na poziom 450, skąd kierowane było do przekopem do szybu „Lech II” i szybem „Lech II” na powierzchnię.

Prawidłowy stan wentylacji zapewniały śluzy wentylacyjne wyposażone w czujniki ich otwarcia zabudowane w chodniku badawczym dolnym 414 pomiędzy dowierzchnią 14/7 a dowierzchnią 14/7a.

W razie utrzymywania się stanu otwarcia tam (np. przy awarii tych tam) stanowiących służę wentylacyjną w chodniku badawczym dolnym 414 powyżej 20minut, Dyspozytor Ruchu zobowiązany był do wycofania załogi z rejonu ściany 146 do stabilnego prądu powietrza.

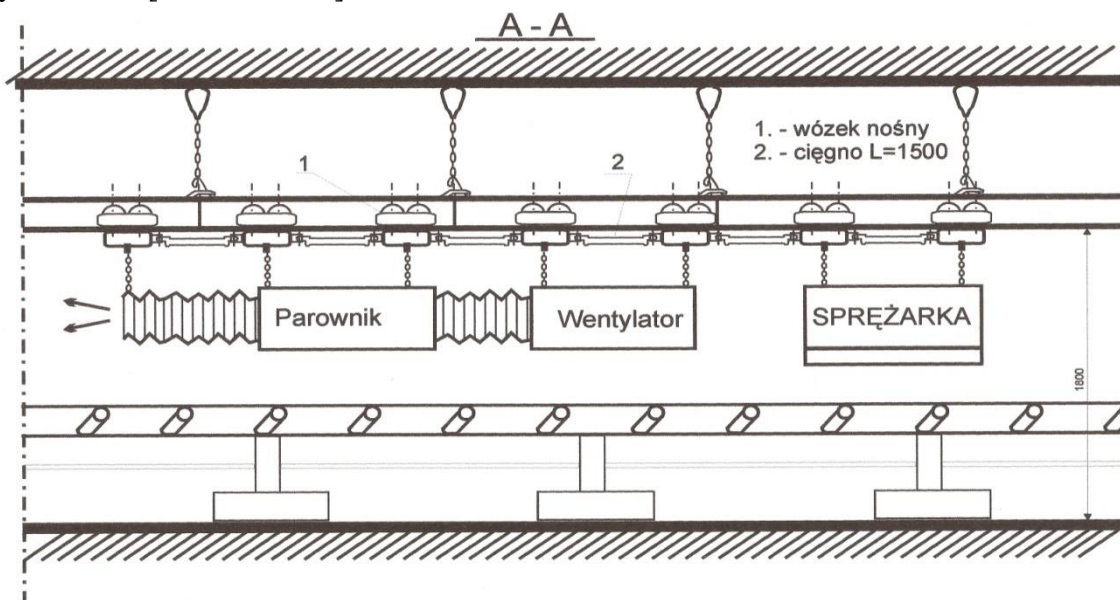
Kontrola stanu technicznego śluz wentylacyjnych oraz prawidłowe działanie czujników działających w systemie FOD - 900, prowadzona była zgodnie z instrukcją nr 14/TW/2017 „Obsługa i konserwacji śluzy wentylacyjnej mechanicznej typu SWM – 02 zabudowanej w chodniku badawczym 414”.

Na podstawie wykonanych prognoz klimatycznych przez GIG natężenie przepływu powietrza przez ścianę 146 w pokładzie 414/2 mogłoby wynosić maksymalnie $Q = 1200 \text{ m}^3/\text{min}$. Jednak z uwagi na zagrożenie pożarowe występujące w rejonie ściany, Kierownik Ruchu Zakładu

Górnicy w porozumieniu z Kierownikiem Działu Wentylacji zdecydował o ograniczeniu natężenie przepływu powietrza przez ścianę 146 w pokładzie 414/2 do $Q = 800 \text{ m}^3/\text{min}$. przy prędkości powietrza nie przekraczającej $v = 1,2 \text{ m/s}$.

Dodatkowo rejon ściany 146 w pokładzie 414/2 objęty był wczesnym wykrywaniem pożarów endogenicznych. Kontrole na stacjach wczesnego wykrywania pożarów wykonywana była przez pracowników działu TW, w okresach nie dłuższych niż dwa tygodnie. Stacje pomiarowe parametrów powietrza zlokalizowano w prądzie wlotowym i wylotowym ze ściany oraz w zrobach ściany 146 w dowerzchni 14/7a w pokładzie 414/2 w celu obliczenia wskaźnika Grahama.

Z uwagi na zagrożenie klimatyczne w dowerzchni 14/7 przed wlotem do ściany zabudowano lokalne urządzenie chłodnicze typu TS-350/1 o mocy 350 kW zmniejszające temperaturę powietrza wpływającego do ściany od 1 do 2 °C. Drugie lokalne urządzenie chłodnicze w rejonie typu GMC 350/TA o mocy 359 kW zbudowano przed wentylatorem w chodniku badawczym 414 doprowadzającym powietrze do drążonej obcinki ściany 147 w pokł. 414/2. Każda z powyższych chłodziarek zamontowana była w wyrobisku nad taśmą przenośnika w sposób przedstawiony na rysunku 6.7 [237, 238, 239]

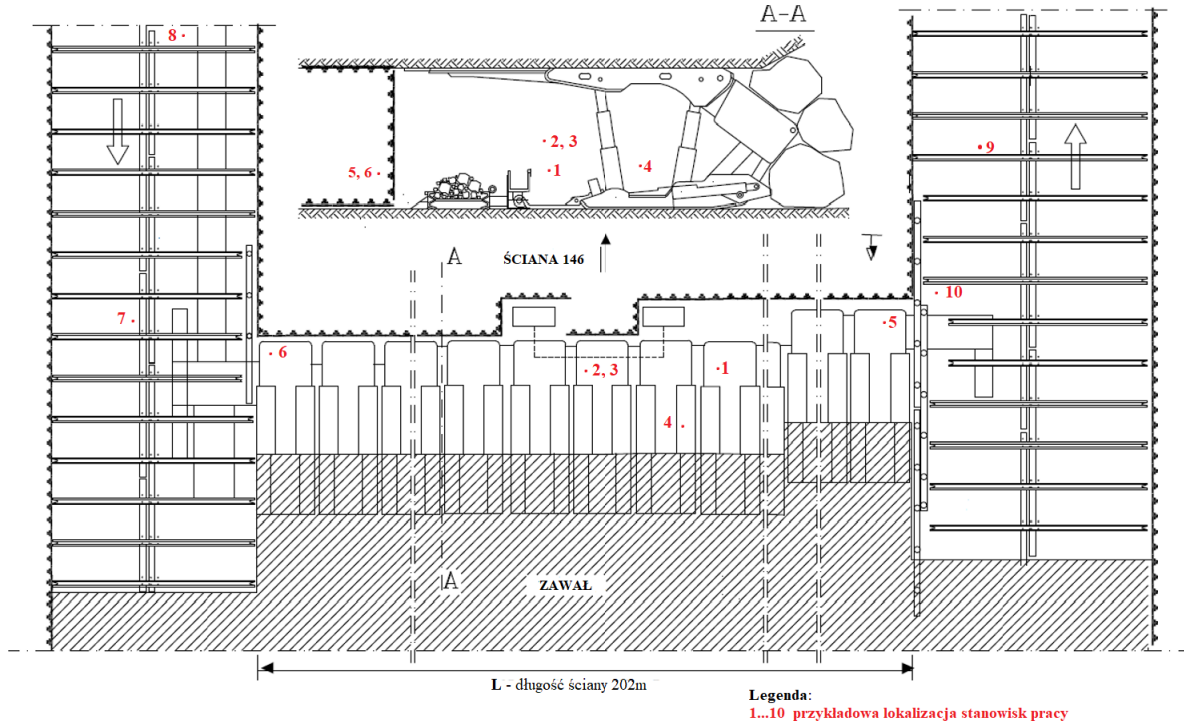


Rys. 6.7. Sposób zabudowy klimatyzatora

Oddział wydobywcy G-1 KWK X prowadzący eksploatację ściany 146 w pokładzie 414/2 zatrudniał 84 osoby, które ze względu na skrócony czas pracy wywołany warunkami klimatycznymi pracowały w systemie czterozmianowym. Przy czym na zmianach A, B i C prowadzona była eksploatacja, natomiast na zmianie D załoga zajmowała się robotami konserwacyjno-remontowymi. Obłożenie ściany 146 w pokładzie 414/2 wraz z miejscem wykonywania czynności roboczych przedstawiono w Tabeli 6.5 [237] i na Rys. 6.8

Tabela 6.5 Obłożenie dzienne oddziału G-1 ściana 146 w pokł. 414/2

Lp.	Stanowisko	Wyrobisko w którym była wykonywana praca	Zmiana				Razem
			A	B	C	D	
1	Przodowy ściany	Cała długość ściany 2	1	1	1	1	4
2	Kombajnista ścianowy	Cała długość ściany 2	2	2	2	-	6
3	Obserwator układaka	Cała długość ściany 2	1	1	1	-	3
4	Sekcyjny	Cała długość ściany 2	4	3	3	-	10
5	Górnika ścianowy we wnęce dolnej	skrzyżowanie ściany 146 z dowerzchnią 14/7	5	3	3	2	13
6	Górnika ścianowy we wnęce górnej	skrzyżowanie ściany 146 z dowerzchnią 14/7a	5	3	3	1	12
7	Operator przenośnika nadścianowego	Skrzyżowanie ściany 2 z dowerzchnią 14/7a	2	1	1	-	4
8	Operator przenośników taśmowych	Dowerzchnia 14/7a, chodnik badawczy 414	2	2	2	2	8
9	Górnik przy transporcie	Dowerzchnia 14/7, przekop 1/414	5	5	5	5	20
10	Osoba dozoru	Wyrobiska należące do oddziału G-1	1	1	1	1	4
RAZEM			21	15	15	5	84



Rys. 6.8. Przykładowe rozmieszczenie stanowisk pracy w ścianie 146 w pokł. 414/2

Nominalny czas pracy na poszczególnych stanowiskach oddziału G-1 nie przekraczał 6 godzin. Najdłużej trwały czynności związane bezpośrednio z procesem eksploatacji które trwały

od 270 do 300 min. natomiast najkrócej czynności związane z powrotem ze stanowiska pracy i wyjazdem średnio ok. 36 min. (Tabela 6.6)

Tabela 6.6. Średni czas trwania poszczególnych etapów procesu pracy w ścianie

LP.	Stanowisko pracy	Czas trwania poszczególnych etapów pracy			
		Czas trwania zmiany roboczej	Zjazd z droga na stanowisko pracy	Praca na stanowisku	Powrót ze stanowiska wraz z wyjazdem
		min			
1	Przodowy ściany	360	42	280	38
2	Kombajnista	360	42	280	38
3	Obserwator układanka	360	42	280	38
4	Sekcyjny	360	45	275	40
5	Górnika ścianowy we wnęce	360	40	284	36
6	Górnika ścianowy we wnęce	360	48	270	42
7	Operator przenośnika nadścianowego	360	40	284	36
8	Operator przenośników taśmowych	360	35	295	30
9	Górnik przy transporcie	360	30	300	30
10	Osoba dozoru	360	46	279	35

6.2.3. Opracowanie metodyki badań parametrów fizycznych powietrza dla wybranych wyrobisk górniczych.

Zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami górnictwymi oraz różnymi cytowanymi wcześniej metodami badawczymi wśród podstawowych parametrów powietrza niezbędnych do analizy zagrożenia klimatycznego oraz samego mikroklimatu są:

- temperatura psychrometryczna powietrza, mierzona termometrem suchym - t_a ,
- temperatura psychrometryczna powietrza, mierzona termometrem wilgotnym - t_w ,
- prędkość przepływu powietrza „v”.
- intensywność chłodzenia powietrza – K wyrażona w tzw. katastopniach wilgotnych

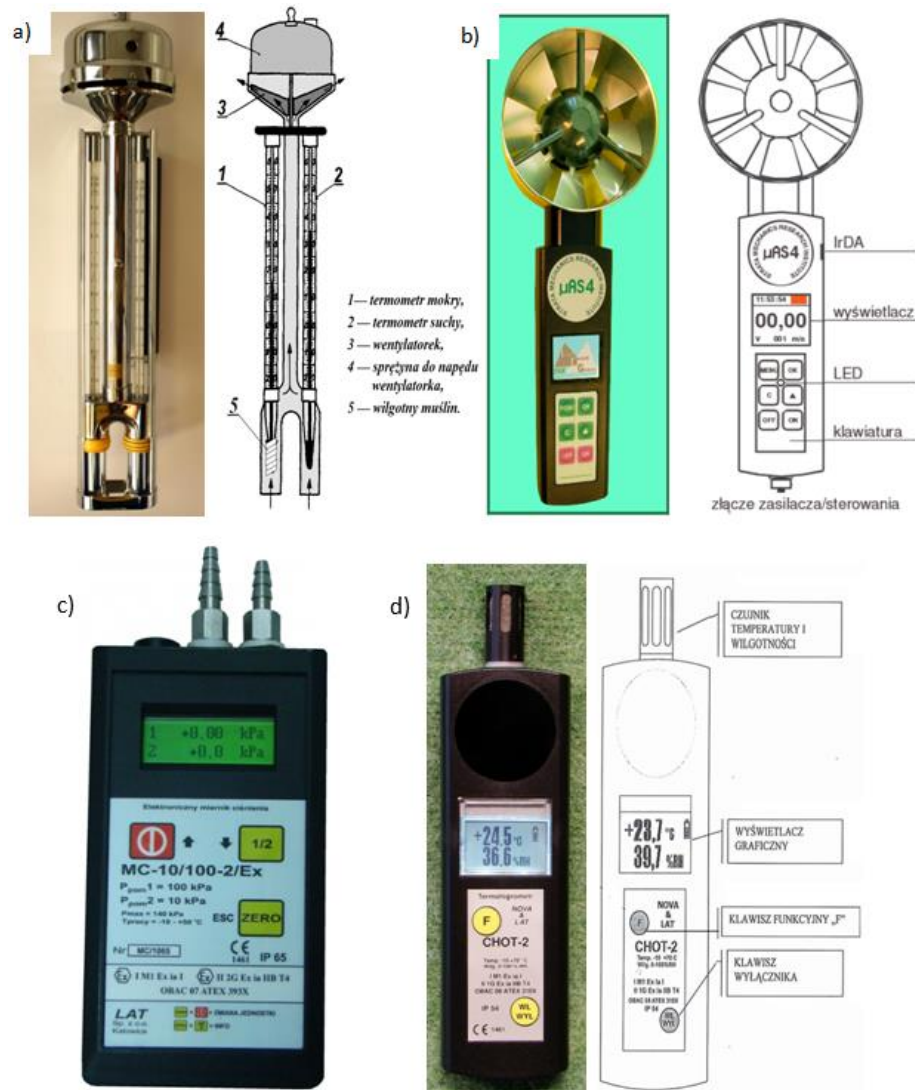
Wymienione parametry powietrza są również podstawą do określenia szeregu innych elementów charakteryzujących mikroklimat w danym środowisku wśród których wymienić należy

- wilgotność względna powietrza – ϕ
- wilgotność właściwa powietrza „x”
- prężność pary wodnej – p_o
- entalpie właściwą powietrza – h,

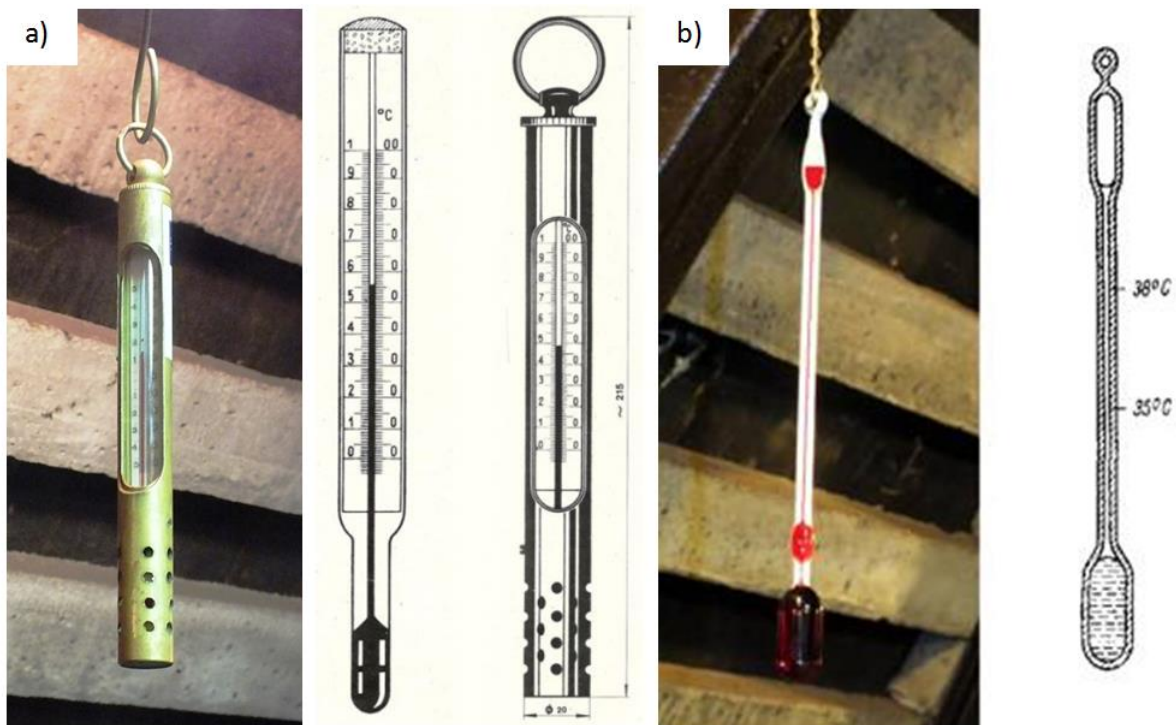
oraz często stosowane dla analizy mikroklimatu tzw. wskaźniki mikroklimatu, do których należą:

- efektywna temperatura amerykańska „ATE”,
- temperatura zastępcza klimatu wg Cuprum, „tzk”,
- wskaźnik „WBGTP” wg GIG
- temperatura śląska „TŚ” wg Politechniki Śląskiej

Pomiary temperatury suchej, wilgotnej i prędkości powietrza są standardowymi pomiarami klimatycznymi wykonywanymi regularnie w kopalniach w środowiskach pracy wg kopalnianych instrukcji dotyczących zasad kontroli warunków klimatycznych. Temperatury suchą t_a i t_w mierzy się psychrometrem aspiracyjnym Assmanna, prędkości powietrza anemometrem skrzydełkowym, a do pomiaru ciśnienia i wilgotności powietrza używa się odpowiednio miernika ciśnienia atmosferycznego Termohigrometru Rys 6.9.



Rys 6.9. Przyrządy pomiarowe: a) Psychrometr Assmanna aspiracyjny PM-8211 – przyrząd do pomiaru temperatury suchej i wilgotnej, b) anemometr skrzydełkowy μ AS 4, c) przenośny miernik ciśnienia atmosferycznego MCR-10, d) Termohigromet CHOT-2.



Rys. 6.10. Przyrządy pomiarowe: a) Termometr górniczy – przyrząd do pomiaru temperatury suchej, b) katatermometr – przyrząd do mierzenia intensywności chłodzenia..

Specyfikacja przyrządów pomiarowych i metody pomiarowe wykorzystywane w trakcie pomiarów w warunkach dołowych.

W trakcie wykonywania badań środowiskowych w warunkach dołowych wykorzystano przyrządy pomiarowe, które posiadały dopuszczenie Wyższego Urzędu Górniczego i które były legalizowane zgodnie z wytycznymi producenta.

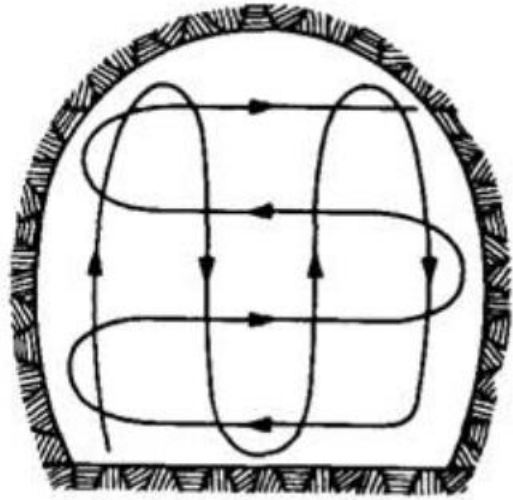
Pomiary wykonywano wg kopalnianej instrukcji dotyczących zasad kontroli warunków klimatycznych w warunkach dołowych, które obowiązują w danych kopalniach.

1. Pomiar prędkości powietrza.

Do pomiarów prędkości powietrza wykorzystano anemometr skrzydełkowy μ AS 4, którego:

- Zakres pomiarowy: 0,2-20m/s,
- Zakres roboczy temperatur: +5°C do +40°C,
- Dokładność: 0,01m/s,

W celu określenia średniej prędkości przepływu powietrza w wyrobisku należy zastosować metodę trawersu ciągłego której wykorzystano anemometr z mechanizmem cyfrowym uruchamiającym i zatrzymującym licznik po określonym czasie z jednakową prędkością przemieszczano w przekroju poprzecznym wyrobiska w sposób zygzakowaty. Rys 6.11.



Rys. 6.11. Pomiaru środowiskowe anemometrem skrzydełkowym.

W pomiarach dołowych najczęściej stosowany był sposób równoległy. Pomiar wykonywano trzykrotnie, a następnie wyniki uśredniano arytmetycznie.

W przypadku prędkości mniejszej niż 0,5m/s w wyrobisku ślepych z wentylacją odrębną pomiar wykonywany był dodatkowo w lutniociągu.

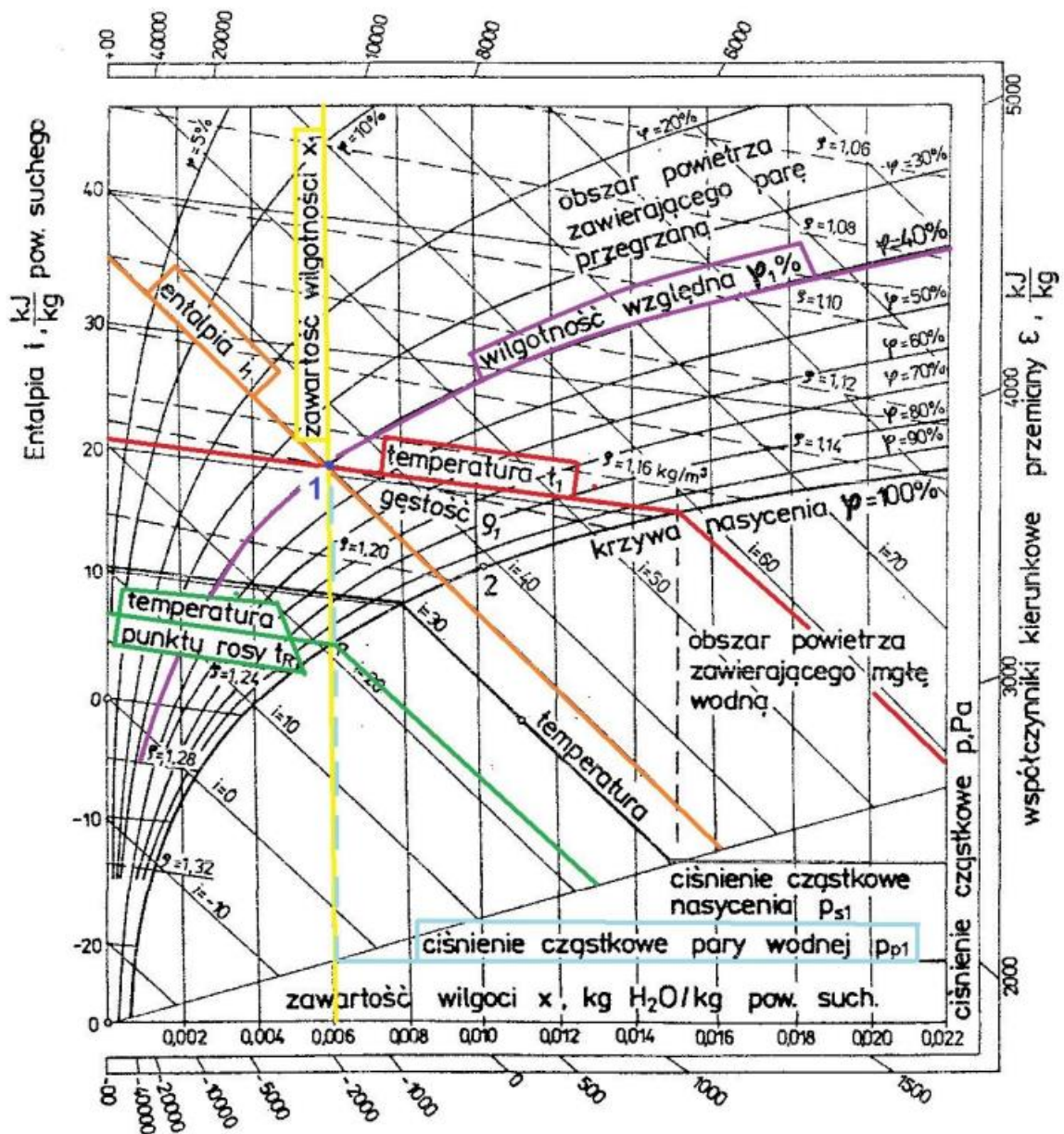
Pomiary temperatury

Do pomiaru temperatury wykorzystano psychrometr aspiracyjny Assmanna, którego

- zakres pomiarowy: 0°C do +50°C,
- dokładność: 0,2°C
- niepewność pomiaru: od ±3 do ±7%

Metodyka pomiaru:

Do określenia temperatur suchej i wilgotnej w wyrobisku użyto psychrometru Assmanna. Po nakręceniu mechanizmu wiatraczka przyrząd zawieszano w wybranym miejscu pomiarowym i dokonywano odczytu wartości na obydwu termometrach po stabilizacji poziomów słupków rtęci. Pomiar dokonywany był na wysokości klatki piersiowej pracownika, a różnica między wskazaniem na termometrze suchym i wilgotnym pozwalała odczytać na wykresach i-x Molliera Rys. 6.12 wilgotność oraz inne właściwości klimatyczne.



Rys. 6.12 Wykres i-x Molliera [236]

2. Pomiar intensywności chłodzenia.

Do wyznaczenia intensywności chłodzenia użyto katatermometru Hilla. Skala termometru jest bardzo uproszczona i posiada jedynie dwie kreski, z których dolna odpowiada 35°C , a górna 38°C . Dzięki ściśle ustalonym warunkom fizycznym szkła i cieczy katatermometr traci zawsze tę samą ilość ciepła przy ochładzaniu go z 38 do 35°C .

Metodyka pomiaru:

Przed wykonaniem pomiaru katatermometr należało ogrzać w termosie z gorącą wodą, do takiej temperatury, aby alkohol wypełniał rurkę kapilarną do $1/3$ wysokości górnego zbiorniczka,

następnie przyrząd umieszczano w miejscu pomiaru i mierzono trzykrotnie za pomocą stopera czas opadania alkoholu pomiędzy kreskami 38°C i 35°C. Średnia z tych wartości odpowiada normalnej temperaturze organizmu człowieka. Następnie stałą katatermometru $F(\text{mcal}/\text{cm}^2)$ dzielono przez średni zmierzony w sekundach czas opadania słupka alkoholu (z trzech pomiarów).

W rezultacie uzyskano natężenie chłodzenia wyrażone w $(\text{mcal}/\text{cm}^2\text{s})$, które jest zdefiniowane jako jeden katastopień. Chcąc przeliczyć katastopnie $(\text{mcal}/(\text{cm}^2\text{s}))$ na jednostki z układu SI (W/m^2) należało katastopnie pomnożyć przez stałą równą 41,868.

Dla ujednoczenia zbierania danych w kopalniach, sporządzono tabele podstawowych parametrów mikroklimatu. Tabele poprzedza wyszczególnienie miejsc pomiarowych w oddziałach. Według tego spisu na swoich schematach przestrzennych oddziałów kopalni zaznaczone zastały punkty pomiarowe, dla których wyniki zamieszczane są w Tabeli. 6.2, (wzór tabeli pomiarowej dla oddziału wydobywczego).

3. Pomiar komfortu cieplnego

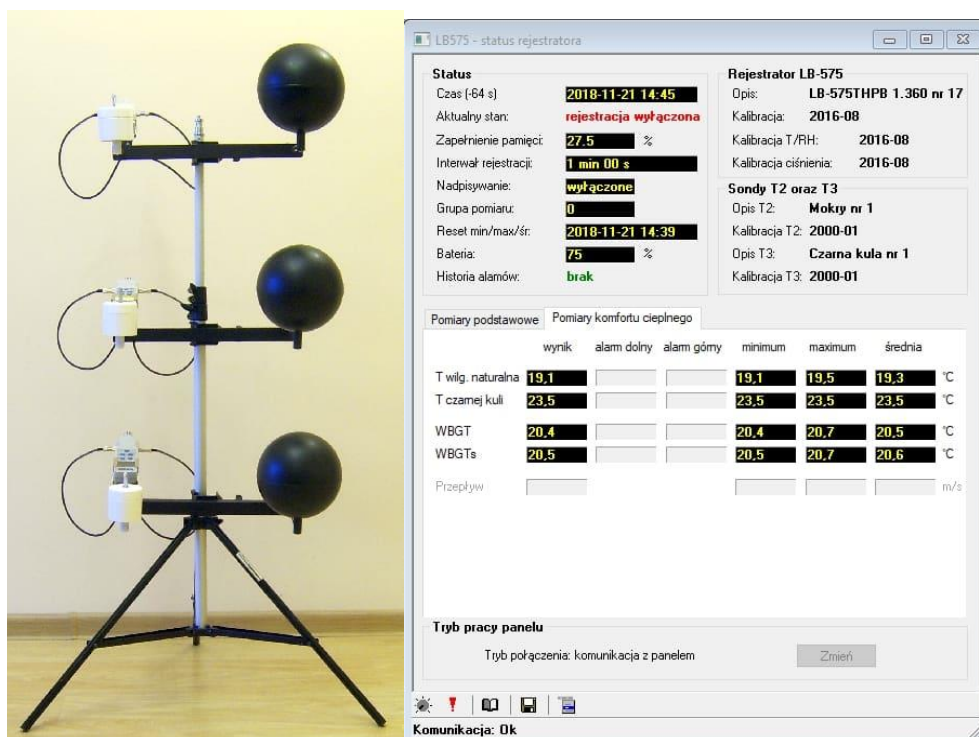
Dodatkowo do pomiaru wskaźnika WBGT wykorzystano zestaw LB-575T w skład którego wchodził Termometr LB-575T, poczerniona kula o współczynniku emisji 0.95 i średnicy 150mm kula LB-572 TG, termometr do pomiaru temperatury wilgotnej naturalnej LB-572TNW współpracujący z oprogramowaniem Logger. Podczas pomiaru określone są trzy parametry niezbędne do wyznaczenia wskaźników WBGT tj.:

- temperatury powietrza - t_a
- temperatury wilgotnej t_{nw} - temperatura wskazywana przez czujnik temperatury pokryty wilgotną tkaniną przy naturalnej wentylacji.
- temperatury poczernionej kuli t_g - temperatura wskazywana przez czujnik temperatury w środku poczernionej kuli (o współczynniku emisji 0.95) o średnicy 150mm.

Metodyka pomiaru:

Wymienione parametry są mierzone za pomocą zestawu czujników przedstawionych na Rys. 6.13. W przypadku środowiska niejednorodnego pomiary wykonuje się jednocześnie na trzech poziomach reprezentujących wysokość: głowy, brzucha i kostek nóg pracującego człowieka, a następnie oblicza się wartość średnią ważoną WBGT ze wzoru 6.1.

$$WBGT = \frac{WBGT_{\text{głowy}} + 2WBGT_{\text{brzucha}} + WBGT_{\text{kostek, nóg}}}{4}, \quad (6.1)$$



Rys 6.13. Zestaw pomiarowy do wyznaczania temperatury poczernionej kuli wraz z oprogramowaniem.

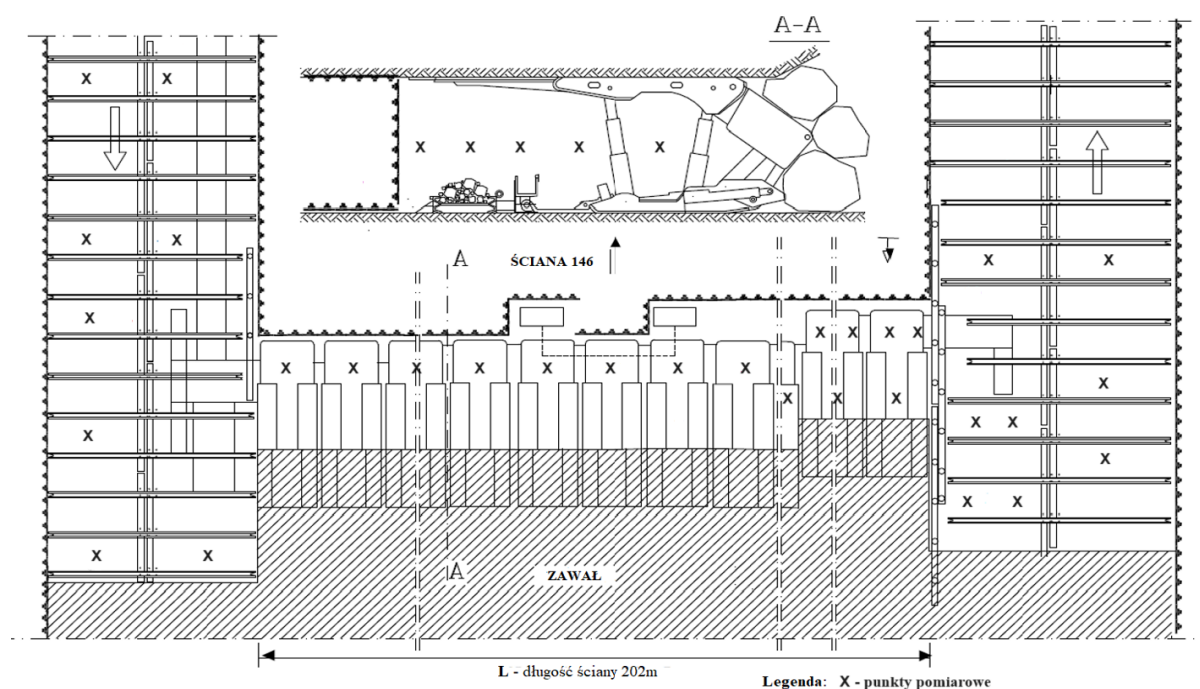
Jeżeli pracownik znajduje się w pozycji stojącej, pomiary przeprowadzane są na wysokościach: 1,7; 1,1 i 0,1 m, licząc od podłoża, jeżeli zaś wykonuje on pracę w pozycji siedzącej, czujniki umieszcza się na wysokościach 1,1; 0,6 i 0,1 m. Pomiary te powinny być wykonywane jednocześnie. Istnieje możliwość przeprowadzenia tylko jednego pomiaru, na wysokości brzucha, o ile w poprzednio przeprowadzonym badaniu na danym stanowisku pracy wykazano jednorodność tego środowiska (tj. niejednorodność < 5%).

Pomiary każdego parametru wykonuje się, zgodnie z normą PN-EN ISO 7243:2018-01, w czasie 1 godziny, zawierającej, w zależności od zmienności warunków środowiska i intensywności pracy, reprezentatywne dla danego stanowiska cykle pracy, z których każdy obejmuje fazę pracy i odpoczynku (przy założeniu, że pracownik odpoczywa w tych samych warunkach, w jakich pracuje). Postępowanie takie jest zgodne z definicją Najwyższe dopuszczalne natężenie, ponieważ pozwala na określenie reprezentatywnego obciążenia mikroklimatem, „którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego na dobę i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w kodeksie pracy, przez okres aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń”.

6.2.4. Pomiar parametrów powietrza w rejonie ścian 146 w pokładzie 414/2.

Do oszacowania ryzyka zawodowego związanego z zagrożeniem klimatycznym na poszczególnych stanowiskach pracy w oddziale G-1 kopalni X niezbędne było przeprowadzenie pomiarów parametrów klimatycznych panujących w wyrobiskach górniczych w miejscu wykonywania pracy na wszystkich na 10 stanowiskach oddziału G-1. Komplet pomiarów jednorazowo w danym wyrobisku nazwano serią pomiarową. Pomiary temperatury, wilgotności i prędkości powietrza oraz intensywności chłodzenia i ciśnienia atmosferycznego na każdym stanowisku wykonywano wielokrotnie przeprowadzając je wraz z postępem ściany 146 średnio co 20 m jej postępu przez okres dwóch miesięcy. Z uwagi na zmienność usytuowania górników na stanowisku pracy w trakcie zmiany roboczej wyniki pomiarów dla danego stanowiska pracy zostały uśrednione.

Przykładowe rozmieszczenie punktów pomiarowych w ścianie 146 oraz wyrobiskach do niej przyległych przedstawiono na Rys.6.14, a uśrednione wyniki pomiarów w Tabeli 6.7.



Rys. 6.14. Przykładowe rozmieszczenie punktów pomiarowych w ścianie 146 przewietrzanej systemem „U”

Przedstawiona powyżej metodyka pomiarów pozwalała na uzyskanie bardzo dużej liczby danych pomiarowych dotyczących zmian parametrów powietrza w czasie jego przepływu przez wyrobisko ścianowe, a co za tym idzie zmian warunków klimatycznych na poszczególnych stanowiskach pracy.

Data pomiaru, wykonał	16.09.2019r., mgr inż. Anna Lubosz
Stanowisko	Liczba stanowisk 10

Lp.	Lokalizacja stacji pomiarowej	Nazwa wyrobiska	Pokład	Głębokość zalegania	Długość	Wysokość	Szerokość	Przekrój	Wybieg	Temperatura pierwotna skał
1	Rejon ściany 146	Ściana 146	414/2	626	202	2,1	4,0	8,4	600	28,2

Średnie wartości pomiarowe parametrów fizycznych wyrobiska i powietrza w rejonie ściany 146 w pokł. 414/2

Lp.	Lokalizacja stacji pomiarowej	Temperatura powietrza na stacji			Wilgotność względna powietrza	Ciśnienie atmosfer.	Przekrój poprzeczny wyrobiska	Prędkość powietrza	Strumień objętościowy powietrza	Intensywność chłodzenia	Temperatura pierwotna górotworu	Poziom głębokość	Liczba osób w rejonie
		t_{s_1}	t_{s_2}	t_s	ϕ_s	p	F_s	v_s	Q	K_r	t_{p2}	H	
		°C			%	hPa	m ²	m/s	m ³ /min		°C	m	
1.	Przekop 1/414	26,1	24,8	25,0	89,9	1064	13,4	2,5	2016	18,6	27,1	-600	20
2.	Dowierzchnia 14/7 -wlot	26,4	25,4	25,4	92,2	1058	11,5	1,1	760	13,7	27,8	-600	20
3	Dowierzchnia 14/7 - przed klimatyzatorem	28,2	27,4	27,2	94,0	1040	11,5	1,1	760	11,2	27,8	-620	20
4	Wlot do ściany Sekcje od 1-45 Wnęka dolna	26,8	25,6	25,8	90,8	1030	10,5	1,2	801	13,8	28,2	-626	39
5	Ściana 146 sekcje 46-85	28,6	27,8	27,4	94,7	1030	10,5	1,18	788	11,0	28,2	-626	27
6	Ściana 146 sekcje 86-110	29,4	28,8	28,8	95,6	1030	10,5	1,14	760	9,8	28,2	-626	27
6a	Wylot ze ściany Sekcje 111-134 Wnęka górna	29,6	29,0	28,8	95,6	1030	10,5	1,14	760	9,4	28,2	-626	40
7	Dowierzchnia 14/7a skrzyżowanie ze ścianą 146	29,8	29,2	29,0	95,6	1048	11,1	1,2	792	9,3	27,8	-620	12
8	Dowierzchnia 14/7a wylot	30,0	29,4	29,4	95,6	1048	11,1	1,2	792	9,0	27,8	-610	8
9	Chodnik badawczy. 414 na wsch. od dow. 14/7a	27,2	26,0	26,2	90,1	1060	11,9	1,7	1211	14,8	27,2	-608	4
10	Chodnik badawczy. 414 na wsch. od dow. 14/7a	28,2	27,0	27,0	91,1	1060	11,9	2,8	1996	15,7	27,2	-608	4

Rys. 6.15. Uśrednione wyniki pomiarów parametrów powietrza i warunków klimatycznych na poszczególnych stanowiskach pracy oddziały G-1 w rejonie ściany 146

Zmienność parametrów powietrza w ścianie 146 pokł. 414/2 i wyrobiskach przyległych.

L.p.	Lokalizacja stacji pomiarowej	Wlot do wyrobiska					Wylot z wyrobiska					Przyrost parametrów powietrza				
		t _s °C	t _w °C	φ %	x g pary/kg p.s	i kJ/kg	t _s °C	t _w °C	φ %	x g pary/kg p.s	i kJ/kg	Δt _s °C	Δt _w °C	Δφ %	Δx g pary/kg p.s	Δi kJ/kg
1	Dowierzchnia 14/7	25,6	23,8	86,3	18,9	73,9	27,2	25,8	89,6	21,7	82,6	1,6	2,0	3,3	2,8	8,7
2		26,2	24,0	83,4	18,1	72,6	27,8	26,6	91,1	21,9	83,8	1,6	2,6	7,7	3,8	11,2
3		27,4	26,2	90,9	20,8	80,6	29,0	28,2	94,1	23,7	89,8	1,6	2,0	3,2	2,9	9,2
4		27,6	26,4	91,0	21,3	82,1	29,2	28,0	91,3	23,5	89,5	1,6	1,6	0,3	2,2	7,4
1	Ściana 146	25,8	23,4	82,0	18,2	72,3	27,8	26,8	92,6	23,2	87,3	2,0	3,4	10,6	5,0	15,0
2		26,0	23,8	83,4	17,9	71,1	28,2	27,4	94,6	23,2	87,5	2,2	3,6	11,2	5,3	16,4
3		27,2	26,0	90,9	20,5	79,7	29,8	29,0	94,2	24,9	93,6	2,6	3,0	3,3	4,4	13,9
4		27,6	27,0	95,4	22,4	84,9	30,0	29,4	95,7	25,9	96,4	2,4	2,4	0,3	3,5	11,5
1	Dowierzchnia 14/7a	27,2	25,6	88,2	21,3	81,7	28,4	26,8	88,5	23,0	87,3	1,2	1,2	0,3	1,7	5,6
2		28,0	27,2	94,0	22,9	86,6	29,0	28,4	95,6	24,7	92,3	1,0	1,2	1,6	1,8	5,7
3		30,2	29,4	94,2	25,2	95,6	30,6	29,8	95,7	26,7	98,7	0,4	0,4	1,5	1,5	3,1
4		30,4	29,6	94,3	26,1	97,4	31,0	30,4	95,8	27,5	101,6	0,6	0,8	1,5	1,4	4,2

Mollier 2000

Plik Obliczenia Wykres Ustawienia Pomoc

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

ts = 28,2 °C tw = 27,0 °C p = 1060,0 hPa

po = 3480,1 Pa pon = 3823,4 Pa qpw = 1,2103 kg/m³

X = 0,02111 kg/kg Fi = 91,02 % i = 82,2725 kJ/kg

Punkt 1	ts=26,1	tw=24,8	p=1064,0	po=3037,9	pon=3380,4	qpw=1,2254	X=0,01828	Fi=89,87	i=72,8522
Punkt 2	ts=26,4	tw=25,4	p=1058,0	po=3172,7	pon=3440,9	qpw=1,2166	X=0,01923	Fi=92,21	i=75,5827
Punkt 3	ts=28,2	tw=26,4	p=1040,0	po=3316,9	pon=3823,4	qpw=1,1879	X=0,02049	Fi=86,75	i=80,6822
Punkt 4	ts=28,2	tw=27,4	p=1040,0	po=3594,1	pon=3823,4	qpw=1,1867	X=0,02226	Fi=94,00	i=85,2126
Punkt 5	ts=26,8	tw=25,6	p=1030,0	po=3193,7	pon=3523,0	qpw=1,1824	X=0,01994	Fi=90,82	i=77,8189
Punkt 6	ts=28,6	tw=27,8	p=1030,0	po=3680,9	pon=3913,1	qpw=1,1732	X=0,02305	Fi=94,07	i=87,6436
Punkt 7	ts=29,4	tw=28,8	p=1030,0	po=3918,0	pon=4098,5	qpw=1,1691	X=0,02460	Fi=95,60	i=92,4286
Punkt 8	ts=29,6	tw=29,0	p=1030,0	po=3963,8	pon=4146,0	qpw=1,1681	X=0,02489	Fi=95,60	i=93,4036
Punkt 9	ts=29,8	tw=29,2	p=1048,0	po=4010,0	pon=4194,1	qpw=1,1878	X=0,02475	Fi=95,61	i=93,2353
Punkt 10	ts=30,0	tw=29,4	p=1048,0	po=4056,9	pon=4242,1	qpw=1,1869	X=0,02505	Fi=95,63	i=94,2160

Mollier 2000

Plik Obliczenia Wykres Ustawienia Pomoc

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

ts = 31,0 °C tw = 30,4 °C p = 1015,0 hPa

po = 4300,2 Pa pon = 4491,5 Pa qpw = 1,1441 kg/m³

X = 0,02752 kg/kg Fi = 95,74 % i = 101,5919 kJ/kg

Punkt 28	ts=31,0	tw=30,4	p=1015,0	po=4300,2	pon=4491,5	qpw=1,1441	X=0,02752	Fi=95,74	i=101,5919
Punkt 1	ts=25,6	tw=23,8	p=960,0	po=2833,0	pon=3281,6	qpw=1,1071	X=0,01891	Fi=86,33	i=73,9439
Punkt 2	ts=27,2	tw=25,8	p=960,0	po=3231,9	pon=3606,7	qpw=1,0995	X=0,02167	Fi=89,61	i=82,6449
Punkt 3	ts=26,2	tw=24,0	p=1001,0	po=2837,0	pon=3400,6	qpw=1,1526	X=0,01814	Fi=83,43	i=72,6025
Punkt 4	ts=27,8	tw=26,6	p=1001,0	po=3402,2	pon=3735,5	qpw=1,1440	X=0,02188	Fi=91,08	i=83,6207
Punkt 5	ts=27,4	tw=26,2	p=1026,0	po=3319,1	pon=3649,2	qpw=1,1748	X=0,02079	Fi=90,95	i=80,6195
Punkt 6	ts=27,4	tw=26,6	p=1026,0	po=3427,3	pon=3649,2	qpw=1,1744	X=0,02150	Fi=93,92	i=82,4111
Punkt 7	ts=29,0	tw=28,2	p=1026,0	po=3769,0	pon=4004,7	qpw=1,1667	X=0,02372	Fi=94,12	i=89,7717
Punkt 8	ts=27,6	tw=26,4	p=1015,0	po=3360,2	pon=3692,1	qpw=1,1611	X=0,02130	Fi=91,01	i=82,1122
Punkt 9	ts=29,2	tw=28,0	p=1015,0	po=3698,2	pon=4051,6	qpw=1,1535	X=0,02352	Fi=91,28	i=89,4688
Punkt 10	ts=25,8	tw=23,4	p=960,0	po=2724,6	pon=3320,9	qpw=1,1068	X=0,01817	Fi=82,04	i=72,2541

Rys.6.16. Przyrost parametrów powietrza w rejonie ściany 146/pokł. 414/2 zweryfikowany a pomocą programu Mollier 2000

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów w warunkach rzeczywistych można zaobserwować dużą zmienność poszczególnych parametrów powietrza w rejonie prowadzonych badań zarówno w samej ścianie 146 jak i wyrobiskach do niej przyległych. Duże znaczenie w zakresie wzrostu poszczególnych parametrów powietrza na stanowiskach pracy miała sprawność urządzenia chłodniczego typu TS-350/1, którego awaryjność bezpośrednio przekładała się na wzrost temperatury w całym rejonie.

W przypadku wilgotności właściwej powietrza jej wartość na wlocie do ściany (Rys. 6.16) wahała się 18,2 do 22,4 g pary na kg powietrza suchego, a na wylocie od 23,2 do 25,9 g pary na kg powietrza suchego. W każdym przypadku zaobserwowano wzrost tego parametru średnio o 4,5 g/kg. Wzrost wilgotności właściwej był związany z intensywną wymianą wilgotności. Im większa zmiana tego parametru powietrza, tym większym zmianom ulegały pozostałe parametry powietrza, głównie temperatury mierzone termometrem suchym i wilgotnym oraz entalpia właściwa.

Zmiana entalpii właściwej, obok wilgotności właściwej, mówi również o intensywności wymiany ciepła i wilgoci w samej ścianie. Jej wartości na wlocie do ściany 146 wahały się w granicach od 71,1 do 84,9 kJ/kg, a na wylocie ze ściany od 87,3 do 96,4 kJ/kg.

Wszystkie przeprowadzone pomiary parametrów powietrza w warunkach rzeczywistych w rejonie ściany 146 zostały zweryfikowane za pomocą programu komputerowego Mollier2000 opracowanego przez pracowników Politechniki Śląskiej Rys. 6.16.

6.2.5. Oszacowanie ryzyka zawodowego związanego z zagrożeniem klimatycznym na stanowiskach pracy oddziału G-1 w oparciu o zmierzone parametry powietrza.

Ocena ryzyka zawodowego związanego z mikroklimatem na stanowiskach pracy w oddziale wydobywczym G-1 w ramach prezentowanej pracy przeprowadzona została w oparciu o obowiązujące przepisy górnicze oraz wskaźniki obciążenia cieplnego jak: ATE, T_{zk} , WBGT, $T\dot{S}$ oraz wskaźnik dyskomfortu cieplnego δ . Ryzyko zawodowe w oparciu o wyznaczone wartości tych wskaźników oszacowano zgodnie z polską normą PN-N-18002. na zasadzie porównania otrzymanych wyników z wartościami normatywnymi w oparciu o założenia przedstawione w Tabeli 6.7

Tabela 6.7. Metoda szacowania zagrożenia klimatycznego zgodnie z normą PN-N-18002

Wartość wielkości charakteryzującej narażenie	Oszacowanie ryzyka zawodowego
$P > P_{max}$	Duże
$P_{max} \geq P > 0,5 P_{max}$	Średnie
$P \leq 0,5 P_{max}$	Małe
P_{max} - wartość normatywne dla poszczególnych wskaźników dyskomfortu cieplnego	

Wśród 10 zidentyfikowanych stanowisk pracy w Oddziale G-1, można uznać jedynie stanowiska operatorów przenośników zgrzeblowych (ścianowego i nadścianowego oraz przenośników taśmowych) na pozostałych stanowiskach pracy wykonywane czynności związane są z koniecznością przemieszczania się w obrębie danego wyrobiska lub kilku wyrobisk. Dlatego określenie ryzyka dla stanowisk ruchomych szacowane było na podstawie średniej arytmetycznej wskaźników obliczonych dla trzech miejsc w których przeprowadzane były pomiary w obrębie danego wyrobiska. Jest to uproszczenie które zakłada że pracownik przez 1/3 czasu dniówki przebywa w zasięgu oddziaływania jednej z trzech stacji pomiarowych zlokalizowanych w wyrobisku. Na potrzeby obliczeniowe oraz powtarzalność wyników przyjęto, że pracownicy wykonujący prace są osobami zaaklimatyzowanymi do danych warunków pracy. Wykonując swoją pracę są ubrani w lekkie ubranie robocze składające się z koszuli flanelowej, bluzy i spodni w związku z czym z godnie z obowiązująca normą opór cieplny ich odzieży wynosi $I_{clo} = 1 \text{ clo}$. Pracownicy zatrudnieni w rejonie ściany 146 oddziału G-1 Kopalni X obciążeni są pracą umiarkowaną dla której założono zgodnie z Tabelą 6.8 że średni wydatek energetyczny wynosi $M_{\text{sr}}=165 \text{ W/m}^2$

Tabela 6.8 Klasyfikacja ciężkości pracy według przedziałów wydatku energetycznego. [240]

Klasyfikacja ciężkości pracy	Średni wydatek energetyczny W/m^2	Przedział wydatku energetycznego W/m^2	Klasa ciężkości Pracy (ocena subiektywna)
Lekka,	100	85-115	L
Średnio umiarkowana	130	116-146	U
Umiarkowana	165	146-184	
Średnio ciężka,	200	185-215	C
Ciężka,	230	216-245	
Bardzo ciężka	>230	>230	B

6.2.6. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie amerykańskiej temperatury efektywnej ATE

Wartość wskaźnika amerykańskiej temperatury efektywnej na poszczególnych stanowiskach pracy oddziału wydobywczego G-1 została wyznaczona na podstawie nomogramu dla ludzi ubranych. W celu wyznaczenia wskaźnika konieczna była znajomość trzech parametrów powietrza takich jak: temperatura termometru suchego t_a , temperatura termometru wilgotnego t_w oraz prędkość powietrza v . Następnie otrzymane wartości pomiarowe zostały porównane z wartością normatywną która wynosi 25°C . Gdy amerykańska temperatura efektywna zawarta jest w przedziale $25^\circ\text{C} \div 30^\circ\text{C}$ a jednocześnie temperatura sucha wynosi powyżej 28°C czas pracy pracowników należy skrócić. Z kolei gdy wartości ATE przekracza 30°C praca górników jest zabroniona.

Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie amerykańskiej temperatury efektywnej ATE dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X zestawiono w Tabeli 6.9.

Z przeprowadzonej analizy ryzyka wynika, iż w badanym rejonie ściany 146 ze względu na amerykańską temperaturę efektywną ATE praktycznie wszystkie stanowiska pracy charakteryzują się dużym ryzykiem pod względem zagrożenia klimatycznego uprawniającym do skrócenia czasu pracy do 6 godzin. Najgorzej sytuacja wygląda na stanowisku górnika zatrudnionego w górnej wnęce gdzie średnia temperatura mierzona termometrem suchym przekracza 30°C , a wskaźnik ATE wynosi $27,9^{\circ}\text{C}$ oraz na stanowisku obsługi przenośnika nadścianowego gdzie wskaźnik ATE wynosi $28,0^{\circ}\text{C}$. Praca na wskazanych stanowiskach przy obecnych warunkach klimatycznych może być niebezpieczna dla zatrudnionych tam pracowników dlatego kopalnia wprowadziła rotację zatrudnienia na tych stanowiskach. Z uwagi na amerykańską temperaturę efektywną ATE średnim ryzykiem zagrożenia klimatycznego charakteryzowało się tylko stanowisko górnika przy transporcie którego głównym miejscem pracy jest przekop 1/414 oraz dowierzchnia 14/7.

6.2.7. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie temperatury zastępczej klimatu t_{zk} .

Wartość wskaźnika amerykańskiej temperatury efektywnej na poszczególnych stanowiskach pracy oddziału wydobywczego G-1 została wyznaczona na podstawie nomogramu dla ludzi ubranych i nieubranych. W celu wyznaczenia wskaźnika konieczna była znajomość trzech parametrów powietrza takich jak: temperatura termometru suchego t_a , temperatura termometru wilgotnego t_w oraz prędkość powietrza v . Następnie otrzymane wartości pomiarowe zostały porównane z wartością normatywną dla pracy umiarkowanej - $t_{zk} < 28,0^{\circ}\text{C}$, zaproponowanej przez Jana Drendę.

Tabela 6.9. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie amerykańskiej temperatury efektywnej ATE dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej	Temp sucha	Temp wilgotna	Prędkość powietrza	Wskaźnik ATE	Wskaźnik ATE na stanowisku	Wartość ATE stanowiąca wartość normatywną	Ryzyko zawodowe zagrożeniem klimatycznym
		$t_a, ^\circ\text{C}$	$t_{te}, ^\circ\text{C}$	$V, \text{m/s}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	
Przodowy ściany	4	26,8	25,6	1,2	24,19	26,2	25,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	5	28,6	27,8	1,18	26,64			
	6	29,6	29,0	1,14	27,83			
Kombajnista ścianowy	4	27,0	25,8	1,2	24,41	26,6	25,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	5	28,8	28,2	1,18	26,87			
	6	29,8	29,4	1,14	28,48			
Obserwator układaka	4	26,8	25,8	1,2	24,54	26,3	25,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	5	28,4	27,6	1,18	26,41			
	6	29,4	29,0	1,14	28,02			
Sekcyjny	4	27,4	26,8	1,0	25,54	27,4	25,0	Ryzyko duże - praca niezalecana
	5	29,0	28,6	1,0	27,75			
	6	30,0	29,6	1,0	28,90			
Górnik ścianowy we wnęce dolnej	3	28,2	27,4	1,2	26,15	25,2	25,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	4	26,8	25,6	1,2	24,19			
Górnik ścianowy we wnęce górnej	6	29,6	29,0	1,14	27,83	27,9	25,0	Ryzyko duże - praca niezalecana bez dodatkowych działań obniżających temperaturę
	7	29,8	29,2	1,2	27,98			
Operator przenośnika nadścianowego	7	29,8	29,2	1,2	27,98	28,0	25,0	Ryzyko duże - praca niezalecana bez dodatkowych działań obniżających temperaturę
Operator przenośnika taśmowego	7	29,8	29,2	1,2	27,98	26,7	25,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	8	30,0	29,4	1,2	28,21			
	10	28,2	27,0	2,8	23,87			
Górnik przy transporcie	1	26,2	24,8	2,5	21,48	24,0	25,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	2	26,4	25,4	1,1	24,25			
	3	28,2	27,4	1,1	26,30			
Osoba dozoru	4	26,8	25,6	1,2	24,19	26,3	25,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	5	28,6	27,8	1,18	26,64			
	7	29,8	29,2	1,2	27,98			

Tabela 6.10. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie amerykańskiej temperatury zastępczej klimatu t_{zk} dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej	Temp sucha	Temp wilgotna	Predkość powietrza	Wskaźnik t_{zk}	Wskaźnik t_{zk} na stanowisku	Wartość t_{zk} stanowiąca wartość normatywna	Ryzyko zawodowe zagrożeniem klimatycznego
		$t_a, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$V, \text{m/s}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	
Przodowy ściany	4	26,8	25,6	1,2	24,88	26,6	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	5	28,6	27,8	1,18	26,94			
	6	29,6	29,0	1,14	28,10			
Kombajnista ścianowy	4	27,0	25,8	1,2	25,08	26,9	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	5	28,8	28,2	1,18	27,26			
	6	29,8	29,4	1,14	28,42			
Obserwator układaka	4	26,8	25,8	1,2	25,00	26,6	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	5	28,4	27,6	1,18	26,74			
	6	29,4	29,0	1,14	28,02			
Sekcyjny	4	27,4	26,8	1,0	26,04	27,5	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	5	29,0	28,6	1,0	27,76			
	6	30,0	29,6	1,0	28,76			
Górnik ścianowy we wnęce dolnej	3	28,2	27,4	1,2	26,52	25,7	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	4	26,8	25,6	1,2	24,88			
Górnik ścianowy we wnęce górnej	6	29,6	29,0	1,14	28,10	28,2	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	7	29,8	29,2	1,2	28,24			
Operator przenośnika nadścianowego	7	29,8	29,2	1,2	28,24	28,2	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
Operator przenośnika taśmowego	7	29,8	29,2	1,2	28,24	27,1	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny.
	8	30,0	29,4	1,2	28,44			
	10	28,2	27,0	2,8	24,68			
Górnik przy transporcie	1	26,2	24,8	2,5	22,82	24,7	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	2	26,4	25,4	1,1	24,70			
	3	28,2	27,4	1,1	26,62			
Osoba dozoru	4	26,8	25,6	1,2	24,88	26,7	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny.
	5	28,6	27,8	1,18	26,94			
	7	29,8	29,2	1,2	28,24			

Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie temperatury zastępczej klimatu t_{zk} dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X zestawiono w Tabeli 6.10.

Z przeprowadzonej analizy ryzyka wynika, iż w badanym rejonie ściany 146 wyznaczona temperatura zastępcza klimatu przekraczająca ustalona wartość normatywną 28 °C występuje tylko na dwóch stanowiskach pracy tj. górnika zatrudnionego w górnej wnęce i operatora przenośnika nadścianowego. Dla tych stanowisk ryzyko związane z zagrożeniem klimatycznym zostało określone na poziomie dużym mogącym zagrażać życiu i zdrowiu zatrudnionym na nich górników. Pozostałe stanowiska pracy w rejonie oddziału G-1 z uwagi na obliczony wskaźnik temperatury zastępczej klimatu t_{zk} zaliczono do kategorii ryzyka średniego dzięki czemu możliwe jest wykonywanie na nich pracy przez całą zmianę roboczą trwającą 7,5 godz.

6.2.8. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika WBGT.

Do określenia wartości wskaźnika WBGT, a następnie na jego podstawie do oszacowania ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym według normy PN-EN ISO 7243:2018:01 użyty został wzór dla warunków bez promieniowania słonecznego mający postać wzoru 4.16. Następnie otrzymana wartość wskaźnika WBGT została porównana z wartością odniesienia wskaźnika WBGT znajdującą się w Tabeli 4.6. Aby określić poziom tempa metabolizmu konieczny do poznania wartości odniesienia wskaźnika WBGT użyto Tabeli 4.6. Wyznaczenia wskaźnika WBGT możliwe było dzięki znajomości takich parametrów powietrza jak: temperatura poczernionej kuli (t_g) oraz temperatura naturalnej wilgotnej (t_{nw})

Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika WBGT dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X zestawiono w Tabeli 6.11.

Na podstawie przeprowadzanych badań można zaobserwować, iż wartość wskaźnika WBGT na stanowisku kombajnisty, sekcyjnego i operatora przenośnika taśmowego przekroczyła normatywną wielkość 28°C co wskazuje na fakt, że warunki klimatyczne z którymi mają do czynienia pracownicy na tych stanowiskach pracy są trudne i mogą źle wpływać na organizm ludzki dlatego niezbędne jest skrócenie czasu pracy do 6 godzin. Jeszcze gorzej wygląda sytuacja na stanowisku górnika zatrudnionego w górnej wnęce i na obsłudze przenośnika nadścianowego, gdzie wyznaczony wskaźnik WBGT przekroczył wartość 29°C. Praca w takich warunkach może wywoływać bóle głowy, zasłabnięcia a nawet udary cieplne. Przeprowadzone szacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie

Tabela 6.11. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika WBGT dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej	Temp Poczernionej kuli	Temp wilgotna	Prędkość powietrz	Wskaźnik WBGT	Wskaźnik WBGT na stanowisku	Wartość tak stanowiąca wartość normatywna	Ryzyko zawodowe zagrożeniem klimatycznego
		$t_g, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$V, \text{m/s}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	
Przodowy ściany	4	26,2	25,6	1,2	26,00	27,8	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	5	28,2	27,8	1,18	28,06			
	6	29,4	29,0	1,14	29,20			
Kombajnista ścianowy	4	27,0	25,8	1,2	26,20	28,0	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	5	28,6	28,2	1,18	28,40			
	6	29,6	29,4	1,14	29,53			
Obserwator układaka	4	26,4	25,8	1,2	26,13	27,7	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	5	28,2	27,6	1,18	27,86			
	6	29,0	29,0	1,14	29,13			
Sekcyjny	4	27,2	26,8	1,0	27,00	28,5	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	5	28,8	28,6	1,0	28,73			
	6	30,0	29,6	1,0	29,73			
Górnik ścianowy we wnęce dolnej	3	28,0	27,4	1,2	27,66	26,8	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	4	26,6	25,6	1,2	26,00			
Górnik ścianowy we wnęce górnej	6	29,2	29,0	1,14	29,20	29,3	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	7	29,4	29,2	1,2	29,40			
Operator przenośnika nadścianowego	7	29,4	29,2	1,2	29,40	29,4	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
Operator przenośnika taśmowego	7	29,6	29,2	1,2	29,40	28,8	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	8	30,0	29,4	1,2	29,60			
	10	28,0	27,0	2,8	27,40			
Górnik przy transporcie	1	26,0	24,8	2,5	25,23	26,2	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	2	26,2	25,4	1,1	25,73			
	3	28,2	27,4	1,1	27,66			
Osoba dozoru	4	26,6	25,6	1,2	26,00	27,8	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny.
	5	28,4	27,8	1,18	28,06			
	7	29,6	29,2	1,2	29,40			

wskaźnika WBGT wykazało, że w efekcie aż 5 z spośród 10 stanowisk pracy oddziału G-1 zaliczono do kategorii ryzyka dużego co wymusza podjęcie działań przez służby kopalni zmierzających do obniżenia niekorzystnych parametrów powietrza i poprawy komfortu pracy.

6.2.9. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie śląskiej temperatury zastępczej $T\acute{S}$.

Wartość śląskiej temperatury zastępczej dla wszystkich stanowisk pracy oddziału wydobywczego G-1 została wyznaczona w oparciu o równanie (4.7) na podstawie takich parametrów jak temperatura sucha i wilgotna powietrza, prędkość przepływu powietrza oraz wilgotność względną. Następnie otrzymane wartości pomiarowe zostały porównane z wartościami normatywnymi zawartymi w Tabeli 4.2., z których wynika, że jeżeli wartość wskaźnika $T\acute{S}$ mieści się w przedziale $26^{\circ}\text{C} \leq T\acute{S} < 30^{\circ}\text{C}$ to należy skrócić nominalny czas pracy na danym stanowisku do 6 godzin, a powyżej wartości $T\acute{S} > 30^{\circ}\text{C}$ prac nie może być wykonywana.

Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie śląskiej temperatury zastępczej $T\acute{S}$ dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X zestawiono w Tabeli 6.12

Na podstawie przeprowadzonego szacowania zagrożenia klimatycznego wg śląskiej temperatury zastępczej $T\acute{S}$, aż osiem stanowisk pracy w rejonie oddziału G-1 zakwalifikowano do kategorii ryzyka dużego dla których wyznaczona wartość wskaźnika $T\acute{S}$ mieściła się w przedziale $26^{\circ}\text{C} \leq T\acute{S} < 30^{\circ}\text{C}$ uprawniającym do obniżenia czasu pracy z 7,5 do 6 godzin oraz wskazującym na fakt, iż warunki klimatyczne panujące w ścianie 146 w pokładzie 414/2 mogą oddziaływać szkodliwe na organizmy zatrudnionych tam górników. Jedynie na stanowiskach górnika ścianowego zatrudnionego w dolnej wnęce ściany jak i górników zatrudnionych przy dostawie materiałów do ściany 146, zagrożenie klimatyczne oceniono jako średnie nie zagrażające zdrowiu i samopoczuciu załogi.

6.2.10. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ .

Do oceny mikroklimatu za pomocą wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ na poszczególnych stanowiskach pracy oddziału G-1 został użyty nomogram dla wilgotności powietrza $\varphi=100\%$, i $\varphi=80\%$. Przyjęto, że załoga pracująca w ścianie 146 w pokładzie 414/2 w czasie wykonywania swoich obowiązków jest ubrana w odzież roboczą oraz że wszyscy pracownicy są zaaklimatyzowani do środowiska gorącego. W ten sposób znając prędkość powietrza oraz temperaturę suchą możliwe było wyznaczenia wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ . W ramach

Tabela 6.12. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika ślaskiej temperatury zastępczej TŚ dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej	Temp Poczernionej kuli	Temp wilgotna	Prędkość powietrz	Wilgotność względna	Wskaźnik TŚ	Wskaźnik TŚ na stanowisku	Wartość TŚ stanowiąca wartość normatywna	Ryzyko zawodowe zagrożeniem klimatycznego
		$t_g, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$V, \text{m/s}$	$\phi, \%$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	
Przodowy ściany	4	26,2	25,6	1,2	90,8	25,10	26,9	26,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	5	28,2	27,8	1,18	94,0	27,20			
	6	29,4	29,0	1,14	95,6	28,73			
Kombajnista ścianowy	4	27,0	25,8	1,2	90,9	25,30	27,2	26,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	5	28,6	28,2	1,18	95,6	27,54			
	6	29,6	29,4	1,14	97,1	28,71			
Obserwator układaka	4	26,4	25,8	1,2	92,3	25,24	26,9	26,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	5	28,2	27,6	1,18	94,0	27,00			
	6	29,0	29,0	1,14	97,01	28,31			
Sekcyjny	4	27,2	26,8	1,0	95,4	26,27	27,8	26,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	5	28,8	28,6	1,0	97,0	28,01			
	6	30,0	29,6	1,0	97,1	29,01			
Górnik ścianowy we wnęce dolnej	3	28,0	27,4	1,2	94,0	26,78	25,9	26,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	4	26,6	25,6	1,2	90,8	25,10			
Górnik ścianowy we wnęce górnej	6	29,2	29,0	1,14	95,6	28,37	28,5	26,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	7	29,4	29,2	1,2	95,6	28,53			
Operator przenośnika nadścianowego	7	29,4	29,2	1,2	95,6	28,53	28,5	26,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
Operator przenośnika taśmowego	7	29,6	29,2	1,2	95,6	28,53	27,5	26,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	8	30,0	29,4	1,2	95,7	28,73			
	10	28,0	27,0	2,8	91,1	25,35			
Górnik przy transporcie	1	26,0	24,8	2,5	90,0	23,39	25,1	26,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	2	26,2	25,4	1,1	92,3	24,91			
	3	28,2	27,4	1,1	94,0	26,85			
Osoba dozoru	4	26,6	25,6	1,2	90,9	25,10	26,9	26,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	5	28,4	27,8	1,18	94,1	27,20			
	7	29,6	29,2	1,2	95,6	28,53			

badan założono że wartość najwyższych dopuszczalnych natężeń dla wskaźnika dyskomfortu cieplnego na podstawie Tabeli 4.1 jest równa $NDN=0,80$. Natomiast powyżej wartości 1,0 dyskomfort jest niebezpieczny dla zdrowia; praca lub przebywanie człowieka w takich warunkach powinny być zabronione.

Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X zestawiono w Tabeli 6.13

Na podstawie analizy wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ na stanowiskach w oddziale G-1 oceniającego zagrożenie klimatyczne jako szkodliwe dla zdrowia pracowników. Można stwierdzić, iż na wszystkich stanowiskach pracownicy oddziału G-1 pracownicy mają do czynienia z nieprzyjawnymi warunkami mikroklimatycznymi środowiska. Na zdecydowanej większości stanowisk wartość wskaźnika jest na poziomie przekraczającym wartość graniczną $\delta = 1,0$ dla bezpiecznej pracy. Wartość wskaźnika δ mniejszą od 1,0 oznaczającą bardzo trudne warunki klimatyczne uprawniające do skrócenia czasu pracy z 7,5 do 6 godzin stwierdzono tylko na stanowisku górnika ścianowego w dolnej wnęce i stanowisku górnika przy transporcie. Uwzględniając wyniki wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ można stwierdzić, że praca w takim środowisku może być przyczyną szeregu dolegliwości takich jak bóle głowy, omdlenia cieplne, kurcze cieplne, wyczerpania cieplne, zmiany skórne a nawet udary cieplne. Oznacza to że dyskomfort cieplny na 8 z 10 stanowisk pracy eksploatowanej ściany 146 jest zbyt niebezpieczny dla zdrowia i, że praca w takich warunkach powinna być zakazana. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono również, że ryzyko zawodowe związane z oddziaływaniem zagrożenia klimatycznego dla całej załogi oddziału wydobywczego G-1 jest duże i należy bezzwłocznie dążyć do poprawy warunków klimatycznych w rejonie.

6.2.11. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie aktualnie obowiązujących przepisów górniczych dla kopalń węgla kamiennego.

Według obowiązujących przepisów górniczych w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny oceny zagrożenia klimatycznego dokonuje się przez określenie parametrów mikroklimatu powietrza kopalnianego na podstawie pomiaru temperatury powietrza termometrem suchym na stanowisku pracy lub pomiaru intensywności chłodzenia na stanowisku pracy [31]. W zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny temperatura powietrza na stanowiskach pracy nie może przekraczać 28°C przy wykonywaniu pomiarów termometrem suchym, a intensywność chłodzenia nie może być mniejsza od 11 katastopni wilgotnych (Kw). W przypadku gdy temperatura powietrza mierzona termometrem suchym na stanowiskach pracy jest większa od 28°C , a nie przekracza 33°C , lub intensywność chłodzenia jest mniejsza od 11 katastopni wilgotnych (Kw) ogranicza się wymiar czasu pracy do 6 godzin, liczony łącznie z

Tabela 6.13. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie dyskomfortu cieplnego δ dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej	Temp sucha	Temp wilgotna	Predkość powietrz	Wskaźnik δ	Wskaźnik δ na stanowisku	Wartość δ stanowiąca wartość normatywną	Ryzyko zawodowe zagrożeniem klimatycznego
		$t_{s,} \text{ } ^\circ\text{C}$	$t_{w,} \text{ } ^\circ\text{C}$	$V, \text{ m/s}$	-	-	-	
Przodowy ściany	4	26,8	25,6	1,2	0,90	1,01	0,8	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	5	28,6	27,8	1,18	1,03			
	6	29,6	29,0	1,14	1,10			
Kombajnista ścianowy	4	27,0	25,8	1,2	0,91	1,03	0,8	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	5	28,8	28,2	1,18	1,05			
	6	29,8	29,4	1,14	1,13			
Obserwator układaka	4	26,8	25,8	1,2	0,92	1,02	0,8	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	5	28,4	27,6	1,18	1,02			
	6	29,4	29,0	1,14	1,11			
Sekcyjny	4	27,4	26,8	1,0	0,98	1,07	0,8	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	5	29,0	28,6	1,0	1,09			
	6	30,0	29,6	1,0	1,15			
Górnik ścianowy we wnęce dolnej	3	28,2	27,4	1,2	1,01	0,96	0,8	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	4	26,8	25,6	1,2	0,90			
Górnik ścianowy we wnęce górnej	6	29,6	29,0	1,14	1,10	1,11	0,8	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	7	29,8	29,2	1,2	1,11			
Operator przenośnika nadścianowego	7	29,8	29,2	1,2	1,11	1,11	0,8	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
Operator przenośnika taśmowego	7	29,8	29,2	1,2	1,11	1,04	0,8	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	8	30,0	29,4	1,2	1,12			
	10	28,2	27,0	2,8	0,89			
Górnik przy transporcie	1	26,2	24,8	2,5	0,76	0,9	0,8	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	2	26,4	25,4	1,1	0,91			
	3	28,2	27,4	1,1	1,02			
Osoba dozoru	4	26,8	25,6	1,2	0,9	1,01	0,8	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	5	28,6	27,8	1,18	1,03			
	7	29,8	29,2	1,2	1,11			

czasem zjazdu pod ziemię i wyjazdu na powierzchnię, dla pracowników przebywających na tych stanowiskach pracy dłużej niż przez 2 godziny. W przypadku gdy temperatura powietrza mierzona termometrem suchym na stanowiskach pracy przekracza 33°C, mogą być prowadzone tylko prace w ramach akcji ratowniczej [33].

Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie obowiązujących przepisów górniczych dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X zestawiono w Tabeli 6.14

W wyniku przeprowadzonej analizy ryzyka związanego z występującym zagrożeniem klimatycznym na stanowiskach pracy oddziału G-1 w oparciu o obowiązujące przepisy górnicze wynika, iż zdecydowana większość stanowisk pracy zlokalizowanych w rejonie ściany 146 w pokładzie 414/2 znajduje się w strefie ryzyka dużego związanego z oddziaływaniem w wysokiej temperatury bądź ograniczonej intensywności chłodzenia skutkiem czego nominalny czas pracy należało na tych stanowiskach skrócić do 6 godzin. Na trzech stanowiskach pracy: sekcyjny, górnik w górnej wnęce, operator przenośnika nadścianowego wpływ na to miała zarówno intensywność chłodzenia niższa od 11 katastopni wilgotnych i temperatura mierzona termometrem suchym przekraczająca 28 °C. Na pozostałych 5 stanowiskach pracy determinantem skrócenia czasu pracy była temperatura przekraczająca 28 °C. Stanowiska na których odnotowano średni poziom ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym w rejonie ściany 146 to górnik przy transporcie i górnik zatrudniony w dolnej wnęce.

Podsumowanie przeprowadzonej oceny ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym w oparciu o zmierzone parametry powietrza i wyznaczone wskaźniki.

Przeprowadzona ocena ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na stanowiskach pracy w rejonie ściany 146 w pokł 414/2 kopalni X wykazała, iż przy tych samych parametrach i wartościach pomiarowych wyniki oceny ryzyka są różne w zależności od obranej metody badawczej zagrożenia klimatycznego (Tabela 6.15). Najbardziej rygorystyczną pod względem zagrożenia klimatycznego okazała się metoda oceny oparta na wskaźniku dyskomfortu cieplnego δ , która wszystkie stanowiska pracy oddziału G-1 zidentyfikował jako stanowiska o dużym potencjale ryzyka wskazującym na bardzo trudne warunki klimatyczne uprawniające nie tylko do skrócenia czasu pracy z uwagi na przekroczenie wartości normatywnych ale również wskazująca na zagrożenie zdrowia górników w związku z przekroczeniem górnej wartości tego wskaźnika co może być przyczyną szeregu dolegliwości takich jak bóle głowy, omdlenia cieplne, kurcze cieplne,

wyczerpania ciepłone, zmiany skórne a nawet udaru ciepłonego. Z kolei najbardziej łagodne trudne warunki klimatyczne w rejonie ściany 146 zidentyfikowane zostały w oparciu o wskaźnik

Tabela 6.14. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie obowiązujących przepisów górniczych dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej	Temp sucha	Temp wilgotna	Prędkość powietrz	Intensywność chłodzenia, K_w	Wskaźnik K_w na stanowisku	Wskaźnik t_a na stanowisku	Wartość stanowiąca wartość normatywną		Ryzyko zawodowe zagrożeniem klimatycznego
		t_{a_s} , °C	t_{w_s} , °C	V , m/s	K_w , mcal/cm ² s	t_a , °C	K_w	t_n , °C		
Przodowy ściany	4	26,8	25,6	1,2	13,8	11,4	28,3	11,0	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	5	28,6	27,8	1,18	11,0					
	6	29,6	29,0	1,14	9,4					
Kombajnista ścianowy	4	27,0	25,8	1,2	13,6	11,0	28,5	11,0	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	5	28,8	28,2	1,18	10,5					
	6	29,8	29,4	1,14	8,9					
Obserwator układaka	4	26,8	25,8	1,2	13,6	11,4	28,2	11,0	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	5	28,4	27,6	1,18	11,2					
	6	29,4	29,0	1,14	9,4					
Sekcyjny	4	27,4	26,8	1,0	11,6	9,8	28,8	11,0	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	5	29,0	28,6	1,0	9,5					
	6	30,0	29,6	1,0	8,3					
Górnicy ścianowy we wnęce dolnej	3	28,2	27,4	1,2	11,5	12,7	27,5	11,0	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	4	26,8	25,6	1,2	13,8					
Górnicy ścianowy we wnęce górnej	6	29,6	29,0	1,14	9,4	9,4	29,7	11,0	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	7	29,8	29,2	1,2	9,3					
Operator przenośnika nadścianowego	7	29,8	29,2	1,2	9,3	9,3	29,8	11,0	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
Operator przenośnika taśmowego	7	29,8	29,2	1,2	9,3	11,3	29,3	11,0	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	8	30,0	29,4	1,2	9,0					
	10	28,2	27,0	2,8	15,7					
Górnicy przy transporcie	1	26,2	24,8	2,5	18,6	14,5	26,9	11,0	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	2	26,4	25,4	1,1	13,7					
	3	28,2	27,4	1,1	11,2					
Osoba dozoru	4	26,8	25,6	1,2	13,8	11,4	28,4	11,0	28,0	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	5	28,6	27,8	1,18	11,0					
	7	29,8	29,2	1,2	9,3					

Tabela 6.15. Poziom ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym dla stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej	Wskaźnik ATE na stanowisku	Wskaźnik t_{sk} na stanowisku	Wskaźnik WBGT na stanowisku	Wskaźnik TS na stanowisku	Wskaźnik δ na stanowisku	Obowiązujące przepisy górnicze
		°C	°C	°C	°C	-	mcal/cm ² s, °C
Przodowy ściany	4	Duże	Średnie	Średnie	Duże	Duże	Duże
	5						
	6						
Kombajnista ścianowy	4	Duże	Średnie	Duże	Duże	Duże	Duże
	5						
	6						
Obserwator układaka	4	Duże	Średnie	Średnie	Duże	Duże	Duże
	5						
	6						
Sekcyjny	4	Duże	Średnie	Duże	Duże	Duże	Duże
	5						
	6						
Górnik ścianowy we wnęce dolnej	3	Duże	Średnie	Średnie	Średnie	Duże	Średnie
	4						
Górnik ścianowy we wnęce górnej	6	Duże	Duże	Duże	Duże	Duże	Duże
	7						
Operator przenośnika nadścianowego	7	Duże	Duże	Duże	Duże	Duże	Duże
	8						
Operator przenośnika taśmowego	7	Duże	Średnie	Duże	Duże	Duże	Duże
	10						
Górnik przy transporcie	1	Średnie	Średnie	Średnie	Średnie	Duże	Średnie
	2						
	3						
Osoba dozoru	4	Duże	Średnie	Średnie	Duże	Duże	Duże
	5						
	6						
	7						

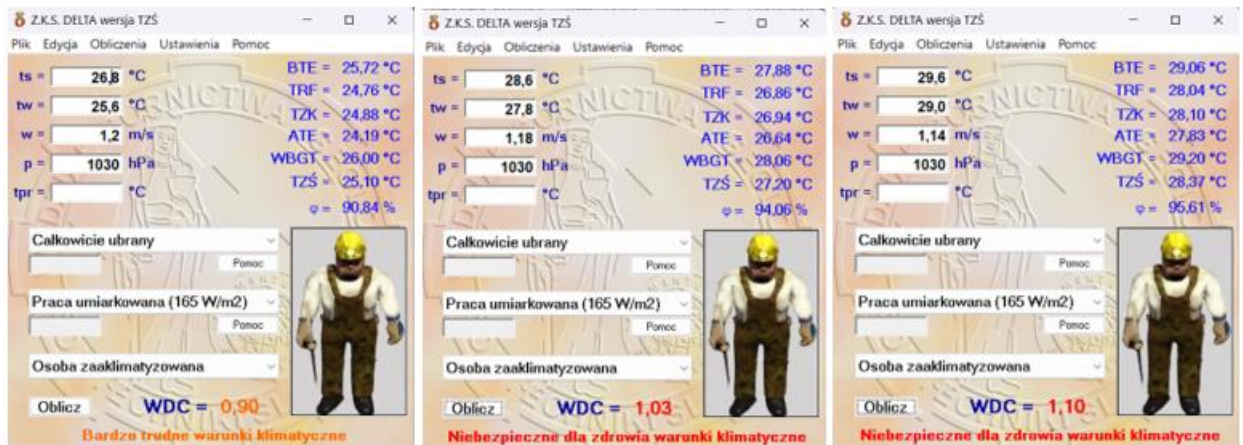
temperatury zastępczej klimatu t_{zk} na podstawie którego tylko na dwóch stanowiskach pracy: górnika zatrudnionego w górnej wnęce ścianowej o operatora przenośnika nadścianowego zidentyfikowano duże zagrożenie. W porównaniu z wynikami oszacowanego ryzyka na podstawie obowiązujących od sierpnia 2019r. przepisów górniczych w oparciu o temperaturę mierzoną termometrem suchym i określoną intensywność chłodzenia gdzie stwierdzono osiem stanowisk o dużym poziomie ryzyka w związku z zagrożeniem klimatycznym można stwierdzić, iż zarówno górnicy jak i reprezentujące ich organizacje związkowe miały słuszność w zakresie oprostowania zmiany przepisów wprowadzających do oceny zagrożenia klimatycznego w kopalniach węgla kamiennego temperatury zastępczej klimatu.

W tym miejscu warto jednak zaznaczyć, iż przeprowadzone badania warunków klimatycznych na potrzeby pracy doktorskiej prowadzone były wśród pracowników ubranych, którzy zgodzili się wziąć udział w próbie badawczej. W normalnym cyklu pracy pracownicy zatrudnienie w warunkach zagrożenia klimatycznego pracują bez ubrań co zmienia wartość poszczególnych wskaźników. Na przykład dla tych samych parametrów powietrza wartość wskaźnika dyskomfortu cieplnego dla osoby rozebranej pracującej tylko w bieliźnie jest znacznie mniejszy co widać na rysunku 6.16.

Praca górników bez ubrań w wyrobiskach górniczych zagrożonych klimatycznie, jest ogólnie przyjęta i tolerowalna jednak niesie ona za sobą ryzyko drobnych lub większych urazów, które powstają w wyniku zetknięcia nieosłoniętego ciała człowieka z materiałem skalnym, elementami wyposażenia technicznego lub medium zasilającym pod ciśnieniem. Dlatego z punktu widzenia ogólnie przyjętego pojęcia bezpieczeństwa sytuacja ta jest również niebezpieczna dla samych górników. Zatem poszukiwanie innych rozwiązań umożliwiających oddanie nadmiaru ciepła z przegrzanego organizmu bez konieczności rozbierania się jest priorytetem badań prowadzonych w ramach prezentowanej pracy doktorskiej

Przeprowadzona analiza ryzyka na poszczególnych stanowiskach pracy oddziału G-1 kopalni X w rejonie ściany 146 w pokładzie 414/2 przeprowadzona w oparciu o pomiary rzeczywiste dla różnych wskaźników zagrożenia klimatycznego zweryfikowana na podstawie oprogramowania komputerowego Z.K.S Delta opracowanego przez pracowników Politechniki Śląskiej (Rys. 6.16) wykazała, iż oprócz rozwiązań matematycznych związanych z wyznaczaniem nowych wskaźników klimatycznych oraz kontroli i pomiarów parametrów powietrza należy dążyć również do poszukiwania innych możliwości poprawy dyskomfortu pracy górników w trudnych warunków klimatycznych.

Przodowy w ubraniu roboczym



Przodowy bez ubrania roboczego



Rys. 6.17. Przykładowe obliczenia wskaźników zagrożenia klimatycznego za pomocą programu Z.K.S Delta

6.3. Parametry fizjologiczne charakteryzujące obciążenie termiczne i sposób ich pomiaru.

W celu prawidłowego określenia faktycznego obciążenia termicznego pracowników zatrudnionych w wyrobiskach górniczych pomocna jest również znajomość parametrów fizjologicznych charakteryzujących to obciążenie oraz sposób ich pomiaru [241, 242].

Wybór mierzonych wskaźników i stosowanych technik zależy od warunków technicznych, możliwości przeprowadzenia badań w warunkach rzeczywistych oraz stopnia akceptacji tych pomiarów przez pracowników, których one dotyczą.

Należy podkreślić, że bezpośrednie pomiary fizjologiczne z udziałem ludzi mogą być przeprowadzone jedynie z uwzględnieniem dwóch warunków:

- badana osoba jest w pełni poinformowana o dyskomforcie i potencjalnym ryzyku związanym z techniką pomiarową, oraz dobrowolnie wyraża zgodę na takie pomiary,
- pomiary nie powodują ryzyka dla badanej osoby, które jest niedopuszczalne w świetle ogólnych lub szczegółowych norm etycznych.

W warunkach prowadzonych badań równocześnie z pomiarami parametrów fizycznych powietrza na stanowiskach pracy oddziału G-1 kopalni X w rejonie ściany 146 w pokładzie 414/2 prowadzone były pomiary fizjologiczne wybranych grup pracowników na poszczególnych stanowiskach tj.:

- wzrost,
- waga,
- pomiar temperatury wewnętrznej ciała,
- częstość skurczów serca
- ciśnienie tętnicze krwi,
- liczba oddechów.

6.3.1. Specyfikacja przyrządów pomiarowych i metody pomiarowe wykorzystywane w trakcie pomiarów w warunkach dołowych.

W trakcie wykonywania badań fizjologicznych w warunkach dołowych wykorzystano przyrządy pomiarowe, które posiadały odpowiednie certyfikaty ich użyteczności oraz dopuszczenie Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego kopalni X do wykorzystania ich w trakcie prowadzonych badań.

1. Pomiar masy ciała.

Do pomiaru masy ciała pracownika w warunkach powierzchniowych wykorzystano wagę lekarską wraz z wzrostomierzem (liniałem wzorcowy o długości 150- 220cm) znajdującą się w kopalnianym punkcie medycznym (Rys. 6.18) z maksymalnym obciążeniem do 150 kg i dokładnością odczytu między 60 – 150 g. Do pomiaru masy ciała w warunkach dołowych wykorzystano przenośną platformową wagę lekarską z wyświetlaczem elektronicznym i nośnością do 250 kg i dokładnością odczytu $100\text{ g} < 100\text{kg} < 200\text{g}$.



Rys. 6.18 Waga lekarska: a) stacjonarna z wzrostomierzem, b) przenośna platformowa MS7301

Metodyka pomiaru:

Przed wykonaniem badania wagę należy ustawić na twardym podłożu. Za pomocą poziomicy powinno się sprawdzić, czy płaszczyzna, na której stoi waga jest pozioma. Na początku i na końcu każdego dnia powinna zostać przeprowadzona kalibracja wagi za pomocą standardowych odważników kalibracyjnych. Re-kalibracja jest konieczna, jeżeli błąd pomiaru jest większy niż 0,2kg.

Badanie wagi ciała pracownika należy przeprowadzić dwufazowo. Pierwsze badanie pracownika należy wykonać podczas badań lekarskich w punkcie medycznym na powierzchni kopalni z pomocą stacjonarnej wagi lekarskiej. Wagę pracownika należy mierzyć bez butów, ciężkiego ubrania i nakrycia głowy.

Kolejne badania masy ciała pracownika należy wykonywać w odstępach 30 minutowych w rzeczywistych warunkach pracy badanego. Wagę pracownika należy mierzyć bez butów (gumowców) jednak w onucach, pełnym ubraniu i nakryciem głowy.

W trakcie wykonywania badania pracownik powinien stać w centralnej części platformy wagi i mieć 10 cm przerwy pomiędzy stopami; ciężar ciała powinien być rozłożony jednakowo na obie nogi. Odczyt masy ciała pracownika jest odczytywany z wyświetlacza wagi z dokładnością skali wagi (0,1 kg lub 0,2 kg), a wynik badania zapisywany na karcie pomiarowej.

Dodatkowo przed rozpoczęciem pracy i zaraz po jej zakończeniu należy zważyć odzież ochronną pracownika wraz z nakryciem głowy, jednak bez butów (gumowców).

2. Pomiary wzrostu.

Do pomiaru wzrostu pracownika wykorzystana wagę lekarską wraz z wzrostomierzem (liniałem wzorcowy o długości 150- 220cm) znajdującą się w kopalnianym punkcie medycznym (Rys. 6.18). Poziome i pionowe ustawienie wzrostomierza sprawdzone było przy użyciu poziomicy i wzorcowego liniału na początku i końcu każdego dnia prowadzonego badania. Wskazania wzrostomierza były każdorazowo korygowane jeżeli błąd pomiarowy przekraczał 2 mm.

Metodyka pomiaru.

Wzrost pracownika należy mierzyć bez butów, ciężkiego ubrania i nakrycia głowy. Badany powinien stać wyprostowany, tyłem do wzrostomierza, głowa, ramiona, pośladki i pięty powinny dotykać wzrostomierza. Przerwa pomiędzy stopami powinna wynosić (10 cm), stopy powinny być ustawione prosto. Kanał ucha powinien być w jednej linii z kością policzkową.

Jeżeli badany jest wyższy niż osoba dokonująca pomiaru, osoba mierząca wzrost powinna stanąć na schodkach. W trakcie badania wzrost pracownika jest odczytywany z dokładnością skali wzrostomierza (do 0,5cm), a wynik badania zapisywany na karcie pomiarowej.

3. Pomiar temperatury wewnętrznej.

Do pomiaru temperatury wewnętrznej organizmu pracownika w warunkach dołowych wykorzystano termometr douszny BRAUN Thermoscan 7 IRT6520 (Rys. 6.18) wyposażony w jednorazowe wymienne wkładki umożliwiające ultrahigieniczne pomiary temperatury błony bębenkowej dzięki umieszczeniu sondy termometru wewnątrz przewodu słuchowego pracownika. Zakres pomiarowy błony bębenkowej termometrem wynosi 34°C - 42,2°C a dokładność pomiaru $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

Metodyka pomiaru.

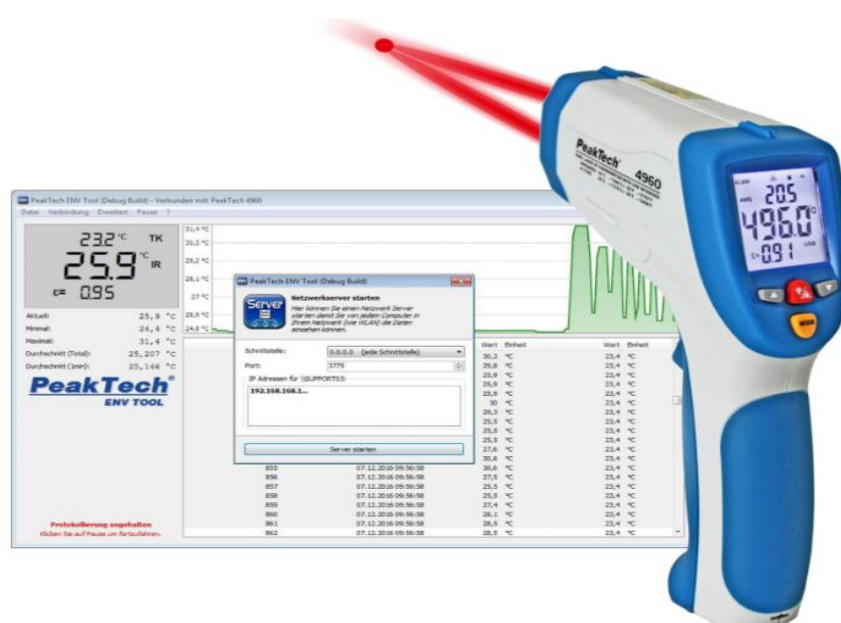
Przed wykonaniem pomiaru temperatury błony bębenkowej zaleca się przeprowadzenie badania otoskopowego, aby zagwarantować, że błona bębenkowa i ściany przewodu słuchowego są w dobrym stanie. W razie potrzeby z kanału słuchowego usuwa się wszystkie osady wosku. Po wykonaniu czynności sprawdzających kanał słuchowych należy założyć na soczewkę termometru nowy kapturek ochronny. Następnie soczewkę wraz z kapturkiem należy umieścić w przewodzie słuchowym pracownika nacisnąć po czym zwolnić przycisk start. W trakcie pomiaru temperatury będzie migac kontrolka ExacTemp. Kontrolka będzie stale świecić przez 3 sekundy wskazując pomyślne dokonanie odczytu temperatury. Sygnał dźwiękowy potwierdzi wykonanie pomiaru a jego wynik ukarze się na ekranie wyświetlacza. Wskazany wynik należy odczytać z wyświetlacza i wpisać na karcie pomiarowej. Pomiary należy powtarzać co 30 min przez całą zmianę roboczą.



Rys. 6.19. Termometr douszny BRAUN ThermoScan 7 IRT6520.

4. Pomiar temperatury skóry.

Do pomiaru temperatury skóry pracownika w warunkach dołowych w wybranych punktach pomiarowych zgodnie z normą PN-ISO 9886:2005 wykorzystano cyfrowy termometr PeakTech 4960 z sondą IR (Rys.6.20) pozwalający mierzyć temperaturę obiektów stałych i będących w ruchu w zakresie od -50 do +1200 °C z dokładnością $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Termometr umożliwia także odniesienie w czasie pomiędzy maksymalną, minimalną oraz średnią wartością pomiaru. Dzięki oprogramowaniu ENV-Tol termometr pozwala także na tworzenie i ilustrowanie wyników badań i pomiarów.

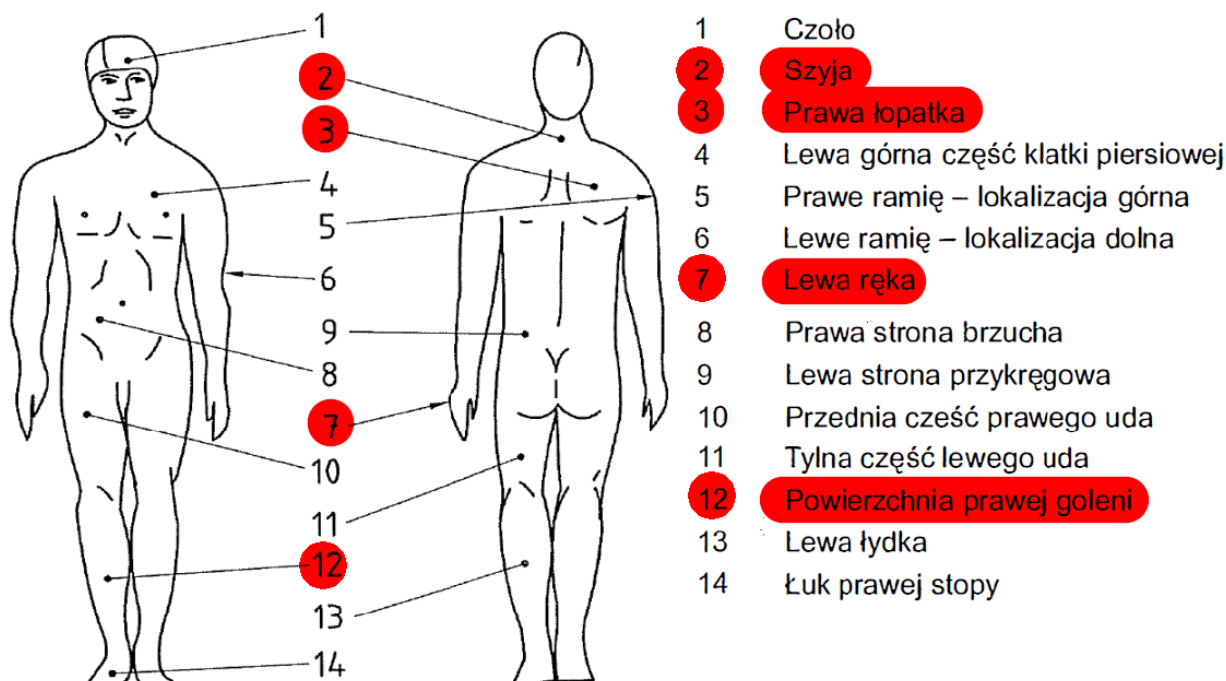


Rys. 6.20. Termometr na podczerwień PeakTech 4960 z sondą IR i oprogramowaniem ENV-Tol.

Metodyka pomiaru.

Przed wykonaniem pomiaru temperatury należy ustalić zgodnie z normą PN-ISO 9886:2005 na ciele pracownika cztery punkty pomiarowe zlokalizowane na tylnej części szyi, lewej ręce i powierzchni prawej goleni (Rys. 6.21).

Następnie należy skierować termometr kolejno w stronę wyznaczonych punktów pomiarowych za pomocą wiązki lasera z odległości około 1m i dokonać pomiaru w czasie od 1-2 sekund. Wynik pomiaru należy odczytać z wyświetlacza termometru i zanotować na karcie pomiarowej lub zapisać w pamięci termometru. Po wykonaniu wszystkich czterech pomiarów należy określić średnią temperaturę skóry na podstawie lokalnych temperatur mierzonych w 4 wyznaczonych wcześniej miejscach ciała skorygowaną o współczynniki 0,28 dla szyi, prawej łopatki, powierzchni prawej goleni oraz o 0,16 dla lewej ręki. Serie pomiarowe należy powtarzać co 30 min przez całą zmianę roboczą.



Rys. 6.21. Lokalizacja miejsc pomiarowych

5. Pomiar częstości skurczów serca, HR

Do pomiaru częstości skurczów serca w warunkach dołowych wykorzystano pas z rejestratorem tętna Suunto Memory Belt ze stacją dokującą. (Rys. 6.21), umożliwiający ciągły pomiar i zapis częstości skurczów serca w pamięci rejestratora przez cały okres trwania zmiany roboczej. Po zakończeniu pracy po przez stację dokującą dane z rejestratora przegrywane były na dysk twardy komputera.

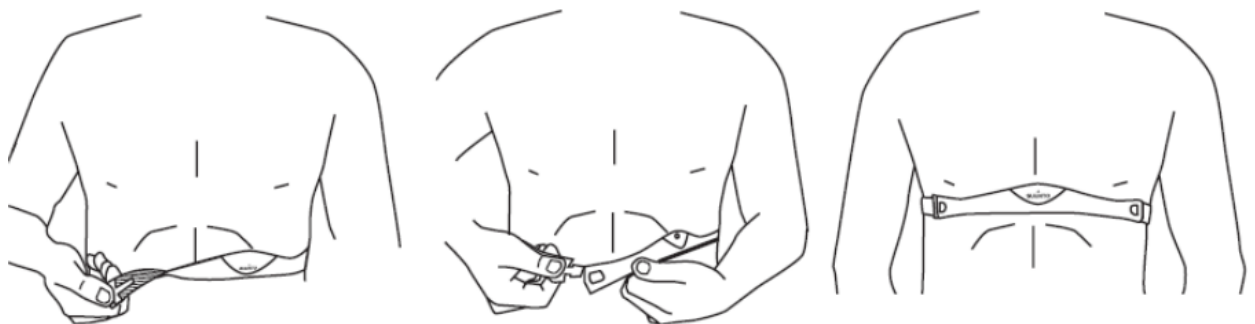


Rys. 6.22. Rejestrator tętna Suunto Memory Belt

Metodyka pomiaru.

Aby uzyskać optymalne rezultaty podczas korzystania z Suunto Memory Belt, należy koniecznie prawidłowo założyć pas z nadajnikiem, zgodnie z następującą procedurą (Rys. 6.22):

1. Załóż pas Suunto Memory Belt i upewnij się, że jest prawidłowo ułożony na korpuse.
2. Upewnij się, że elektrody na wewnętrznej stronie pasa z nadajnikiem są nieznacznie zwilżone.



Rys. 6.23. Prawidłowy sposób zakładania pasa Suunto Memory Belt

Po prawidłowo założeniu pasa Suunto Memory Belt jest automatycznie uaktywniony i przełączany do trybu rejestrowania danych z chwilą wykrycia tętna pracownika co jest sygnalizowane po ok. 5 sekundach przez sygnał dźwiękowy i migający zielony wskaźnik. Po uaktywnieniu zielony wskaźnik miga co 4 sekundy, sygnalizując rozpoczęcie pomiarów i rejestrowania tętna. Jeżeli sygnał dźwiękowy i wskaźnik nie zostanie włączony po założeniu pasa Suunto Memory Belt, należy upewnić się, że pas jest założony prawidłowo, a elektrody są zwilżone. Jeżeli miga pomarańczowy lub czerwony wskaźnik, pamięć jest prawie wypełniona lub bateria jest prawie rozładowana. Aby uzyskać więcej informacji, zobacz rozdz. 4. Po zakończeniu treningu i zdjęciu pasa Suunto Memory Belt generowane są 2 długie sygnały dźwiękowe, a zielony wskaźnik miga długo 2 razy. Oznacza to, że nie odebrano danych przez 30 sekund. Po 60 sekundach

rejestrowanie i nadawanie jest przerywane, a urządzenie jest przełączane do stanu wstrzymania. Jest to sygnalizowane przez 3 krótkie sygnały dźwiękowe, a zielony wskaźnik miga krótko 3 razy. Pomiar częstości skurczów serca pracownika odbywał się od momentu założenia rejestratora na klatkę piersiową badanego górnika przed zjazdem na dół, do momentu jego zdjęcia po wyjeździe na powierzchnię. W następnej kolejności dane z rejestratora przegrywane są na komputer.

6. Pomiar ciśnienia tętniczego.

Do pomiaru ciśnienia tętniczego w warunkach dołowych wykorzystano automatyczny ciśnieniomierz ramieniowy Omron HEM-7155-E, (Rys. 6.23), który wykorzystuje oscylometryczną metodą pomiaru ciśnienia krwi polegającą na wykrywaniu ruchu krwi w tętnicy ramiennej i przekształcaniu go w odczyt cyfrowy. Zakres pomiarowy ciśnienia wynosi od 0 do 288mmHg z dokładnością pomiarową ± 3 mmHg, ciśnieniomierz pozwala także na pomiar tętna w zakresie 0d 40 do 180 uderzeń. Ciśnieniomierz zasilany jest przez 4 baterie AA 1,5V umożliwiające wykonanie około 1000 pomiarów. Ciśnieniomierz może pracować warunkach od +10 do +40 °C.



Rys. 6.24. Ciśnieniomierz ramieniowy Omron HEM-7155-E

Metodyka pomiaru.

Pomiar ciśnienia tętniczego powinien odbywać się w pozycji siedzącej, po krótkotrwałym ok. 5 minutowym wypoczynku. Na lewe ramię pracownika należy założyć mankiety uciskowy tak aby koniec mankietu wyposażony przewód powietrza znajdował się po wewnętrznej stronie ramienia 1-2cm powyżej zgięcia w stawie łokciowym na wysokości serca. Stopy badanego powinny być

płasko ułożone na podłożu, nogi nie powinny być skrzyżowane. Pracownik powinien siedzieć spokojnie, bez ruchu podczas całego badania. Po dociśnięciu mankietu należy włączyć przycisk start/stop uruchamiających proces pomiaru ciśnienia i jego automatyczny zapis. Po około 10 sekundach na wyświetlaczu ciśnieniomierza można odczytać wskazanie ciśnienia skurczowego SYS i ciśnienia rozkurczowego DIN wyrażone w mmHg. Oprócz ciśnienia tętniczego na wyświetlaczu ciśnieniomierza można odczytać również wartość tętna. Ciśnieniomierz umożliwia również zapisanie w pamięci urządzenia wskazanych wartości pomiarowych. Po zakończeniu badania należy zdjąć mankiety uciskowe. Badanie w warunkach dołowych należy wykonywać co 30 minut przez cały okres trwania zmiany roboczej.

7. Pomiar liczby oddechów.

Pomiar oddechu w warunkach dołowych polega na policzeniu liczby oddechów w czasie 1 min u badanego pracownika w spoczynku, przez obserwację ruchów klatki piersiowej lub położenie ręki na klatce piersiowej. W naturalnych warunkach fizjologicznych u osoby dorosłej liczba oddechów wynosi 16-20 na min.

Metodyka pomiaru.

Przy pomiarze liczby oddechów pracownika w pierwszej kolejności należy umieścić w pozycji siedzącej. Następnie osoba przeprowadzająca badanie powinna ułożyć rękę na nadgarstku pracownika – tak jak do badania tętna i dyskretnie obserwować ruchy klatki piersiowej. Jeśli zachodzi taka potrzeba można położyć rękę na klatce piersiowej lub brzuchu pracownika, jeśli to konieczne. Przez 1 minutę badania odliczaną na stoperze lub zegarku należy zliczać ruchy klatki piersiowej w fazie wdechu, obserwując przy tym czy w trakcie badania nie występują jakieś trudności lub zaburzenia w oddychaniu. Wynik badania należy wpisać na karcie pomiarowej, a badanie powtórzyć co 30 min. przez cały czas trwania zmiany roboczej.

6.3.2. Oszacowanie ryzyka zawodowego związanego z zagrożeniem klimatycznym na stanowiskach pracy oddziału G-1 w oparciu o zmierzone parametry fizjologiczne pracownika.

Celem realizacji tego etapu badań było określenie obciążenia termicznego pracowników na podstawie parametrów fizjologicznych zgodnie z normą PN-EN – ISO 9886:2005 oraz określenie wydolności fizycznej badanych osób zatrudnionych na stanowiskach pracy oddziału G-1 kopalni X.. Badania przeprowadzono w oparciu o metodykę przedstawioną w rozdziale 6.3.1. wśród 25

pracowników zatrudnionych na wszystkich 10 stanowiskach pracy w rejonie ściany 146 w pokładzie 414/2

Analizą objęto tylko tych pracowników, którzy wyrazili na to zgodę i u których na podstawie wywiadu medycznego:

- nie stwierdzono dolegliwości zdrowotnych,
- nie znajdowali się pod wpływem leków,
- zadeklarowali dobre samopoczucie,
- zadeklarowali iż stronią od używek mogących wpłynąć na wynik badania.

Czas trwania prowadzonych pomiarów fizjologicznych był zgodny z średnim czasem trwania poszczególnych etapów procesu pracy na wszystkich stanowiskach w oddziale G-1 przedstawionych w Tabeli 6.3.

Pracownik w trakcie badań w każdej chwili mógł zrezygnować z udziału w badaniu, a osoba nadzorująca przebieg badań miała obowiązek poinformować pracownika o ewentualnych niepokojących sytuacjach zdrowotnych i w razie zagrożenia odsunąć pracownika od dalszego udziału w teście. Pracownicy biorący udział w badaniach fizjologicznych przez cały okres trwania zmiany wykonywali prace w standardowych ubraniach roboczych składające się z szortów, podkoszulka, koszuli flanelowej bluzy spodni i onuc. Ubrania bez butów były ważone przed rozpoczęciem pracy i po jej zakończeniu. Pracowników poproszono również w miarę możliwości o powstrzymanie się od przyjmowania napojów. Charakterystykę grupy górników objętych analizą przedstawiono w Tabeli 6.16, w której uwzględniono również:

- graniczną wartość częstości skurczów serca dla poszczególnych pracowników, wyznaczona na podstawie na PN-EN – ISO 9886:2005 [242] z zależności (6.2):

$$HR_L = 185 - 0,65 \cdot age , \quad (6.2)$$

gdzie:

age - wiek osoby, w latach

Tabela 6.16. Charakterystyka podstawowych parametrów fizjologicznych wybranych pracowników oddziału G-1.

Stanowisko	Numer badanego	Wiek	Wzrost	Waga	Graniczna wartość częstości skurczów serca, HR _L	Powierzchnia ciała człowieka, A _{Du}	Wskaźnik BMI	
							wartość	opis
							[kg/m ²]	-
Przodowy ściany	1	40	1,74	69,1	159	1,83	22,82	prawidłowa
	2	42	1,78	94,5	158	2,16	29,83	nadwaga
Kombajnista ścianowy	3	39	1,8	92,3	160	2,15	28,49	nadwaga
	4	37	1,76	85,5	161	2,04	27,60	nadwaga
Obserwator układaka	5	34	1,78	80	163	1,99	25,25	nadwaga
	6	35	1,81	79,6	162	2,00	24,30	prawidłowa
Sekcyjny	7	38	1,72	90,3	160	2,08	30,52	otyłość
	8	40	1,75	84,8	159	2,03	27,69	nadwaga
	9	32	1,7	68,7	164	1,80	23,77	prawidłowa
Górnik ścianowy we wnęce dolnej	10	43	1,72	81,3	157	1,97	27,48	nadwaga
	11	44	1,65	77,2	156	1,88	28,36	nadwaga
	12	39	1,76	82,4	160	2,01	26,60	nadwaga
Górnik ścianowy we wnęce górnej	13	40	1,77	80,9	159	1,99	25,82	nadwaga
	14	35	1,7	70,4	162	1,82	24,36	prawidłowa
	15	38	1,74	82,6	160	2,00	27,28	nadwaga
Operator przenośnika nadścianowego	16	36	1,7	83,1	162	1,98	28,75	nadwaga
	17	40	1,72	89,2	159	2,06	30,15	otyłość
Operator przenośnika taśmowego	18	38	1,68	76,3	160	1,89	27,03	nadwaga
	19	29	1,69	71,1	166	1,83	24,89	prawidłowa
	20	35	1,79	71,8	162	1,89	22,41	prawidłowa
Górnik przy transporcie	21	27	1,73	74,6	167	1,89	24,93	prawidłowa
	22	31	1,84	92,3	165	2,17	27,26	nadwaga
	23	28	1,76	88,2	167	2,08	28,47	nadwaga
Osoba dozoru	24	42	1,78	90,6	158	2,12	28,59	nadwaga
	25	41	1,82	101,4	158	2,26	30,61	otyłość

- powierzchnię ciała A_{Du} człowieka obliczaną na podstawie równania zaproponowanego przez Mostellera [246] z zależności (6.3):

$$A_{Du} = \sqrt{\frac{l \cdot m}{3600}}, \text{ m}^2 \quad (6.3)$$

gdzie:

m – masa ciała, kg,

l – wzrost, cm.

- wskaźnik masy ciała BMI człowieka obliczany na podstawie równania zaproponowanego przez Adolfa Queteleta [244] z zależności (6.4), którego wartość

mieszcząca się w odpowiednim przedziale wskazuje na możliwość występowania różnych dolegliwości chorobowych (Tabela 6.17)

$$BMI = \frac{masa}{wys.ciała^2}, [kg/m^2] \quad (6.4)$$

Tabela 6.17. Klasyfikacja masy ciała osób dorosłych na podstawie BMI

Kategoria	BMI (kg/m ²)	Waga ciała	Ryzyko chorób towarzyszących otyłości
wyglądzenia	< 16,0	niedowaga	minimalne, ale zwiększony poziom występowania innych problemów zdrowotnych
wychudzenie	16,0 - 16,99		
niedowaga	17,0 - 18,49		
prawidłowa masa ciała	18,5 - 24,99	optimum	minimalne
nadwaga	25,0 - 29,99	nadwaga	średnie
otyłość I stopnia	30,0 - 34,99	otyłość	wysokie
otyłość II stopnia (duża)	35,0 - 39,99		bardzo wysokie
otyłość III stopnia (chorobliwa)	≥ 40		ekstremalny poziom ryzyka

W prezentowanym zestawieniu wyników w Tabelach (6.18-6.22) pominięto górników którzy zrezygnowali z badań lub zostali odsunięci od testów fizjologicznych w czasie pracy przez osobę nadzorującą ich przebieg. Ostatecznie w pełnych badaniach fizjologicznych udział wzięło: 2 przodowych, 2 kombajnistów, 2 obserwatorów, 3 sekcyjnych, po 3 pracowników dolnej i górnej wnęki kombajnowej, 2 operatorów przenośnika nadścianowego, 3 operatorów przenośników taśmowych, 3 górników zatrudnionych przy transporcie maszynowym i ręcznym oraz 2 osoby dozoru.

Ocena obciążenia termicznego na podstawie temperatury wewnętrznej ciała (t_{cr}).

Termin temperatura wewnętrznej odnosi się do wszystkich tkanek znajdujących się na wystarczającej głębokości, aby nie miał na niego wpływu gradient temperatury przez tkankę powierzchniową. Możliwe są jednak różnice temperatur w obrębie rdzenia w zależności od lokalnego metabolizmu, koncentracji sieci naczyniowych i lokalnych zmian w przepływie krwi. Temperatura rdzenia nie jest więc pojęciem unikalnym i jako taka jest mierzalna. Temperaturę tę można przybliżyć poprzez pomiar temperatury w różnych punktach ciała:

- przełyk: temperatura w przełyku t_{es} ,
- odbytnica: temperatura w odbytnicy t_{re} ,
- przewód pokarmowy: temperatura śródbrzuszna t_{ab} ,
- jama ustna: temperatura w jamie ustnej t_{or} ,
- błona bębenkowa: temperatura błony bębenkowej t_{ty} ,

- przewod słuchowy: temperatura przewodu słuchowego t_{ac} ,
- temperatura moczu t_{ur} .

Warunkach dołowych pomiar temperatury wewnętrznej ciała pracownika (Tabela 6.18) przeprowadzono w oparciu o temperatury błony bębenkowej t_{ty} na podstawie której wyznaczono również przyrost temperatury na poszczególnych stanowiskach pracy podczas całej zmiany roboczej. Wartość temperatury wewnętrznej mierzonej przed zjazdem na powierzchni w zależności od pracownika wahała się w granicach 36,4 - 37,2°C. Jej istotny wzrost na poszczególnych stanowiskach pracy związany był bezpośrednio z procesem produkcyjnym oraz lokalizacja stanowiska pracy w strefie o trudniejszych warunkach klimatycznych, gdzie przyrost temperatury wewnętrznej następował wcześniej, najczęściej już w połowie procesu produkcyjnego. Przykładem mogą tu być stanowiska: sekcyjnego (nr. badanego 7), gdzie temperatura wewnętrzna pracownika przekroczyła 38°C (przyrost 1,6°C) w 3 godzinie pracy, operatora przenośnika nadścianowego (nr

Tabela. 6.18. Przyrost temperatury ciała w badanej grupie pracowników oddziału G-1 kopalni X

Stanowisko	Numer badanego	Przyrost temperatury wewnętrznej ciała t_{cr} , [°C]													Średni przyrost temp. wew.	Poziom ryzyka fizjologicznego
		Zjazd, dojście do miejsca pracy			Proces produkcyjny									Wyjście z miejsca pracy wyjazd		
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360		
Przodowy ściany	1	36,6	36,4	36,8	37,0	37,1	37,3	37,4	37,6	37,6	37,8	37,7	37,4	36,9	1,2	duże
	2	36,8	36,6	36,7	36,8	37,0	37,2	37,6	37,6	38,0	38,0	38,4	37,8	37,0	1,6	
Kombajnista ścianowy	3	36,9	36,6	36,8	37,0	37,2	37,6	37,8	38,3	38,3	38,5	38,0	37,4	36,9	1,6	duże
	4	36,4	36,4	36,5	37,2	37,4	37,8	37,8	38,0	38,0	38,1	38,2	37,8	36,8	1,8	
Obserwator układaka	5	36,6	36,4	36,4	36,5	36,8	37,0	37,4	37,4	37,6	37,8	37,6	37,4	36,6	1,2	duże
	6	36,5	36,4	36,6	36,6	36,8	37,2	37,6	37,6	37,9	38,0	38,2	37,5	36,8	1,7	
Sekcyjny	7	36,8	36,8	37,2	37,4	38,0	38,0	38,4	38,6	38,8	39,0	39,4	38,6	37,2	2,6	duże
	8	36,8	36,6	36,8	36,8	37,4	37,6	37,6	38,0	38,4	38,4	38,8	38,0	37,0	2,0	
	9	36,4	36,4	36,4	36,6	37,0	37,2	37,4	37,8	37,8	38,0	37,8	37,4	36,6	1,6	
Górnik ścianowy we wnęce dolnej	10	36,6	36,6	36,6	36,7	36,7	37,0	37,0	37,4	37,4	37,6	37,4	37,0	36,5	1,0	średnie
	11	36,8	36,5	36,7	36,7	36,9	36,9	37,2	37,2	37,6	37,9	37,4	37,2	36,8	1,1	
	12	36,8	36,6	36,6	36,8	36,8	37,0	37,1	37,4	37,5	37,8	37,6	37,1	36,7	1,0	
Górnik ścianowy we wnęce górnej	13	36,6	36,5	36,6	36,6	36,8	37,2	37,6	37,6	38,0	38,2	38,6	38,0	37,2	2,0	duże
	14	36,4	36,4	36,6	36,6	37,0	37,2	37,8	37,8	38,2	38,2	38,4	37,8	37,0	2,0	
	15	36,5	36,5	36,6	36,8	37,2	37,4	37,8	38,2	38,3	38,3	38,5	38,0	37,2	2,0	
Operator przenośnika nadścianowego	16	36,6	36,6	36,6	36,8	37,4	37,6	37,6	38,2	38,2	38,6	38,6	38,8	37,8	2,2	duże
	17	37,0	37,0	37,2	37,2	37,4	37,8	37,8	38,4	38,4	38,8	39,0	39,4	38,0	2,4	
Operator przenośnika taśmowego	18	36,7	36,5	36,7	36,8	37,2	37,2	37,5	38,0	38,6	38,8	38,2	37,8	37,0	2,1	duże
	19	36,5	36,4	36,6	36,6	37,0	37,0	37,5	37,5	37,8	38,0	37,6	37,2	36,7	1,5	
	20	36,6	36,6	36,8	36,8	37,2	37,2	37,8	37,8	38,2	38,2	38,2	38,6	37,6	2,0	
Górnik przy transporcie	21	37,2	37,0	37,0	37,2	37,2	37,4	37,4	37,4	37,4	37,6	37,6	37,4	37,2	0,4	małe
	22	36,4	36,4	36,4	36,5	36,5	36,6	36,6	36,8	36,8	37,0	36,8	36,6	36,4	0,6	
	23	36,6	36,5	36,6	36,6	36,8	36,8	37,0	37,0	37,2	37,6	37,4	37,0	36,6	1,0	
Osoba dozoru	24	36,8	36,8	36,8	37,0	37,2	37,4	37,6	37,6	37,8	38,0	38,2	38,4	37,6	1,6	duże
	25	36,4	36,4	36,6	36,8	36,8	37,4	37,8	38,1	38,4	38,6	38,8	39,0	38,0	2,6	

badanego 17) i osoby dozoru (nr. badanego 25) gdzie temperatura wewnętrzna 38°C została przekroczona po 3,5 godzinach pracy. Faktem jest że osoby te pracowały w rejonie o najtrudniejszych warunkach klimatycznych gdzie średnia temperatura mierzona termometrem suchym wynosiła 29,8°C, a intensywność chłodzenia to zaledwie 9,3 katastopnia ale przyrosty temperatury wewnętrznej i tak są znaczące. W sumie wartość temperatury wewnętrznej przekraczającej 38°C przekroczona została na 14 z 25 stanowisk pracy, a wartość temperatury wewnętrznej przekraczającej 39°C na stanowiskach pracy: sekcyjnego, operatora przenośnika nadścianowego i osoby dozoru, gdzie przyrost temperatury wewnętrznej w ciągu całej zmiany roboczej wyniósł ponad 2,4°C. Jak pokazuje analiza pozostałych parametrów fizjologicznych tych pracowników nie wątpliwie w pływ na taki przyrost temperatury wewnętrznej poza parametrami fizycznymi środowiska miała również znaczna nadwaga i otyłość badanych osób. Biorąc pod uwagę zmieniające się parametry temperatury wewnętrznej organizmu człowieka na poszczególnych stanowiskach pracy oddziału G-1 kopalni X oraz jej przyrost należy stwierdzić iż dyskomfort cieplny i zagrożenie klimatyczne występuje na 8 z 10 badanych stanowisk pracy w rejonie ściany 146 albowiem w przypadku powolnego magazynowania ciepła (tj. wzrostu o około 1 °C w ciągu ponad 1 godziny) wartość graniczna zgodnie z normą PN-EN – ISO 9886:2005 musi być ustalona na poziomie wzrostu o 1,0°C lub 38,0 °C, w zależności od tego, co nastąpi wcześniej, i nie powinna przekraczać temperatury 39 °C.

6.3.2.1. Ocena obciążenia termicznego na podstawie temperatury skóry (t_{sk}).

Temperatura skóry różni się znacznie na powierzchni ciała, a zwłaszcza w niskich temperaturach. Z tego powodu należy dokonać rozróżnienia między:

- miejscową temperaturę skóry (t_{sk-1}) mierzona w określonym punkcie powierzchni ciała, oraz
- Średnia temperatura skóry (t_{sk}) na całej powierzchni ciała, której nie można łatwo zmierzyć bezpośrednio, ale można ją oszacować, ważąc zespół szeregu lokalnych temperatur skóry zgodnie z obszarem, który charakteryzują.

Wartość t_{sk} nie daje możliwości oceny cieplnego obciążenia fizjologicznego. Stanowi ona jednak ważne kryterium przy szacowaniu komfortu cieplnego.

Na temperaturę skóry wpływają takie czynniki jak:

- a) wymiany cieplna przez przewodnictwo, konwekcję, promieniowanie i parowanie na powierzchni skóry;
- b) miana skórny przepływu krwi i temperatury krwi tętniczej docierającej do określonych części ciała

Na zmiany temperatury powietrza otoczenia, promieniowania i prędkości ruchu powietrza w suchych środowiskach, temperatura skóry reaguje ze stałą czasową około 3 min. W związku z powyższym zgodnie z tymi kryteriami, w gorącym środowisku, maksymalna miejscowa temperatura skóry nie powinna przekraczać 43 °C, a w warunkach zimna minimalna miejscowa temperatura skóry nie powinna być niższa niż 15 °C w szczególności dla kończyn, twarzy oraz palców rąk i nóg.

Przeprowadzone pomiary temperatury skóry w warunkach dołowych na poszczególnych stanowiskach oddziału G- 1 (Tabela 6.19) wykazały iż średnia temperatura skóry pracowników badana przed zjazdem była średnio od 0,2 (nr. badanego 10) do 08 (nr. badanego 17, 24 i 25) niższa od temperatury wewnętrznej organizmu pracownika. Temperatura skóry pracowników była również bardzo podatna na wahania temperatury otoczenia zewnętrznego już bezpośrednio pod zjeździe kiedy pracownicy w wyrobiskach górniczych w czasie dojazdu i dojścia na stanowiska pracy stykali się z dużym wydatkiem chłodniejszego powietrza włączanego z powierzchni do wyrobisk górniczych temperatura skóry pracowników mierzona w czterech punktach pomiarowych spadała od 0,6 do 1,3°C w pierwszych 30 minutach pracy czyli jeszcze przed dotarciem na właściwe stanowisko pracy. Istotny wzrost temperatury skóry można zaobserwować u pracowników zatrudnionych w rejonie ściany 146 w pokładzie 414/2 w trzeciej godzinie pracy na początku wzrosty powyżej 39°C można zaobserwować u pracowników na wylocie ze ściany i powierzchni 14/7a gdzie skóra człowieka styka się z gorącym zużytym powietrzem wylotowym ze ściany. Najmniejsze różnice wzrostu temperatury skóry odnotowywane są u pracowników zatrudnionych w dolnej wnęce kombajnowej pracujących w wylotowym strumieniu powietrza wypływającego z urządzenia chłodniczego TS-350/1, oraz u pracowników zatrudnionych przy transporcie choć u tych ostatnich wyraźnie widać cykliczny wzrost temperatury skóry powiązany z większym wydatkiem energetycznym związanym z ręcznym załadunkiem i rozładunkiem transportowanego materiału. Maksymalny przyrost temperatury na stanowiskach górnika transportowego (nr. badanego 21, 22, 23) nie przekroczył jednak 2°C. Maksymalne wzrosty temperatury skóry przekraczające 5°C odnotowani na stanowisku sekcyjnych (nr. badanego 7, 8) i operatora przenośnika nadścianowego (nr. badanego 16, 17) gdzie oprócz wysokiej temperatury otoczenia przepływ powietrza przez stanowisko był najmniejszy. W związku z pomiarami temperatury skóry na uwagę zasługuje również fakt, iż największy gwałtowny jej spadek wynoszący od 0,6 do 3,0°C następował w drodze powrotnej z miejsca pracy, kiedy rozgrzana skóra pracownika stykała się z chłodnymi masami powietrza na przekopach głównych i pod szybem. Stan ten można nazwać szokiem termicznym, który w przeciwieństwie do stopniowego przyrostu temperatury skóry w czasie pracy nie odczuwalnego dla pracownika u większości pracowników wywoływał reakcje obronne organizmu – odczucie chłodu i dreszcze.

Tabela. 6.19. Przyrost temperatury skóry w badanej grupie pracowników oddziału G-1 kopalni X

Stanowisko	Numer badanego	Przyrost temperatury skóry t_{sk} [°C]													Średni przyrost temper. skóry.	Poziom ryzyka fizjologicznego
		Zjazd, dojeżdżenie do miejsca pracy			Proces produkcyjny									Wyjście z miejsca pracy wyjazd		
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360		
Przodowy ściany	1	37,2	36,2	36,8	37,0	37,5	38,4	38,6	38,8	38,8	40,2	39,2	38,4	37,4	3,0	duże
	2	37,4	36,8	36,7	37,2	37,6	37,8	38,4	39,0	39,4	41,0	40,6	39,0	37,6	3,6	
Kombajnista ścianowy	3	37,2	36	36,8	37,4	37,8	38,4	39,0	39,5	40,3	40,5	40,7	39,2	37,5	3,5	duże
	4	36,8	36	36,5	37,2	37,6	37,8	38,2	38,6	39,0	39,4	40,8	39,0	37,2	4,0	
Obserwator układaka	5	37	36,1	36,4	37,0	37,4	38,0	38,6	39,0	39,6	39,8	39,2	38,6	37,2	2,8	duże
	6	37,2	36,2	37,0	37,4	38,0	38,6	39,0	39,5	40,0	40,5	40,9	37,5	36,8	3,7	
Sekcyjny	7	37,6	36,8	37,4	37,6	38,2	38,6	39,8	41,0	41,8	42,3	43,4	41,8	38,2	5,8	duże
	8	37,4	36,4	37,2	37,8	38,2	38,5	39,0	39,6	40,5	41,2	42,5	41,0	37,8	5,1	
	9	36,8	36	36,6	36,8	37,1	37,3	37,9	38,4	39,2	40,3	39,8	39,0	37,2	3,5	
Górnicy ścianowy we wnęce dolnej	10	36,8	36,1	36,8	37,2	37,2	38,0	38,0	38,4	38,6	39,0	38,4	37,8	37,0	2,2	średnie
	11	37,2	36,4	37,0	37,6	37,6	38,0	38,4	39,0	39,5	39,7	39,2	38,4	37,6	2,5	
	12	37,4	36,1	36,8	37,0	37,4	37,6	38,2	38,4	39,2	39,6	39,0	38,2	37,4	2,2	
Górnicy ścianowy we wnęce górnej	13	37	36,2	37,2	37,8	38,4	38,6	39,2	39,4	40,2	40,6	41,8	39,6	38,2	4,8	duże
	14	36,9	36,5	37,2	37,8	38,2	38,4	39,6	39,8	41,0	41,6	42,1	40,8	38,4	5,2	
	15	37	36,2	37,0	37,4	38,2	38,6	39,2	40,3	40,5	41,3	41,9	40,6	38,0	4,9	
Operator przenośnika nadścianowego	16	37,2	36	37,0	37,6	37,8	38,4	38,8	39,0	39,2	40,0	42,1	42,8	38,6	5,6	duże
	17	37,6	37,2	37,6	38,0	38,8	39,6	39,8	41,0	42,0	42,2	43,6	42,9	39,0	6,0	
Operator przenośnika taśmowego	18	37,4	36,6	37,8	38,2	39,0	39,8	41,0	41,4	42,0	42,7	41,8	39,8	38,2	5,3	duże
	19	37,2	36,2	36,6	36,6	37,0	37,0	37,5	37,5	37,8	40,4	39,8	39,0	37,6	3,2	
	20	37	36,4	37,2	37,8	38,4	38,8	39,4	39,8	40,6	40,6	41,4	41,8	38,6	4,8	
Górnicy przy transporcie	21	37,2	36,4	36,8	37,2	37,2	37,6	37,6	37,8	38,6	38,4	38,0	37,8	37,2	1,4	małe
	22	36,8	36,2	36,6	36,8	37,0	37,0	37,4	37,6	38,7	38,6	38,2	37,8	37,0	1,9	
	23	37	36	36,8	37,2	37,8	38,0	38,6	38,6	39,0	39,2	38,6	38,2	37,6	2,2	
Osoba dozoru	24	37,6	36,8	37,4	37,8	38,0	38,4	39,6	40,0	41,4	41,6	40,8	39,4	38,2	4,0	duże
	25	37,2	36,6	37,4	38,0	38,8	39,4	39,6	41,2	41,8	43,0	43,6	41,8	38,8	6,4	

6.3.2.2. Ocena obciążenia termicznego na podstawie częstości skurczów serca (HR).

Częstość skurczów serca HR, w przedziale czasowym $\Delta\tau$ (w minutach) jest określana następująco (6.5):

$$HR = n/\Delta\tau, \text{ ud/min} , \quad (6.5)$$

gdzie:

n - liczba skurczów serca obserwowanych w przedziale czasowym $\Delta\tau$.

HR wyraża liczbę uderzeń na minutę (ud/min). Wartość ta jest zwykle wyznaczana dla jednominutowych przedziałów czasowych W danym czasie, częstość skurczów serca jest sumą kilku niezależnych od siebie składników (6.6):

$$HR = HR_0 + \Delta HR_M + \Delta HR_S + \Delta HR_T + \Delta HR_N + \Delta HR_E, \text{ ud/min} , \quad (6.6)$$

gdzie:

HR_0 - średnia częstość skurczów serca badanej osoby w spoczynku, podczas siedzenia w warunkach neutralnych, to znaczy, gdy tempo metabolizmu jest równe 58 W/m^2 , ud/min,

ΔHR_M - wzrost częstości skurczów serca związany z metabolizmem pracy, ud/min,

ΔHR_S - wzrost związany z wysiłkiem statycznym, ud/min,

ΔHR_T - składnik związany z obciążeniem cieplnym doświadczanym przez badaną osobę, ud/min,

ΔHR_N - składnik spowodowany czynnikami psychicznymi; występowanie tego składnika jest często obserwowane u osób badanych w spoczynku, ma tendencję do zanikania podczas wysiłku, ud/min,

ΔHR_E - składnik związany z rytmem oddychania, rytmem okołodobowym, itp.; składnik oddechowy zanika w znacznym zakresie, gdy obliczenie HR jest dokonywane dla okresu 30 s lub większego, gdy składnik okołodobowy może być tu pominięty, ud/min.

W konkretnej sytuacji pracy składnik ΔHR_T może być oceniany tylko wtedy, gdy była mierzona częstość skurczów serca w spoczynku HR_0 i jeśli inne składniki, wymienione wyżej, mogą być pominięte.

Gdy praca mięśniowa zostaje przerwana, częstość skurczów serca zaczyna się gwałtownie zmniejszać. Po kilku minutach składniki ΔHR_M i ΔHR_S spowodowane pracą prawie zanikają, pozostawiając tylko składnik pochodzenia termicznego ΔHR_T . Tendencja zmniejszenia częstości skurczów serca wykazuje więc załamanie po pewnym okresie restytucji, wobec tego składnik termiczny w końcowym okresie pracy może być oceniony jako:

$$\Delta HRT = HR_r - HR_0, \quad \text{ud/min}, \quad (6.7)$$

gdzie:

HR_r – częstość rejestrowana w czasie załamania tendencji spadkowej częstości skurczów serca w okresie restytucji, ud/min.

Czas restytucji do załamania krzywej wynosi średnio 4 min. Może być dłuższy, jeśli tempo metabolizmu podczas poprzedniego okresu przerwy było bardzo duże. Tak więc, niezbędne jest mierzenie HR także co 30 s lub ciągle podczas pierwszych minut okresu restytucji i bezpośrednie obserwowanie punktu załamania się tendencji zmniejszania HR.

Zwiększenie częstości skurczów serca pochodzenia termicznego ΔHR_T jest bardzo silnie związane ze wzrostem t_{cr} . Wzrost HR przy przyroście t_{cr} o 1°C jest nazywany ciepłą reaktywnością sercową i jest wyrażany liczbą uderzeń serca na minutę na stopień Celsjusza (ud/min/ $^\circ\text{C}$). Międzyosobnicze różnice reaktywności cieplnej są bardzo ważne. Nawet dla tej samej osoby wielkość ta zmienia się zgodnie z rodzajem wykonywanego wysiłku (a więc ilością zaangażowanych grup mięśniowych) i w zależności od tego, czy stres cieplny jest egzogenny (z powodu klimatu), czy endogenny (zasadniczo spowodowany metabolizmem). W interpretacji należy wziąć te czynniki pod uwagę [189].

Wzrost częstości akcji serca spowodowany obciążeniem termicznym ΔHR_T wynosi średnio 33 uderzenia min^{-1} na stopień wzrostu temperatury rdzenia ciała.

Jednak ta termiczna reaktywność serca różni się znacznie w zależności od osoby. Dlatego w przypadku, gdy HR jest jedynym monitorowanym parametrem fizjologicznym, rozsądne jest ustalenie górnej granicy dla składowej ΔHR_T na około 33 uderzenia $\cdot \text{min}^{-1}$.

W sytuacjach, w których odkształcenie termiczne może być bardzo wysokie (zgodnie z przewidywaniami metody opisanej w ISO 7933), konieczny jest towarzyszący pomiar temperatury t_{cr} . Ponadto zastosowany system powinien umożliwiać monitorowanie tętna w czasie rzeczywistym podczas ekspozycji.

Współczynnik HR na stanowisku pracy nie powinien przekraczać maksymalnej wartości osoby pomniejszonej o około 20 uderzeń min^{-1} . Najlepiej byłoby to ustalić za pomocą indywidualnego testu. Jeśli nie jest to możliwe, można to przewidzieć za pomocą przyjętego w pracy parametru obliczonego HR_L (wzór 6.2). Zgodnie z maksymalną granicą 39°C ustaloną dla temperatury wewnętrznej ciała pracownika, maksymalną granicę wzrostu tętna pochodzenia termicznego można ustawić na 60 uderzeń min^{-1} [242].

Znając wartości szczytowe tętna pracownika w poszczególnych interwałach czasowych w oparciu o normę PN-EN ISO 8996:2022-06 [232] można oszacować tempo metabolizmu pracownika na podstawie zależności (6.8) i Tabeli (6.20).

$$M_{op} = \frac{(HR-70)}{RM} + 100, \quad W \quad (6.8)$$

gdzie:

M_{op} – oszacowane tempo metabolizmu dla danego okresu pomiarowego ,

HR – szczytowa wartość tętna, liczba uderzeń $\cdot \text{min}^{-1}$

$1/RM$ – Wartość odczytana z tabeli 6.20

Tabela 6.20. Wartość $(1/RM)$ w zależności $M = (HR - 70)/RM + 100$ między tempem metabolizmu (W) i tętno (uderzenia na minutę), przewidywane jako funkcja wieku i beztłuszczowej masy ciała badanego dla mężczyzn.

Wiek lata	Beztłuszczowa masa ciała kg							
	40	50	60	70	80	90	100	110
Mężczyźni								
20	4,61	5,96	7,32	8,67	10,03	11,38	12,73	14,09
25	4,53	5,86	7,20	8,54	9,88	11,21	12,55	13,89
30	4,43	5,75	7,07	8,39	9,72	11,04	12,36	13,68
35	4,33	5,64	6,94	8,24	9,55	10,85	12,15	13,46
40	4,23	5,51	6,80	8,08	9,37	10,65	11,94	13,22
45	4,12	5,38	6,65	7,91	9,18	10,44	11,70	12,97
50	4,00	5,24	6,49	7,73	8,97	10,21	11,46	12,70
55	3,87	5,09	6,31	7,53	8,75	9,97	11,19	12,41
60	3,74	4,93	6,13	7,32	8,52	9,71	10,91	12,10
65	3,59	4,76	5,93	7,10	8,26	9,43	10,60	11,77

Całkowity wydatek energetyczny dla pracownika na podstawie częstości skurczów serca można wyliczyć z zależności (6.9)

$$M_{cał} = M_{sr} \cdot \frac{t_z}{T_o}, \quad W \quad (6.9)$$

gdzie:

$M_{cał}$ – całkowity wydatek energetyczny dla zmiany roboczej, W

M_{sr} – średni wydatek energetyczny wyznaczony dla wszystkich okresów pomiarowych, W

t_z – rzeczywisty czas trwania zmiany roboczej, min

T_o – normatywny czas trwania zmiany roboczej, min ($T_o = 480$ min)

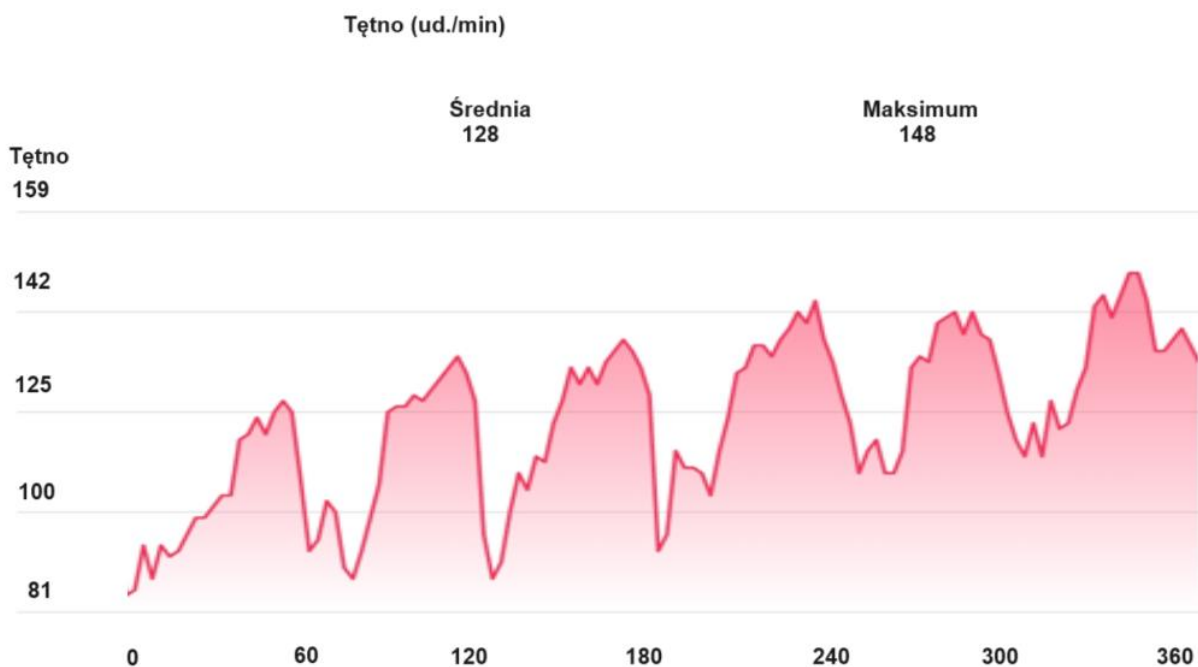
Aby określić skalę zagrożenia i klasę metabolizmu należy wartość wyznaczonego wydatku energetycznego dla całej zmiany roboczej porównać z wartościami dopuszczalnymi wg normy PN-EN ISO 8996:2022-06 zawartymi w Tabeli 6.21

Tabela 6.21 - Klasyfikacja tempa metabolizmu według kategorii

Klasa ^a	Zakres tempa metabolizmu, W	Przykład
0 Odpoczynek	100 do 125	Odpoczynek, spokojne siedzenie
1 Niski wskaźnik metabolizmu	125 do 235	Siedzący tryb życia (biuro, mieszkanie, szkoła, laboratorium: pisanie, pisanie na maszynie, rysowanie, szycie, prowadzenie księgowości). Stanie, lekka aktywność (zakupy, laboratorium, lekki przemysł). Praca rąk i ramion (małe narzędzia warsztatowe, kontrola, montaż lub sortowanie lekkich materiałów). Lekka praca rąk i nóg (prowadzenie pojazdu w normalnych warunkach, obsługa przełącznika nożnego lub pedału). Obróbka przy użyciu narzędzi o małej mocy [wiercenie (małe części), frezowanie (małe części), nawijanie cewek, piłowanie]. Zwykłe chodzenie ($2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) po równej, równej ścieżce, z obciążeniem $\leq 30 \text{ kg}$.
2 Umiarkowane tempo metabolizmu	235 do 360	Długotrwała praca rąk i ramion (wbijanie gwoździ, piłowanie, ładowanie, polerowanie). Praca rąk i nóg (obsługa ciężarówek, ciągników lub sprzętu budowlanego w terenie). Praca ramion i tułowia (praca z młotem pneumatycznym, montaż ciągników, tynkowanie). Pielenie, motyka, zbieranie owoców lub warzyw. Pchanie lub ciągnięcie lekkich wózków lub tacek. Murowanie, 5 cegieł/min. Okresowe przenoszenie umiarkowanie ciężkich materiałów. Chodzenie ($2,5$ do $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) po równej, równej ścieżce, z obciążeniem $\leq 20 \text{ kg}$. Chodzenie ($2,5$ do $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) po równym, ale nieregularnym lub niestabilnym podłożu z obciążeniem $\leq 20 \text{ kg}$. Chodzenie ($\leq 2,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) po stabilnym podłożu pod górę ($\leq 5\%$) z obciążeniem $\leq 20 \text{ kg}$.
3 Wysoki wskaźnik metaboliczny	360 do 465	Intensywna praca ramion i tułowia przy użyciu narzędzi ręcznych lub maszyn. Przenoszenie ciężkich materiałów, odśnieżanie. Praca młotem kowalskim, piłowanie, struganie lub dłutowanie twardego drewna, ręczne koszenie, kopanie. Chodzenie ($5,5$ do $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) po równej, równej ścieżce, z obciążeniem $\leq 20 \text{ kg}$. Chodzenie ($3,5$ do $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) po równym, ale nieregularnym lub niestabilnym podłożu z obciążeniem $\leq 20 \text{ kg}$. Chodzenie ($2,5$ do $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) po stabilnym podłożu pod górę ($\leq 5\%$) z obciążeniem $\leq 10 \text{ kg}$. Pchanie lub ciągnięcie mocno obciążonych wózków ręcznych lub tacek. Rozdrabnianie odlewów, układanie bloków betonowych.
4 Bardzo wysokie tempo metabolizmu	> 465	Intensywna aktywność w szybkim lub maksymalnym tempie. Praca z siekierą; intensywne odśnieżanie lub kopanie; wchodzenie po schodach, pochylniach lub drabinach. Chodzenie ($> 7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) po równej, twardej ścieżce, z obciążeniem lub bez. Chodzenie ($> 5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) po równym, ale nieregularnym lub niestabilnym podłożu z obciążeniem lub bez. Chodzenie ($> 3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) po stabilnym podłożu pod górę ($\geq 5\%$) z obciążeniem lub bez. Bieganie ($> 6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

^a Terminy jakościowe niski, umiarkowany i wysoki odnoszą się do całej zmiany roboczej.

Przenosząc te rozważania na poczet przeprowadzonych badań w warunkach rzeczywistych można zaobserwować wyraźny wzrost tętna pracowników na wszystkich badanych stanowiskach pracy wraz z upływem czasu pracy. Rejestracja wskazań częstości skurczów serca w sposób ciągły za pomocą rejestratora Suunto Memory Belt wskazuje zmianę tych parametrów w zależności od intensywności wykonywanej pracy i przerw poświęconych na odpoczynek (Rys. 6.24). Jednak wyraźny wzrost częstości skurczów serca na wszystkich stanowiskach pracy można zaobserwować po ok. 3 godzinach pracy, a jego maksimum w zależności od parametrów zewnętrznych środowiska tj. temperatura sucha powietrza, wilgotność i intensywność chłodzenia obserwowany jest w 4 i 5 godzinie pracy (Tabela 6.22). Co ciekawe na niektórych stanowiskach pracy największy wzrost częstości skurczów serca (nr. badanego 17, 18, 20, 24 i 25) nie jest związany bezpośrednio z procesem produkcyjnym choć niewątpliwie on przyczynił się do ogólnego obciążenia fizycznego pracownika, ale koniecznością pokonania drogi powrotnej z miejsca pracy (ściany 124) w zużytych prądzie powietrza (dowierzchni 14/7a) do najbliższego wyrobiska z świeżym prądem powietrza. Największy przyrost tętna przekraczający zalecane normatywy dla środowiska gorącego odnotowano na stanowisku sekcyjnego (nr. badanego 7) - maksymalny przyrost tętna 64 uderzenia na minutę, górnika zatrudnionego w górnej wnęce ścianowej (nr. badanego 13) - maksymalny przyrost tętna 67 uderzeń na minutę i operatora przenośnika nadścianowego (nr. badanego 16).



Rys. 6.24. Przykład zapisu pomiaru tętna wykonanego na stanowisku pracy górnika zatrudnionego w górnej wnęce (nr. badanego 13)

Tabela. 6.22. Wskazania pomiaru tętna w badanej grupie pracowników oddziału G-1 kopalni X

Stanowisko	Numer badanego	Wskazania pomiaru tętna HR [liczba uderzeń/min]													Średni przyrost tętna	Poziom ryzyka fizjologicznego	
		Zjazd, dojdzie do miejsca pracy			Proces produkcyjny									Wyjście z miejsca pracy wyjazd			
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360			
Przodowy ściany	1	79	79	79	84	90	96	97	99	100	102	98	86	80	23	średnie	
	2	87	85	90	93	100	106	112	120	126	130	135	105	98	48		
Kombajnista ścianowy	3	76	75	76	77	80	86	94	100	116	124	103	98	84	48	duże	
	4	70	70	74	80	86	92	99	104	110	116	128	104	92	58		
Obserwator układaka	5	74	75	80	94	98	100	100	114	114	116	99	86	80	42	średnie	
	6	74	74	76	82	86	88	88	90	94	96	100	90	78	26		
Sekcyjny	7	86	86	94	100	106	118	123	134	140	146	150	130	106	64	duże	
	8	80	81	83	86	94	98	106	112	120	128	134	116	94	54		
	9	76	76	74	80	86	98	98	100	102	104	90	83	78	28		
Górnik ścianowy we wnęce dolnej	10	82	84	90	94	94	99	102	108	108	112	100	96	88	30	średnie	
	11	84	85	87	92	98	102	108	112	118	121	104	94	86	37		
	12	79	79	83	84	86	99	102	106	106	108	98	84	80	29		
Górnik ścianowy we wnęce górnej	13	81	83	90	99	100	110	134	136	140	144	148	128	90	67	duże	
	14	78	78	84	89	93	94	106	108	108	112	123	100	84	45		
	15	77	79	82	84	95	100	100	118	118	119	120	105	85	43		
Operator przenośnika nadścianowego	16	80	81	90	102	106	118	128	130	140	146	146	148	120	68	duże	
	17	86	88	94	98	112	118	134	144	146	146	148	153	126	67		
Operator przenośnika taśmowego	18	79	80	92	98	90	100	112	120	128	134	116	98	82	55	duże	
	19	70	70	72	76	84	96	98	106	110	116	103	82	76	46		
	20	72	72	74	76	82	88	86	101	103	114	118	128	92	56		
Górnik przy transporcie	21	74	74	76	76	80	82	90	86	88	91	86	78	73	17	małe	
	22	79	80	82	84	86	88	88	90	94	96	90	84	78	17		
	23	75	80	86	88	88	90	90	90	90	92	88	80	76	17		
Osoba dozoru	24	80	80	80	84	84	86	90	93	98	98	98	100	82	20	duże	
	25	85	88	94	96	110	112	124	124	130	132	138	142	102	57		

Pomiar częstotliwości skurczów serca pozwolił również na wyznaczenie wydatku energetycznego na poszczególnych stanowiskach pracy (Tabela 6.23) w oparciu o założenia normy PN-EN ISO 8996:2022-06. Uzyskane wyniki wskazują, iż panujące warunki klimatyczne wpływają na znaczący wzrost wydatku energetycznego praktycznie na wszystkich stanowiskach pracy. Największy wydatek energetyczny odnotowano na stanowisku operatora przenośnika nadścianowego (nr badanego 17), sekcyjnego (nr badanego 7), i osoby dozoru (nr badanego 25). Obliczony wydatek energetyczny dla całej zmiany roboczej przekroczył wartość 845W. Niewątpliwie oprócz trudnych warunków pracy na znaczący wzrosty wydatku energetycznego na tych stanowiskach pracy wpływ miała niska kondycja fizyczna pracowników i znaczna nadwaga. Spostrzeżenie to wskazuje, iż osoby otyłe nie powinny być zatrudniane w trudnych warunkach klimatycznych nawet w skróconym czasie pracy.

6.3.2.3. Ocena obciążenia fizjologicznego na podstawie utraty masy ciała (Δm_{sw}) w skutek pocenia się.

Całkowita utrata masy ciała brutto (Δm_g) osoby w danym przedziale czasowym to różnica między masami ciała zmierzonymi na początku i na końcu tego przedziału. Całkowita utrata masa ciał to suma kilku składników (6.10):

$$\Delta m_g = \Delta m_{sw} + \Delta m_o + \Delta m_{wat} + \Delta m_{sol} + \Delta m_{clo}, \text{ kg} \quad (6.10)$$

gdzie:

Δm_{sw} – utrata masy ciała z powodu wydzielania potu podczas danego przedziału czasowego, kg,

Δm_{res} – utrata masy powodowana parowaniem z dróg oddechowych, kg,

Δm_o – utrata masy wynikająca z różnicy masy między dwutlenkiem węgla i tlenem, kg,

Δm_{wat} – zmiana masy ciała z powodu przyjęcia lub wydalania wody (mocz), kg,

Δm_{sol} – zmiana masy ciała związana z przyjęciem (pożywienie) lub wydalaniem substancji stałych (stolce), kg,

Δm_{clo} – zmiana masy odzieży z powodu zmian odzieży lub akumulacji potu w odzieży, kg.

W ciepłym otoczeniu utratę potu można uznać za wskaźnik obciążenia fizjologicznego pochodzenia termicznego, obejmującego nie tylko pot, który odparowuje na powierzchni skóry, ale także frakcję kapiącą z powierzchni ciała lub gromadzącą się w odzieży.

Bilans wodny netto ($\Delta m_{sw} + \Delta m_{res} + \Delta m_{wat}$) należy rozpatrywać w odniesieniu do ryzyka odwodnienia organizmu. Regularne pobieranie niewielkich ilości wody przez cały okres narażenia będzie w stanie zrównoważyć około 75 % strat wody: można założyć, że tak jest w przypadku zaaklimatyzowanych pracowników. Z kolei w przypadku pracowników niezaaklimatyzowanych okresowość, objętość i jakość poboru wody mogą być niewystarczające i należy wziąć pod uwagę, że straty wody nie są w ogóle kompensowane.

Tabela. 6.23. Wydatek energetyczny dla badanej grupy pracowników oddziału G-1 kopalni X, wyznaczony na podstawie częstości skurczów serca

Stanowisko	Numer badanego	Wydatek energetyczny dla poszczególnych przedziałach czasowych w czasie całego testu. wyznaczony na podstawie zależności: $M = (HR - 70)/RM + 100$ wg.PN-EN ISO 8996:2022-06											Uśredniony wydatek M_{cat} [W]	Poziom ryzyka fizjologicznego	
		Zjazd, dojdzie do miejsca pracy		Proces produkcyjny							Wyjście z miejsca pracy wyjazd				
		30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330			360
Przodowy ściany	1	310,9	311,9	312,9	383,6	470,9	588,1	572,7	616,3	645,4	587,2	412,7	325,4	346,1	duże
	2	467,6	563,4	620,9	755,1	870,1	985,1	1138,5	1253,5	1330,2	1426,1	851,0	716,8	686,1	
Kombajnista ścianowy	3	275,9	295,0	314,2	371,7	486,7	640,1	755,1	1061,8	1215,2	812,6	716,8	448,4	462,1	duże
	4	180,0	256,7	371,7	486,7	601,7	735,9	831,8	946,8	1061,8	1291,9	831,8	601,7	512,4	
Obserwator układaka	5	266,0	351,9	592,6	661,3	695,7	695,7	936,4	936,4	970,7	678,5	455,0	351,9	474,5	duże
	6	248,8	283,1	386,3	455,0	489,4	489,4	523,8	592,6	626,9	695,7	523,8	317,5	352,0	
Sekcyjny	7	486,7	640,1	755,1	870,1	1100,2	1196,0	1406,9	1521,9	1636,9	1713,6	1330,2	870,1	845,5	duże
	8	365,5	399,3	449,9	584,8	652,2	787,2	888,4	1023,3	1158,2	1259,4	955,8	584,8	569,3	
	9	270,6	240,4	331,0	421,6	602,9	602,9	633,1	663,3	693,5	482,0	376,3	300,8	351,1	
Górnik ścianowy we wnęce dolnej	10	270,6	240,4	331,0	421,6	602,9	602,9	633,1	663,3	693,5	482,0	376,3	300,8	351,1	duże
	11	400,9	430,3	503,9	592,3	651,2	739,5	798,4	886,8	930,9	680,6	533,4	415,6	472,7	
Górnik ścianowy we wnęce górnej	12	331,8	399,3	416,1	449,9	669,1	719,7	787,2	787,2	820,9	652,2	416,1	348,7	424,9	duże
	13	399,3	517,3	669,1	686,0	854,6	1259,4	1293,2	1360,6	1428,1	1495,5	1158,2	517,3	727,4	
	14	298,7	387,6	461,8	521,1	536,0	714,0	743,6	743,6	802,9	966,1	625,0	387,6	449,3	
Operator przenośnika nadścianowego	15	315,6	360,8	390,9	556,7	632,0	632,0	903,2	903,2	918,2	933,3	707,3	406,0	478,7	duże
	16	369,1	523,8	730,1	798,8	1005,1	1177,0	1211,4	1383,3	1486,4	1486,4	1520,8	1039,5	795,7	
Operator przenośnika taśmowego	17	525,1	640,1	716,8	985,1	1100,2	1406,9	1598,6	1636,9	1636,9	1675,3	1771,1	1253,5	934,1	duże
	18	348,7	551,1	652,2	517,3	686,0	888,4	1023,3	1158,2	1259,4	955,8	652,2	382,4	567,2	
	19	180,0	210,2	270,6	391,4	572,7	602,9	723,7	784,1	874,7	678,4	361,2	270,6	370,0	
Górnik przy transporcie	20	209,7	239,3	269,0	358,0	447,0	417,3	639,8	669,5	832,6	891,9	1040,3	506,3	407,5	średnie
	21	241,5	272,2	272,2	333,7	364,5	487,4	426,0	456,7	502,8	426,0	303,0	226,1	269,5	
	22	378,7	418,5	458,2	498,0	537,7	537,7	577,4	656,9	696,7	577,4	458,2	339,0	383,4	
Osoba dozoru	23	378,7	498,0	537,7	537,7	577,4	577,4	577,4	577,4	617,2	537,7	378,7	299,2	380,9	duże
	24	371,7	371,7	448,4	448,4	486,7	563,4	620,9	716,8	716,8	716,8	755,1	410,0	414,2	
	25	566,9	695,8	738,8	1039,7	1082,7	1340,6	1340,6	1469,5	1512,5	1641,5	1727,4	867,7	876,5	

Zgodnie z normą ISO 7933 szybkość pocenia się powinna być ograniczona do 1,0 l/h na godzinę dla osób niezaaklimatyzowanych i do 1,25 l/h na godzinę dla osób zaaklimatyzowanych. Jeśli chodzi o całkowity bilans wodno-wodny organizmu ($\Delta m_{sw} + \Delta m_{res} + \Delta m_{wat}$), limit powinien być ustalony na poziomie 5 % masy ciała, aby uniknąć odwodnienia.

Wykonane w oparciu o powyższe założenia pomiary utraty masy ciała w warunkach dołowych na poszczególnych stanowiskach pracy oddziału G-1 (Tabela 6.24), wykazały po zdjęciu odzieży roboczej całkowitą utratę masy ciała w wyniku pocenia się na poziomie od 2,0 l w przypadku pracowników zatrudnionych przy transporcie (nr. badanego 21) do ponad 4,0 l na stanowisku: przodowego ściany (nr. badanego 2), sekcyjnego (nr. badanego 8), górnika ścianowego we wnęce górnej (nr. badanego 13), operatora przenośnika nadścianowego (nr. badanego 17) i osoby dozoru (nr. badanego 25). Niewątpliwie na zaobserwowany duży ubytek wody w wyniku pocenia się miała wpływ nie tylko wykonywana praca i trudne warunki klimatyczne ale również znacząca nadwaga, otyłość oraz ogólna wydolność organizmu. Na tym samym stanowisku pracy np. kombajnisty (nr. badanego 1 i 2) przy bardzo zbliżonych warunkach klimatycznych różnica utarty wody między jednym a drugim pracownikiem wynosi 2 litry, a na stanowisku pracy górnika zatrudnionego w górnej wnęce ponad 1,1 litra, co przemawia za postawieniem tezy, że w trudnych warunkach klimatycznych nie powinny być zatrudniane osoby ze znacząca nadwaga. Zwłaszcza w tych rejonach gdzie parametry środowiska pracy takie jak temperatura czy wilgotność powietrza są najwyższe.

6.3.2.4. Ocena obciążenia fizjologicznego na podstawie liczby oddechów.

Do oceny wydolności fizycznej organizmu stosuje się różne kryteria. Jednym z najbardziej trafnych kryteriów oceny zdolności człowieka do wykonywania ciężkiej pracy jest wysokość tzw. „pułapu tlenowego”, czyli maksymalnego zużycia tlenu w jednostce czasu. Zwiększone zużycie tlenu jest bowiem obiektywnym miernikiem oceny ciężkości pracy, a ponieważ jego pomiar przy zdefiniowanej jednostce pracy nie zależy od wieku, płci lub wytrenowania, przeto znakomicie odpowiada wskaźnikowi wielkości obciążenia. Pułap tlenowy to sumaryczny wskaźnik charakteryzujący sprawność układu krążenia i układu oddechowego czyli zdolności pobierania tlenu przez organizm zwany także wydolnością aerobową organizmu (Vo_{2max}). Bezpośredniego pomiaru Vo_{2max} można dokonać podczas badania wielkości obciążenia w warunkach laboratoryjnych np. na cykloergometrze lub na bieżni elektrycznej. Często połączone jest to z wykonaniem elektrokardiogramu. W warunkach dołowych trudno przeprowadzić takie badania ale metoda pośrednia oparta na liczeniu liczby oddechów przy założeniu że jeden wdech to 500 ml powietrza pozwala na określenie poziomu przybliżonej wymiany gazowej i zapotrzebowania organizmu na tlen niezbędny do wykonania długotrwałej pracy fizycznej. Przeprowadzone badania (Tabela 6.25) wykazywały, iż wraz w włożonym wysiłkiem fizycznym w realizację poszczególnych zadań i upływem czasu wzrasta zapotrzebowanie górników na tlen niezbędny do realizacji przemian tankowych w organizmie, a co za tym idzie zwiększa się liczba oddechów i zapotrzebowanie na tlen niezbędny do wykonania konkretnych czynności na stanowisku pracy.

Tabela. 6.24. Urata masy ciała w badanej grupie pracowników oddziału G-1 kopalni X

Stanowisko	Numer badanego	Utrata masy ciała Δm_{sw} [kg]												Średni ubytek masy ciała	Poziom ryzyka fizjologicznego	
		Zjazd, dojście do miejsca pracy			Proces produkcyjny						Wyjście z miejsca pracy wyjazd					
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330			360
Przodowy ściany	1	69,1	69,0	68,8	68,7	68,4	68,2	67,9	67,6	67,4	67,3	67,1	67,0	67,0	2,1	duże
	2	94,5	94,3	94,1	93,8	93,4	93,0	92,8	92,4	92,1	91,6	91,0	90,4	90,3	4,2	
Kombajnista ścianowy	3	92,3	92,2	92,0	91,7	91,4	91,0	90,5	90,1	89,4	89,1	88,7	88,6	88,4	3,9	duże
	4	85,5	85,3	85,2	85,0	84,7	84,3	83,9	83,5	83,1	82,7	82,4	82,2	82,0	3,5	
Obserwator układaka	5	80,0	79,8	79,6	79,3	79,0	78,6	78,1	77,7	77,3	77,0	76,7	76,4	76,3	3,7	średnie
	6	79,6	79,6	79,5	79,4	79,2	79,0	78,7	78,3	77,9	77,6	77,4	77,1	77,0	2,6	
Sekcyjny	7	90,3	90,1	89,8	89,5	89,1	88,6	88,1	87,6	87,2	86,6	86,1	85,8	85,5	4,8	duże
	8	84,8	84,7	84,5	84,3	84,0	83,6	82,3	82,9	82,7	82,3	82,1	80,9	80,7	4,1	
	9	68,7	68,6	68,3	68,0	67,8	67,6	67,3	66,9	66,6	66,2	66,0	65,8	65,6	3,1	
Górnik ścianowy we wnęce dolnej	10	81,3	81,2	81,0	80,7	80,5	80,3	80,0	79,6	79,4	79,1	78,9	78,7	78,5	2,8	średnie
	11	77,2	77,0	76,8	76,5	76,2	75,9	75,3	75,0	74,6	74,2	74,0	73,8	73,7	3,5	
	12	82,4	82,2	82,0	81,7	81,5	81,3	81,1	80,8	80,5	80,1	79,8	79,6	79,4	3,0	
Górnik ścianowy we wnęce górnej	13	80,9	80,1	79,9	79,6	79,3	79,0	78,7	78,3	78,0	77,5	77,3	77,0	76,8	4,1	duże
	14	70,4	70,4	70,3	70,0	69,7	69,4	69,0	68,7	68,3	68,0	67,3	67,6	67,4	3,0	
	15	82,6	82,4	82,1	81,7	81,3	81,0	80,7	80,5	80,2	79,9	79,4	79,1	79,0	3,6	
Operator przenośnika nadścianowego	16	83,1	83,0	82,9	82,5	82,2	81,9	81,5	81,1	80,6	80,2	79,8	79,5	79,3	3,8	duże
	17	89,2	89,0	88,8	88,3	88,0	87,7	87,3	86,9	86,5	86,0	85,7	85,4	85,0	4,2	
Operator przenośnika taśmowego	18	76,3	76,2	76,1	75,8	75,4	75,0	74,6	74,1	73,7	73,4	73,0	72,7	72,5	3,8	duże
	19	71,1	71,1	70,9	70,7	70,3	70,1	69,8	69,5	69,2	68,7	68,4	68,0	67,8	3,3	
	20	71,8	71,7	71,5	71,3	71,0	70,6	70,3	69,9	69,5	69,2	68,9	68,7	68,6	3,2	
Górnik przy transporcie	21	74,6	74,6	74,5	74,3	74,1	74,0	73,8	73,5	73,2	73,0	72,9	72,8	72,6	2,0	małe
	22	92,3	92,1	91,8	91,7	91,5	91,4	91,3	91,2	91,1	91,0	91,0	89,9	89,7	2,6	
	23	88,2	88,1	87,8	87,7	87,6	87,6	87,4	87,2	87,0	86,6	86,3	85,9	85,8	2,4	
Osoba dozoru	24	90,6	90,4	90,3	90,0	89,6	89,4	89,2	88,8	88,6	88,3	87,6	87,0	86,7	3,9	duże
	25	101,4	101,2	100,0	99,7	99,4	99,1	98,6	98,2	97,9	97,6	97,4	97,1	96,8	4,6	

Tabela. 6.25.Liczba oddechów w badanej grupie pracowników oddziału G-1 kopalni X

Stanowisko	Numer badanego	Liczba oddechów [liczba/min]													Średni przyrost liczby oddechów	Poziom ryzyka fizjologicznego	
		Zjazd, dojsie do miejsca pracy			Proces produkcyjny									Wyjsie z miejsca pracy wyjazd			
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360			
Przodowy ściany	1	12	14	15	16	17	17	19	19	20	24	22	20	15	12	duże	
	2	18	19	19	21	22	22	22	25	25	27	29	25	20	11		
Kombajnista ścianowy	3	17	18	19	19	20	24	24	26	26	30	28	25	19	13	duże	
	4	16	17	18	19	22	22	22	24	28	30	33	28	22	17		
Obserwator układaka	5	16	16	18	18	19	20	20	24	24	25	23	21	19	9	średnie	
	6	13	14	16	16	16	17	18	18	20	20	21	20	17	8		
Sekcyjny	7	21	23	24	25	25	29	29	36	40	40	42	36	28	21	duże	
	8	17	18	18	19	24	24	26	28	30	30	35	30	21	18		
	9	14	15	17	18	20	25	28	30	30	34	30	30	22	20		
Górnik ścianowy we wnęce dolnej	10	16	18	18	18	18	20	20	22	22	24	22	22	18	8	średnie	
	11	18	19	19	20	20	24	24	26	26	28	27	23	20	10		
	12	17	19	19	19	19	21	21	22	22	25	23	20	18	8		
Górnik ścianowy we wnęce górnej	13	15	16	18	20	24	26	31	33	33	33	35	30	20	20	duże	
	14	14	16	18	19	20	22	26	30	36	36	38	32	20	24		
	15	16	17	20	24	24	28	28	32	36	38	42	36	23	26		
Operator przenośnika nadścianowego	16	18	18	20	22	24	26	26	28	32	32	34	36	24	18	duże	
	17	20	21	22	23	24	24	26	29	33	35	35	37	26	17		
Operator przenośnika taśmowego	18	17	18	20	20	22	24	26	28	28	30	28	20	19	13	duże	
	19	13	14	16	16	18	20	20	24	24	28	26	22	17	15		
	20	12	14	14	16	18	20	20	24	24	28	28	32	22	20		
Górnik przy transporcie	21	14	16	16	16	17	20	17	19	19	20	20	18	16	6	średnie	
	22	16	17	17	17	18	22	21	18	18	22	20	20	17	6		
	23	18	18	19	19	20	24	22	20	21	24	22	20	18	6		
Osoba dozoru	24	19	19	19	20	20	26	26	30	30	32	30	28	22	13	duże	
	25	20	21	22	24	26	32	32	38	38	40	44	38	24	24		

W zależności od predyspozycji indywidualnych pracownika i obciążenia pracą liczba oddechów zmienia się w trakcie wykonywania zadań na poszczególnych stanowiskach pracy nie mniej wyraźny ich wzrost następuje między 4 a 5 godziną pracy. Największe zapotrzebowanie na tlen a tym samym wzrost intensywności wymiany gazowej występuje na stanowiskach sekcyjnego (nr. badanego 7,8,9) i górnika ścianowego w górnej wnęce (nr badanego 15) gdzie częstotliwość oddychania wzrasta ponad 100-krotnie przekraczając wartość 42 oddechów na minutę przy stałej intensywności pracy co warunkach zagrożenia klimatycznego stwarza potencjalne zagrożenie nawet dla pracowników zaaklimatyzowanych.

6.3.2.5. Ocena obciążenia fizjologicznego na podstawie ciśnienia tętniczego krwi.

Ciśnienie tętnicze nie jest parametrem bezpośrednio charakteryzującym obciążenie termiczne. Odgrywa ono jednak znaczącą rolę przy prowadzeniu badań nad wpływem obciążenia termicznego na organizm człowieka.

Podczas wykonywania pracy ciśnienie krwi ulega ustawicznym zmianom zarówno długookresowym (co związane jest m. in. z wiekiem i stanem zdrowia pracownika), średniookresowym (zależnym od pory doby, aktywności, stanu psychicznego, spożytych używek itp.), jak i krótkookresowym (w obrębie cyklu pracy serca). W momencie skurczu serca, kiedy porcja krwi wypychana jest z serca do aorty, w tętnicach panuje najwyższe ciśnienie wynoszące zazwyczaj u zdrowego dorosłego człowieka od ok. 90 do 135 mmHg (zazwyczaj 110-130). W chwili rozkurczu - jest najniższe, od ok. 50 do 90 mmHg (zazwyczaj 65-80). W praktyce medycznej, do oceny stanu zdrowia badanej osoby istotna jest wartość zarówno ciśnienia skurczowego, jak i rozkurczowego, toteż podawane są obie wartości, co zapisuje się np. 120/80 mmHg. W przeprowadzonych badaniach wśród górników ściany 146 w pokładzie 414/2 (Tabela 6.26.) można zaobserwować dużą zmienność ciśnienia krwi tętniczej podczas wykonywanej pracy uzyskującą wartość ciśnienia skurczowego dochodzącego nawet do poziomu 180 mmHg na stanowisku sekcyjnego czy górnika w górnej wnęce (nr badanego 7 i 15) przy jednoczesnych znacznych wahaniami ciśnienia rozkurczowego spowodowanego zapewne koniecznością przemieszczaniem krwi z wnętrza ku powierzchni ciała w wyniku rozszerzenia naczyń krwionośnych. Innym powodem wzrostu ciśnienia tętniczego krwi jest także duże zaangażowanie grup mięśniowych górników przy jednoczesnym niedoborze tlenu spowodowanym trudnymi warunkami klimatycznymi i znacznym obciążeniem fizycznym podczas wykonywania poszczególnych zadań na stanowiskach pracy oraz narastającym w ciągu zmiany roboczej zmęczeniem fizyczne.

Tabela. 6.26. Wartość ciśnienia tętniczego w badanej grupie pracowników oddziału G-1 kopalni X

Stanowisko	Numer badanego	Wartość ciśnienia tętniczego [mm Hg]													Poziom ryzyka fizjologicznego	
		Zjazd, dojscie do miejsca pracy			Proces produkcyjny									Wyjscie z miejsca pracy wyjazd		
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360		
Przodowy ściany	1	110/75	112/76	120/80	126/80	129/84	129/84	135/86	135/86	138/88	140/90	134/85	135/86	120/80	duże	
	2	124/82	126/84	128/84	132/85	138/88	138/88	138/88	144/92	155/96	155/96	165/102	146/94	135/84		
Kombajnista ścianowy	3	120/80	126/84	130/85	132/86	135/80	140/90	140/90	148/96	156/98	164/101	158/88	150/96	130/85	duże	
	4	125/80	126/80	132/85	134/86	138/88	138/88	138/88	140/90	158/96	165/102	172/106	158/96	138/88		
Obserwator układaka	5	115/78	118/78	126/80	126/80	128/84	130/85	132/85	138/86	138/86	140/90	138/88	132/85	126/84	średnie	
	6	120/80	122/80	126/82	126/82	126/82	130/85	132/86	132/86	135/86	135/86	138/86	135/87	130/85		
Sekcyjny	7	130/85	136/86	140/90	142/92	142/92	160/100	160/100	174/106	178/108	178/108	182/112	176/104	146/90	duże	
	8	128/84	130/85	132/85	134/87	140/92	140/92	146/94	158/98	162/102	162/102	174/108	162/100	135/85		
	9	120/80	125/80	132/85	132/85	135/88	144/92	160/100	168/104	168/104	172/106	166/102	164/100	136/88		
Górník ścianowy we wnęce dolnej	10	128/84	132/85	133/86	133/86	133/86	135/88	135/88	138/88	138/88	140/92	138/86	135/86	130/85	średnie	
	11	130/86	133/85	133/85	135/86	135/86	140/92	148/95	148/95	150/96	160/100	152/96	146/94	135/86		
	12	116/76	120/80	122/80	122/80	126/82	128/84	128/84	130/85	130/85	136/87	132/86	128/84	120/80		
Górník ścianowy we wnęce górnej	13	128/84	130/85	132/85	135/86	146/94	146/94	168/100	170/102	170/102	170/102	174/106	166/100	135/86	duże	
	14	100/65	116/70	122/80	122/80	132/85	144/92	144/82	152/97	160/100	160/100	164/103	156/98	132/85		
	15	128/84	132/85	135/87	140/92	140/92	158/98	159/99	170/102	176/104	176/106	180/110	170/100	138/88		
Operator przenośnika nadścianowego	16	130/85	133/86	137/88	144/94	144/94	155/98	155/98	160/100	165/105	165/105	170/106	172/106	142/95	duże	
	17	128/84	130/85	130/85	136/88	140/92	154/98	154/98	168/104	168/104	170/105	173/105	174/106	148/96		
Operator przenośnika taśmowego	18	114/74	120/80	128/84	130/85	135/87	142/90	142/90	155/96	155/96	160/100	154/86	126/84	120/80	duże	
	19	130/87	130/87	131/86	133/86	133/86	136/87	136/87	140/92	140/92	159/99	148/93	135/86	131/85		
	20	120/80	128/84	128/84	132/85	132/85	135/86	135/86	142/92	142/92	156/104	156/104	168/106	138/88		
Górník przy transporcie	21	128/82	128/84	128/84	130/84	132/86	135/88	132/86	132/86	132/86	135/88	135/88	130/84	128/88	średnie	
	22	110/75	110/75	114/78	116/80	120/80	128/80	124/82	120/80	124/80	128/80	124/82	118/80	112/78		
	23	124/82	126/84	130/85	130/85	132/85	138/88	135/87	132/85	136/86	138/89	135/87	132/85	126/84		
Osoba dozoru	24	126/83	128/84	130/85	135/86	135/86	152/98	152/98	164/103	164/103	168/104	163/102	158/98	132/86	duże	
	25	115/74	126/84	130/85	138/88	140/90	150/94	150/94	154/96	160/100	170/102	178/108	160/100	140/92		

6.3.3. Podsumowanie przeprowadzonej oceny ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym w oparciu o zmierzone parametry powietrza i wyznaczone wskaźniki.

Przeprowadzona ocena ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na stanowiskach pracy w rejonie ściany 146 w pokł 414/2 kopalni X w oparciu o parametry fizjologiczne wykazała, iż praca wykonywana w trudnych warunkach klimatycznych pociąga za sobą szereg reakcji fizjologicznych organizmu związanych z podstawową przemianą materii i zmianą w czasie takich parametrów fizjologicznych jak: temperatura wewnętrzna ciała, temperatura skóry, częstość skurczów serca czy ubytek masy ciała pracownika wskutek pocenia. Zmienność tych parametrów determinowana jest przez parametry fizyczne powietrza występujące na danym stanowisku pracy ale również predyspozycje zdrowotne i wydolnościowe samego pracownika, które pogarszają się wraz z wiekiem. Na wzrost parametrów fizjologicznych pracowników niewątpliwie wpływ mają również stosowane rozwiązania profilaktyczne zmierzające do obniżenia temperatury i wilgotności powietrza w miejscu pracy, których efektywność nadal pozostawia wiele do życzenia. W analizowanym rejonie ściany 146 najtrudniejsze warunki panują na stanowisku operatora przenośnika nadścianowego (Tabela 6.27), gdzie przy średniej temperaturze powietrza wynoszącej 29,8°C i wilgotności powietrza 95,6% wszystkie wyznaczone wcześniej wskaźniki klimatyczne wskazują na bardzo trudne warunki pracy. Zmniejszenie czasu pracy do 6 godzin niewiele zmienia w zakresie poprawy komfortu cieplnego ponieważ wszystkie parametry wydolnościowe pracowników zatrudnionych na tym stanowisku pracy osiągają wartości graniczne dopuszczalne dla zdrowia pracownika. Średni przyrost temperatury wewnętrznej wynosi 2,4°C co powoduje w krytycznym momencie pracy spowodowanej wysiłkiem fizycznym wzrost temperatury wewnętrznej pracowników do 39°C. Wraz ze wzrostem temperatury wewnętrznej wzrasta średnia temperatura skóry o blisko 6°C, częstość skurczów serca o ponad 60 uderzeń na minutę w odniesieniu do stanu początkowego. Ponad dwukrotnie zwiększa się zapotrzebowanie na tlen. Wzrasta liczba oddechów wraz z którą do płuc pracownika trafia znacząca ilość pyłów szkodliwych zwłaszcza w fazie urabiania albowiem pracownik nie jest w stanie oddychać w maseczce przeciwpyłowej. W normalnych warunkach pracy (poza okresem przedmiotowych badań) pracownicy na tym stanowisku pracy pozbywają się odzieży roboczej mającej chronić ich przed urazami mechanicznymi na poczet odprowadzenia większej ilości ciepła z organizmu co i tak przy panujących warunkach klimatycznych jest prawie niemożliwe. W wyniku pracy w ciągu zmiany pracownik na stanowisku operatora przenośnika nadścianowego, mimo iż nie jest to zbyt wymagające stanowisko, traci ok. 4,0 kg masy ciała głównie w wyniku utraty wody. Na koniec

Tabela 6.27. Poziom ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym dla stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X na podstawie parametrów fizjologicznych

Stanowisko	Parametry fizjologiczne oceny ryzyka					
	temperatury wewnętrznej ciała (t_{cr})	temperatury skóry (t_{sk})	częstości skurczów serca (HR)	utruty masy ciała (Δm_{sw})	liczby oddechów	ciśnienia tętniczego krwi
	°C	°C	[ud/min]	[kg]	[od/min]	[mm Hg]
Przodowy ściany	duże	duże	duże	średnie	duże	duże
Kombajnista ścianowy	duże	duże	duże	duże	duże	duże
Obserwator układaka	duże	duże	duże	średnie	średnie	średnie
Sekcyjny	duże	duże	duże	duże	duże	duże
Górnik ścianowy we wnęce dolnej	średnie	średnie	średnie	średnie	średnie	średnie
Górnik ścianowy we wnęce górnej	duże	duże	duże	duże	duże	duże
Operator przenośnika nadścianowego	duże	duże	duże	duże	duże	duże
Operator przenośnika taśmowego	duże	duże	duże	duże	duże	duże
Górnik przy transporcie	małe	małe	małe	małe	małe	średnie
Osoba dozoru	duże	duże	duże	duże	duże	duże

zmiany roboczej dodatkowy wydatek energetyczny i wzrost parametrów fizjologicznych na opisywanym stanowisku pracy związany jest z koniecznością pokonania w prądzie zużytego powietrza ok. 600m powierzchni 14/7a o średnim nachyleniu od 8° do 10° co wiąże się z dodatkowym wzrostem temperatury wewnętrznej i temperatury skóry i szokiem termicznym jaki pracownik odczuwa w momencie zetknięcia jego ciała z chłodniejszymi masami powietrza na przekopie głównym i pod szybem.

Podobne jak opisywane warunki pracy i przemian fizjologicznych występują na stanowisku sekcyjnego, górników w górnej wnęce ścianowej, kombajnisty czy przy obsłudze przenośników ścianowych zwłaszcza tych zlokalizowanych najbliżej ściany.

Działania podejmowane przez kopalnię w zakresie poprawy warunków klimatycznych na analizowanych stanowiskach pracy w rejonie ściany 146 w pokładzie 414/2 należy uznać za poprawne w obecnych warunkach górniczo-geologicznych choć przy gabarytach wyrobiska mocy zainstalowanych maszyn i urządzeń technicznych związanych z wydobywaniem lokalne urządzenie chłodnicze typu TS-350/1 o mocy 350 kW nie wpływa znacząco na poprawę warunków klimatycznych w samej ścianie nie mówiąc już pozostałych stanowiska zlokalizowanych w wylotowym prądzie powietrza.

Przeprowadzone badania ankietowe (Tabela 6.28) pracowników oraz bezpośrednie anonimowe rozmowy z nimi na temat warunków pracy wskazują także, że górnicy zdają sobie sprawę z warunków klimatycznych jakie panują na ich stanowiskach pracy. Dostrzegają również wpływ trudnych warunków klimatycznych na ich ogólne samopoczucie i zmęczenie. Miewają zaburzenia koordynacyjno-ruchowe w związku z trudnymi warunkami klimatycznymi, sporadycznie ale zdarzają się wśród nich zasłabnięcia i omdlenia. Najbardziej zagrożonymi pod względem klimatycznym jest sama ściana i rejon powierzchni 14/7a. Pracownicy niezbyt dobrze oceniają działania kopalni w zakresie zwalczania zagrożenia klimatycznego ponieważ ich zdaniem od lat nic w tej materii się nie zmienia i w każdej ścianie czy przodku rozwiązania ograniczające zagrożenie klimatyczne są podobne i mało skuteczne. Jednocześnie nie potrafią wskazać rozwiązań które mogłyby poprawić warunki klimatyczne w rejonie. Górnicy postulują za krótszymi zmianami roboczymi, dłuższą przerwą między poszczególnymi czynnościami, wprowadzeniem klimatyzacji centralnej lub kurtyn wodnych pod którymi mogli by się ochłodzić. Zdaniem pracowników największy problem jednak i tak jest z brakiem możliwości oddania nadmiaru ciepła z organizmu i jego przegrzewanie się co wpływa na proces ich zmęczenia fizycznego.

Tabela 6.28. Ocena dyskomfortu cieplnego w rejonie ściany 146 na podstawie listy kontrolnej.

Liczba poszczególnych odpowiedzi uzyskanych od pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy w rejonie ściany 146 w pokładzie 414/2			
Pytanie	Tak	Czasem	Nie
Czy zna pan parametry fizyczne powietrza i warunki klimatyczne jakie występują na pana stanowisku pracy?	61	11	12
Czy panujące na pana stanowisku warunki klimatyczne zapewniają panu pełen komfort pracy?	18	21	45
Jak Pan ocenia warunki klimatyczne panujące na stanowisku pracy			
Który z parametrów powietrza przeszkadza panu w wykonywaniu pracy:			
- wysoka temperatura	46		
- duża wilgotność	21		
- mała prędkość powietrza	17		
Jak ocenia pan warunki klimatyczne na pana stanowisku pracy?			
- nie przeszkadzają mi	10		
- są znośne	9		
- są uciążliwe	36		
- są bardzo uciążliwe	21		
- są nie do wytrzymania	8		
Czy musi się Pan rozbierać z ubrania roboczego aby wykonywać prace ?	58	12	14
Czy musi Pan robić częste przerwy w pracy z powodu trudnych warunków klimatycznych ?	60	8	16
Czy odczuwa pan jakieś zmiany w czasie wykonywania pracy w swoim organizmie:			
- wzrost temperatury ciała	46	14	24
- nadmierną potliwość	31	22	7
- przyspieszony oddech	43	12	5
- przyspieszony puls	20	36	9
	32	14	14
Czy w trakcie pracy występowały u pana związane z warunkami klimatycznymi:			
- bóle głowy	31	16	37
- zawroty głowy	6	12	66
- chwilowe zamroczenia?	18	25	41
Czy w trakcie pracy występowały u pana			
- nudności,	18	21	45
- wymioty związane z nadmiernym odwodnieniem?	6	12	66
Czy w trakcie pracy miał Pan do czynienia z			
- utratą orientacji ?	10	7	67
- nieskoordynowane ruchy ?	4	6	74
Czy w związku z pracą w trudnych warunkach klimatycznych zdarzyło się panu stracić przytomność lub zasłabnąć ?	4	3	77
Czy w trakcie pracy występują u pana bolesne skurcze mięśni ?	36	15	33
Czy zauważył pan na swojej skórze jakieś zmiany (potówki, zmiany skórne,) spowodowane w pana odczuciu pracą w trudnych warunkach klimatycznych?	29	18	37
Czy zaobserwował pan u siebie dreszcze spowodowane nagłą zmianą temperatury, kiedy?	63	12	9
- w czasie zjazdu, dojścia na stanowisko pracy	-	4	-
- w czasie pracy na stanowisku pracy	12	3	-
- w drodze powrotnej pod szyb	49	5	-
Pana zdaniem w którym wyrobisku panują najgorsze warunki klimatyczne ?			
- przekop 1/414	-	-	-
- dowerzchnia 14/7	6	3	-
- ściana 146	21	11	-
- dowerzchnia 14/7a	30	5	-
- chodnik badawczy 414	6	2	-

Czy działania podejmowane przez kopalnie w kwestii ograniczenia zagrożenia klimatycznego pana zdaniem są wystarczające?	48	21	12
Co pana zdaniem wpłynęłoby na poprawę warunków klimatycznych na twoim stanowisku pracy?	pytanie wolne		

7. OCENA WPŁYWU KAMIZELEK CHŁODZĄCYCH NA POPRAWĘ KLIMATYCZNYCH WARUNKÓW PRACY GÓRNIKÓW.

Analizując szeroko opisaną we wcześniejszych rozdziałach pracy literaturę fachową, uzyskane wyniki przeprowadzonych badań w rejonie ściany 146 oddziału G-1 kopalni X oraz opinie samych górników i ich przełożonych. Wydaje się że najlepszym rozwiązaniem umożliwiającym poprawę komfortu pracy załóg górniczych w trudnych warunkach klimatycznych byłoby zaadaptowanie do stałego użytku na stanowiskach pracy istniejących już na rynku kamizelek chłodzących np. firmy Dräger i Viking wykorzystywanych obecnie przez ratowników górniczych w trudnych warunkach klimatycznych w czasie akcji ratowniczych. Dalsza część badań poświęcona została zweryfikowaniu tego poglądu tj. Ocenie wpływ stosowania kamizelek chłodzących na klimatyczne warunki pracy górników.

7.1. Chłodzenie indywidualne ratownika górniczego w czasie akcji ratowniczych.

Na potrzeby akcji ratowniczych prowadzonych w trudnych warunkach klimatycznych przez ratowników górniczych zostały opracowane i wdrożone do standardowego wyposażenie zastępów ratowniczych kamizelki chłodząca z wkładami żelowymi 3M, (Rys. 7.1) których zadaniem jest poprawa komfortu cieplnego i zwiększenie bezpieczeństwa pracy.



Rys. 7.1. Kamizelki chłodzące a) stosowane przez ratowników CSRG Bytom.

Oprócz nich na rynku dostępne są także inne konstrukcje kamizelek chłodzących (m.in. Scantek, Dräger czy Viking, których zadaniem jest wchłanianie nadmiernej temperatury ciała i wywoływanie efektu chłodzenia. Efekt chłodzenia w tego typu sprzęcie oparty jest na 22 elementach PCM (Phase Change Material - przemiana fazowa materiału) zintegrowanych w wygodnej kamizelce. Podstawowym materiałem elementów chłodzących jest dekahydrat siarczanu sodu, który w temperaturze poniżej 22 °C jest w stanie stałym. W temperaturze

powierzchni wyższej niż 28 °C zawartość elementów PCM wchłania energię cieplną i staje się ciekłą. W tym stanie skupienia kamizelka może zmniejszyć temperaturę ciała o trzy do czterech stopni, poprawiając parametry fizjologiczne pracownika zachwiane podczas pracy w trudnych warunkach klimatycznych. Jak podaje producent w zależności od wysiłku fizycznego i temperatury otoczenia efekt chłodzenia kamizelki chłodzącej Dräger CVP 5220 (Rys. 7.2) może trwać od kilkudziesięciu minut do nawet do trzech godzin [245].



Rys 7.2. Kamizelka chłodząca Dräger CVP 5220

Zaletą stosowania przedmiotowych kamizelek chłodzących jest:

- prostota użytkowania i zakładania dzięki rzepowym zapięciom
- brak konieczności zamrażania elementów chłodzących
- brak konieczności ładowania baterii
- gotowość do natychmiastowego użycia
- wysoki komfort noszenia dzięki dużej ilości elementów chłodzących
- anty elektrostatyczność i ognioodporność

Po stronie wad należy wskazać

- ciężar ok 2,1 kg
- stosunkowo krótki jak na warunki górnicze okres schładzania
- możliwość przechowywania kamizelek i wkładów w warunkach dołowych.
- cena
- nie potwierdzony badaniami środowiskowymi ich wpływ na poprawę komfortu pracy i skuteczność działania w długotrwałym stałym użytkowaniu przez górników w warunkach ruchowych.

Wskazane wady kamizelek chłodzący nie skłoniły do tej pory Spółek Węglowych, Zakładów Górniczych i kopalń do wprowadzenia tych rozwiązań do masowego użytku w ścianach i przodkach górniczych. Trudno również na dzień dzisiejszy powiedzieć czy na takie rozwiązania byłaby zgoda samych górników i organizacji związkowych, albowiem potwierdzona skuteczność kamizelek chłodzących mogłaby spowodować wydłużenie nominalnego czasu pracy. Mając jednak na względzie że życie i zdrowie ludzkie jest wartością nadrzędną, w ramach prowadzonych badań postanowiono ocenić wpływ wskazanych wyżej kamizelek chłodzących na poprawę klimatycznych warunków pracy górników przeprowadzając w tym zakresie badania laboratoryjne w komorze klimatycznej Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego w Bytomiu i badania środowiskowe w warunkach rzeczywistych na jednej z kopalń w czasie rutynowych prac górniczych.

7.2. Badania w komorze klimatycznej Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego w Bytomiu CRSG.

Po przeprowadzeniu badań in situ w rejonie ściany 146 w pokładzie 414/2 kopalni X oraz określeniu trudnych warunków klimatycznych występujących w tym rejonie wpływających znacząco na wydatek energetyczny i parametry fizjologiczne zatrudnionych tam górników przystąpiono do pomiarów w warunkach laboratoryjnych wykorzystując do tego celu komorę klimatyczną i zaplecze medyczne CRSG i CEN-MEDu.

Celem przeprowadzonych badań w komorze klimatycznej było określenie zależności pomiędzy wydatkiem energetycznym, a parametrami fizjologicznymi pracowników, takimi jak: tętno, temperatura skóry, temperatura wewnętrzna, ilość wydzielanego potu podczas wysiłku fizycznego odpowiadającego pracy w standardowym ubraniu roboczym i pracy w ubraniu wyposażonym dodatkowo w kamizelkę chłodzącą, które potwierdziły by lub zaprzeczyły przyjętej hipotezie, że **„zastosowanie kamizelek chłodzących przez pracowników kopalń jako środka ochrony indywidualnej umożliwia odprowadzenie większej ilości ciepła z organizmu przez przewodzenie, zwiększa wygodę i komfort pracy”**.

7.2.1. Charakterystyka obiektu badawczego i aparatury pomiarowej.

Badania ratowników w symulowanych trudnych warunkach mikroklimatu i założonego obciążenia pracą na potrzeby zweryfikowania przyjętej hipotezy prowadzone były w Laboratorium Badania i Opiniowania Sprzętu CRSG S.A. Do badań wykorzystano komorę klimatyczną wielkogabarytową typu NCZ 2014M(m) firmy Nema Industrietechnik (Rys. 7.3). Wnętrze komory

wykonane jest ze stali nierdzewnej o wymiarach 2000 mm x 3100 mm x 2250 mm, co stanowi około 14 m³ objętości wewnętrznej. Komora jest wyposażona w drzwi z oknem podgrzewanym o wymiarach 1750 mm x 1950 mm oraz okno podgrzewane w ścianie bocznej o wymiarach 900 mm x 1000 mm. Okna te umożliwiały ciągłą obserwację osób wykonujących określone ćwiczenia z użyciem sprzętu ochronnego w postaci kamizelek chłodzących lub bez nich. Komora ma również niezależne zabezpieczenie temperaturowe, oświetlenie wewnętrzne, możliwość awaryjnego wyłączenia z wewnątrz oraz system zapewnienia wymiany powietrza świeżego, umożliwiając bezpieczne prowadzenie badań z udziałem ludzi.



Rys 7.3. Komora klimatyczna NCZ 2014M

Komora wyposażona jest w jednostopniowy układ chłodzenia z kompresorem chłodzonym wodą i bezfreonowym czynnikiem chłodzącym. Komora posiada sterownik mikroprocesorowy - jej sterowanie może być realizowane ręcznie, a także z poziomu komputera, zgodnie z posiadanym oprogramowaniem. Komora ta umożliwia przeprowadzenie badań i ocenę sprzętu bezpośrednio na użytkowniku lub kilku użytkownikach wykonujących określoną pracę w symulowanych warunkach klimatycznych, odpowiadających różnym warunkom w tym m.in. warunkom panującym w kopalniach węgla kamiennego.

Parametry komory w zakresie temperaturowego trybu pracy:

- zakres regulacji temperatury: (-20) ° C do (+60) ° C - gwarantowany przez producenta – natomiast do osiągnięcia są rzeczywiste wartości (-30) ° C do (+70) ° C,
- stałość temperatury w czasie: $\leq 0,5$ K
- szybkość grzania: $\geq 1,0$ K / min.
- szybkość chłodzenia: $\geq 1,0$ K / min.

Parametry komory w zakresie klimatycznego trybu pracy:

- zakres regulacji wilgotności względnej: 10% do 95% (98%)
- stałość wilgotności w czasie: $\leq 3\%$

Wewnętrzne wymiary komory klimatycznej pozwalają na umieszczenie w niej 3 cykloergometrów, co pozwala na równoczesne obciążenie wysiłkiem fizycznym 3 ratowników wykonujących pracę w zadanych warunkach klimatycznych (Rys. 7.4)



Rys. 7.4. Wyposażenie komory klimatycznej: a) stanowisko cykloergometru, b) regulator warunków klimatycznych.

W warunkach prowadzonych badań w komorze klimatycznej równocześnie z pomiarami parametrów fizycznych powietrza prowadzone były pomiary fizjologiczne ratowników na poszczególnych stanowiskach cykloergometru tj.:

- obciążenie wysiłkiem fizycznym,
- pomiar temperatury wewnętrznej ciała,
- częstość skurczów serca
- ciśnienie tętnicze krwi,
- liczba oddechów.

Metodyka badań parametrów fizjologicznych ratowników w komorze klimatycznej zgodna była z metodyką opisaną w rozdziale 6.3 niniejszej pracy. Dodatkowo w warunkach ciągłego monitorowania parametrów fizjologicznych mierzono również wysiłek fizyczny ratowników.

7.2.2. Pomiar wysiłku fizycznego.

Do oceny wysiłku fizycznego wykorzystano cykloergometr (ergometr rowerowy) typu Corvial V2 produkcji firmy Lode BV (Holandia). Jest to urządzenie podobne do roweru służące do mierzenia wartości pracy wykonywanej przez organizm, które umożliwia precyzyjne elektryczne dawkowanie obciążenia i wyrażenie wykonanej pracy w jednostkach fizycznych (Rys. 7.5.)



Rys. 7.5. Cykloergometr firmy Lode BV

Cykloergometry typu Corvial V2 produkcji firmy Lode BV (Holandia)

Dane techniczne sprzętu badawczego:

Zasada działania:	hamowanie wiroprądowe dysku
Napięcie zasilania:	115-230 V (regulowane)
Częstotliwość sieci:	50 Hz, 60 Hz
Waga pacjenta:	do 160 kg
Pobór mocy:	120 VA
Generowane obciążenie:	0-999 W HYP, 0-999 W LIN
Sterowanie urządzeniem:	ręczny, zewnętrzny analogowy/cyfrowy
Dokładność:	<3 dla $P \leq 100W$, <3% dla $100W < P < 500W$, <5% dla $P > 500W$
Odczyt obciążenia:	cyfrowy, 0-999 rozdzielczości 1 W
Odczyt prędkość pedałowania:	analogowy, 0-180 rpm lub cyfrowy 0-255
Obciążenie wyjściowe:	100, 200 lub 500 W 1 V (max. 999 W)
Wyjście prędkość pedałowania:	$100 \text{ min}^{-1} \sim 1 \text{ V}$
Napięcie wejściowe ster. zewnętrznego:	100,200 lub 500 W $\sim 1 \text{ V}$ (max. 999 W)
Klasa bezpieczeństwa:	I typ B, IEC 601-1 rozdział 18, 19 i 20
Prąd upływu:	< 0,4 mA
Rezystancja izolacji:	> 4 M Ω
Rezystancja uziemienia:	< 0,2 Ω

7.2.3. Metodyka pomiaru:

Ze względu na obciążenie ratownika wysiłkiem podczas badania, próby wysiłkowe są związane z określonym ryzykiem. Dlatego wymaga się, aby ratownik przed rozpoczęciem testu został zbadany przez lekarza odpowiadającego za badanie. Uczestniczący w badaniu ratownik powinien wstrzymać się od picia kawy, mocnej herbaty i palenia tytoniu w dniu badania. Przeciwwskazany jest również większy wysiłek co najmniej 12 godzin przed badaniem. W ramach wywiadu medycznego należy zweryfikować czy w dniu badania nie wystąpiły u badanego spoczynkowe bóle dławicowe lub inne dolegliwości. Bezpośrednio przed badaniem należy:

- pouczyć ratownika o konieczności natychmiastowego zgłoszenia wszelkich dolegliwości;
- przewietrzyć komorę klimatyczną, w której będzie przeprowadzane badanie;
- umieścić na ciele ratownika rejestrator tętna Suunto Memory Belt i sprawdzić jego prawidłowe zamocowanie oraz poprawność działania.



Rys. 7.6. Ratownicy w kamizelkach chłodzących przed i w trakcie badania.

Test wysiłkowy należy wykonać na cykloergometrze rowerowym rozpoczynając badanie od ustalonego wcześniej obciążenia 75W, 100W i 125W odpowiednio na każdym stanowisku, a następnie po 5 minutowym wysiłku i 5 minutowym odpoczynku należy zmienić stanowisko pomiarowe. Protokoły prób wysiłkowych w razie potrzeby dobiera się indywidualnie dla każdego badanego. Najczęściej stosuje się protokół Bruce'a, ale nieraz warto go zmodyfikować, by badany pracownik mógł podjąć wysiłek trwający 6-12 minut. Badania na cyklometrze należy przeprowadzić niezależnie dla ratowników ubranych w kamizelki chłodzące i podejmujących wysiłek fizyczny bez nich Rys. 7.6.

Dla zapewnienia bezpieczeństwa prowadzonych badań w komorze klimatycznej w laboratorium znajdował się również defibrylator ZOLL M series wraz z plecakiem ratowniczym.

Rys. 7.7.



Rys. 7.7. Defibrylator ZOLL M series

Charakterystyka parametrów technicznych defibrylatora ZOLL M series:

- Prostokątny impuls defibrylacyjny ZOLL Rectilinear Biphasic (RLB) - skuteczna defibrylacja i kardiowersja niskimi energia, dwufazowy
- Aktywna kompensacja impedancji ciała pacjenta zapewniająca wysoką skuteczność zabiegów niezależnie od masy ciała pacjenta,
- Redukcja niekorzystnych efektów ubocznych (uszkodzenia mięśnia sercowego, oparzenia),
- Monitorowanie 3 lub 7 odprowadzeń ,
- Wysokokontrastowy monitor elektroluminescencyjny (EL) o przekątnej 5,66 cal,
- Pamięć wewnętrzna epizodów i odcinków EKG, możliwość wprowadzania do pamięci nazw podawanych leków i wykonywanych procedur,
- 3-kanalowa drukarka termiczna,
- Zintegrowane łyżki twarde do defibrylacji,
- Pełne sterowanie defibrylacją za pomocą elementów sterujących na łyżkach i na panelu czołowym,
- Zasilanie sieciowo-akumulatorowe, akumulator kwasowo-ołowiowy bez efektu pamięci, wbudowana ładowarka,
- Możliwość zapisu danych na kartach pamięci i przesyłania danych do komputera.

7.2.4. Realizacja badań w komorze klimatycznej CSRG.

Badanie wpływu kamizelek chłodzących na klimatyczne warunki pracy górników w komorze klimatycznej Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego realizowany był w dwóch etapach w czasie badań zasadniczych trwających od 21.10.2019r. do 29.11.2019r. oraz badań powtórkowych realizowanych od 15.11.2021r. do 26.11.2021r. Badania prowadzone były przez pracowników CSRG S.A., w obecności lekarza nadzorującego oraz pracowników Politechniki Śląskiej: mgr inż. Annę Lubosz oraz dr hab. inż. Jana Drendę prof. PŚ

Celem badań było wykorzystanie komory klimatycznej do wyznaczenia bilansu energetycznego w oparciu o pracę w kamizelkach chłodzących oraz pas z rejestratorem tętna Suunto Memory Belt ze stacją dokującą. Badania zostały przeprowadzone na trzech ochotnikach w wieku około 30, 40 i 50 lat, zatrudnionych aktualnie jako ratownicy górniczy w CSRG S.A, posiadający pozytywne orzeczenie lekarskie o zdolności do pracy, którzy wyrazili pisemną zgodę na poddanie się pomiarom w określonych warunkach. Podczas prowadzenia badania uwzględniono zabezpieczenie w postaci wykwalifikowanego personelu, sprzętu i środków farmakologicznych, na wypadek udzielenia pomocy medycznej lub przeprowadzenia akcji reanimacyjnej. Badanie w komorze klimatycznej prowadzone było w czterech stanach pomiarowych różniących się temperaturą suchą oraz wilgotnością i bez wymuszonego ruchu powietrza każdorazowo przez 1 godzinę.

Bez kamizelek chłodzących:

- temperatura 28 stopni C, wilgotność względna 80-90%,
- temperatura 30 stopni C, wilgotność względna 80-90%,
- temperatura 32 stopni C, wilgotność względna 80-90%,
- temperatura 34 stopni C, wilgotność względna 80-90%

Z kamizelkami chłodzącymi:

- temperatura 28 stopni C, wilgotność względna 80-90%,
- temperatura 30 stopni C, wilgotność względna 80-90%,
- temperatura 32 stopni C, wilgotność względna 80-90%,
- temperatura 34 stopni C, wilgotność względna 80-90%.

Dla urealnienia pracy w warunkach górniczych, badanie ratowników odbywało się na trzech stanowiskach wysiłkowych wyposażonych w cykloergometr, na których górnicy wykonywali pracę o różnym obciążeniu:

a) stanowisko 1 (praca lekka – 120 W/m²) „jazdę” na cykloergometrze z obciążeniem 75 W,
 b) stanowisko 2 (praca umiarkowana - 165 W/m²) - „jazdę” na cykloergometrze z obciążeniem 100 W,

c) stanowisko 3 (praca ciężka - 230 W/m²) - „jazdę” na cykloergometrze z obciążeniem 125 W. Obciążenie wysiłkiem fizycznym miało charakter cykliczny: tzn. w każdym z poziomów obciążenia odbywała się nieprzerwana praca, trwająca 5 minut, następnie badany miał 5 minutowy odpoczynek po którym następowała zmiana stanowiska pomiarowego wg następującego schematu Tabela 7.1

Tabela 7.1 Harmonogram badania ratowników w komorze klimatycznej.

Stanowisko pomiarowe w komorze	Czas badania, [m]												
	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Stanowisko 1	A		C		B		A		C		B		A
Odpoczynek		A		C		B		A		C		B	
Stanowisko 2	B		A		C		B		A		C		B
Odpoczynek		B		A		C		B		A		C	
Stanowisko 3	C		B		A		C		B		A		C
Odpoczynek		C		B		A		C		B		A	

gdzie: A, B, C – badani górnicy w zależności od dnia pomiarowego w kamizelce lub bez kamizelki

Bezpośrednio przed badaniem w komorze klimatycznej w celu określenia utraty masy ciała i zmiany parametrów fizjologicznych badanych w trakcie testu wysiłkowego zostały wykonane następujące czynności:

- przekazanie badanemu krótkich informacji o badaniu oraz sposobie komunikowania się z personelem nadzorującym badanie,
- dokonano wstępnych pomiarów parametrów fizjologicznych badanego takich jak: masa ciała, wzrost badanego, pierwotne tętno spoczynkowe, ciśnienie tętnicze, temperatura wewnętrzna ciała pracownika, temperatura skóry wyznaczona na podstawie czterech punktów pomiarowych Rys.6.20
- ubranie pasa z rejestratorem tętna Suunto Memory Belt

W trakcie badań w komorze nad bezpieczeństwem uczestniczących nadzór pełnił lekarz. Badanie przeprowadzone było w jednakowych warunkach dotyczących samego badanego i środowiska. W tej samej porze dnia, w godzinach porannych w temperaturze pokojowej (w temperaturze powietrza 18-24°C i wilgotności względnej 60-70%). Badany ubrany był w ubiór roboczy: podkoszulek, spodnie robocze, hełm lampa, buty sportowe typu adidas by nie ograniczały ruchów podczas pracy na cykloergometrze.

W celu przygotowania do badania uczestnik został poinformowany wcześniej o:

- nie wykonywaniu ciężkiej pracy fizycznej co najmniej 12 godzin przed wykonaniem próby,
- spożyciu ostatniego lekkiego posiłku 2 – 3 godzin przed badaniem,
- nie spożywaniu napojów zawierających alkohol około 12 godzin przed próbą,
- nie paleniu tytoniu około 3 - 4 godzin przed próbą.

Podczas wykonywania pracy w komorze klimatycznej badani byli poddani ciągłemu monitoringowi zapisu czynności elektrokardiograficznej serca oraz temperatury wewnętrznej ciała. Pomiary były archiwizowane w sposób ciągły oraz w interwałach 5 minutowych z uwzględnieniem rodzaju wykonywanej pracy, wartości temperatury i wilgotności.

Pełen cykl badawczy przedstawiał się następująco:

7.2.5. Przebieg badania w komorze klimatycznej CSRG S.A bez kamizelek chłodzących.

Dzień 1 – 21.10.2019r.

1) Około godziny 7:00 uruchomienie komory klimatycznej w celu dostosowania do warunków temperatury 28 °C i wilgotności względnej 80-90%.

2) Około godziny 9:00 przybycie przebranych w kompletny ubiór roboczy ochotników w wieku 31, 38 i 50 lat.

3) Przedstawienie ochotnikom informacji dla uczestnika oraz podpisanie przez ochotników formularza świadomej zgody wraz z wypełnieniem ankiety medycznej.

4) Pomiar temperatury ciała ochotników przeprowadzany pod pachą.

5) Uzupełnienie przez lekarza karty badania lekarskiego na podstawie wywiadu i dokumentacji medycznej ochotników.

6) Badanie ciśnienia tętniczego, masy ciała w białym, wzrostu przez lekarza.

7) Decyzja lekarza o przeprowadzeniu badania w danym dniu pomiarowym.

8) Założenie przez ochotników pasa Suunto Memory Belt a następnie kompletnej odzieży roboczej.

9) Wejście do komory klimatycznej wraz z termometrem w ustach 5 minut w pozycji spoczynkowej siedzącej na cykloergometrze. Rozpoczęcie 5 minutowej pracy na cykloergometrze z termometrem w ustach a następnie 5 minutowa przerwa i wejście lekarza do komory klimatycznej – sprawdzenie temperatury oraz tętna ochotników. Łączny czas badania obejmował 6 pełnych cykli realizowanych w ciągu 1 godziny.

Σ (5 min. przerwa + 5 min. praca) x 6 razy = 1h

10) Stały monitoring komputerowy systemu Suunto Memory Belt

11) W trakcie badania, koordynator ze strony CSRG S.A. w porozumieniu z lekarzem wypełniał karty pomiarowe ochotników.

12) Po zakończeniu badania lekarz dokonał pomiaru ciśnienia tętniczego, masy ciała w białźnie suchej każdego ochotnika z osobna.

Dzień 2 – 22.10.2019r.

1) Około godziny 7:00 uruchomienie komory klimatycznej w celu dostosowania do warunków temperatury 30 °C i wilgotności względnej 80-90%.

2) Około godziny 9:00 przybycie przebranych w kompletny ubiór roboczy ochotników w wieku 31, 38 i 50 lat.

3) Pomiar temperatury ciała ochotników przeprowadzany pod pachą.

4) Badanie ciśnienia tętniczego, masy ciała w białźnie suchej, wzrostu przez lekarza.

5) Decyzja lekarza o przeprowadzeniu badania w danym dniu pomiarowym.

6) Założenie przez ochotników pasa Suunto Memory Belt a następnie kompletnej odzieży roboczej.

7) Wejście do komory klimatycznej wraz z termometrami w ustach 5 minut w pozycji spoczynkowej siedzącej na cykloergometrze. Rozpoczęcie 5 minutowej pracy na cykloergometrze z termometrem w ustach a następnie 5 minutowa przerwa i wejście lekarza do komory klimatycznej – sprawdzenie temperatury oraz tętna ochotników. Łączny czas badania obejmował 6 pełnych cykli realizowanych w ciągu 1 godziny.

$$\Sigma (5 \text{ min. przerwa} + 5 \text{ min. praca}) \times 6 \text{ razy} = 1 \text{ h}$$

8) Stały monitoring komputerowy systemu Suunto Memory Belt

9) W trakcie badania, koordynator ze strony CSRG S.A. w porozumieniu z lekarzem wypełniał karty pomiarowe ochotników.

10) Po zakończeniu badania lekarz dokonał pomiaru ciśnienia tętniczego, masy ciała w białźnie suchej każdego ochotnika z osobna.

Dzień 3 – 23.10.2019r.

1) Około godziny 7:00 uruchomienie komory klimatycznej w celu dostosowania do warunków temperatury 32 °C i wilgotności względnej 80-90%.

2) Około godziny 9:00 przybycie przebranych w kompletny ubiór roboczy ochotników w wieku 31, 38 i 50 lat.

3) Pomiar temperatury ciała ochotników przeprowadzany pod pachą.

4) Badanie ciśnienia tętniczego, masy ciała w białźnie suchej, wzrostu przez lekarza.

5) Decyzja lekarza o przeprowadzeniu badania w danym dniu pomiarowym.

6) Założenie przez ochotników pasa Suunto Memory Belt a następnie kompletnej odzieży roboczej.

7) Wejście do komory klimatycznej wraz z termometrami w ustach 5 minut w pozycji spoczynkowej siedzącej na cykloergometrze. Rozpoczęcie 5 minutowej pracy na cykloergometrze z termometrem w ustach a następnie wejście lekarza do komory klimatycznej – sprawdzenie temperatury oraz tętna ochotników. Łączny czas badania obejmował 6 pełnych cykli realizowanych w ciągu 1 godziny.

Σ (5 min. przerwa + 5 min. praca) x 6 razy = 1h

8) Stały monitoring komputerowy systemu Suunto Memory Belt

9) W trakcie badania, koordynator ze strony CSRG S.A. w porozumieniu z lekarzem wypełnienia karty pomiarowe ochotników.

10) Po zakończeniu badania lekarz dokonuje pomiaru ciśnienia tętniczego, masy ciała w białej suchej każdego ochotnika z osobna.

Dzień 4 – 24.10.2019r.

1) Około godziny 7:00 uruchomienie komory klimatycznej w celu dostosowania do warunków temperatury 34 °C i wilgotności względnej 80-90%.

2) Około godziny 9:00 przybycie przebranych w kompletny ubiór roboczy ochotników w wieku 31, 38 i 50 lat.

3) Pomiar temperatury ciała ochotników przeprowadzany pod pachą.

4) Badanie ciśnienia tętniczego, masy ciała w białej suchej, wzrostu przez lekarza.

5) Decyzja lekarza o przeprowadzeniu badania w danym dniu pomiarowym.

6) Założenie przez ochotników pasa Suunto Memory Belt a następnie kompletnej odzieży roboczej.

7) Wejście do komory klimatycznej wraz z termometrem w ustach 5 minut w pozycji spoczynkowej siedzącej na cykloergometrze. Rozpoczęcie 5 minutowej pracy na cykloergometrze z termometrem w ustach a następnie wejście lekarza do komory klimatycznej – sprawdzenie temperatury oraz tętna ochotników. Łączny czas badania obejmował 6 pełnych cykli realizowanych w ciągu 1 godziny.

Σ (5 min. przerwa + 5 min. praca) x 6 razy = 1h

8) Stały monitoring komputerowy systemu Suunto Memory Belt

9) W trakcie badania, koordynator ze strony CSRG S.A. w porozumieniu z lekarzem wypełnienia karty pomiarowe ochotników.

10) Po zakończeniu badania lekarz dokonuje pomiaru ciśnienia tętniczego, masy ciała w bieliźnie suchej każdego ochotnika z osobna.

7.2.6. Przebieg badania w komorze klimatycznej CSRG S.A w kamizelkach chłodzących.

Dzień 5 – 28.10.2019r.

1) Około godziny 7:00 uruchomienie komory klimatycznej w celu dostosowania do warunków temperatury 28 °C i wilgotności względnej 80-90%.

2) Około godziny 9:00 przybycie przebranych w kompletny ubiór roboczy ochotników w wieku 31, 38 i 50 lat.

3) Pomiar temperatury ciała ochotników przeprowadzany pod pachą.

4) Badanie ciśnienia tętniczego, masy ciała w bieliźnie suchej, wzrostu przez lekarza.

5) Decyzja lekarza o przeprowadzeniu badania w danym dniu pomiarowym.

6) Założenie przez ochotników pasa Suunto Memory Belt a następnie kompletnej odzieży roboczej oraz kamizelki chłodzącej.

7) Wejście do komory klimatycznej wraz z termometrami w ustach 5 minut w pozycji spoczynkowej siedzącej na cykloergometrze. Rozpoczęcie 5 minutowej pracy na cykloergometrze z termometrem w ustach a następnie wejście lekarza do komory klimatycznej – dokonanie pomiaru temperatury oraz tętna ochotników. Łączny czas badania obejmował 6 pełnych cykli realizowanych w ciągu 1 godziny.

Σ (5 min. przerwa + 5 min. praca) x 6 razy = 1h

8) Stały monitoring komputerowy systemu Suunto Memory Belt

9) W trakcie badania, koordynator ze strony CSRG S.A. w porozumieniu z lekarzem wypełnienia karty pomiarowe ochotników.

10) Po zakończeniu badania lekarz dokonuje pomiaru ciśnienia tętniczego, masy ciała w bieliźnie suchej każdego ochotnika z osobna.

Dzień 6 – 29.10.2019r.

1) Około godziny 7:00 uruchomienie komory klimatycznej w celu dostosowania do warunków temperatury 30 °C i wilgotności względnej 80-90%.

2) Około godziny 9:00 przybycie przebranych w kompletny ubiór roboczy ochotników w wieku 31, 38 i 50 lat.

3) Pomiar temperatury ciała ochotników przeprowadzany pod pachą.

4) Badanie ciśnienia tętniczego, masy ciała w bieliźnie suchej, wzrostu przez lekarza.

5) Decyzja lekarza o przeprowadzeniu badania w danym dniu pomiarowym.

6) Założenie przez ochotników pasa Suunto Memory Belt a następnie kompletnej odzieży roboczej oraz kamizelki chłodzącej.

7) Wejście do komory klimatycznej wraz z termometrami w ustach 5 minut w pozycji spoczynkowej siedzącej na cykloergometrze. Rozpoczęcie 5 minutowej pracy na cykloergometrze z termometrem w ustach a następnie wejście lekarza do komory klimatycznej – dokonanie pomiaru temperatury oraz tętna ochotników. Łączny czas badania obejmował 6 pełnych cykli realizowanych w ciągu 1 godziny.

Σ (5 min. przerwa + 5 min. praca) x 6 razy = 1h

8) Stały monitoring komputerowy systemu Suunto Memory Belt

9) W trakcie badania, koordynator ze strony CSRG S.A. w porozumieniu z lekarzem wypełnienia karty pomiarowe ochotników.

10) Po zakończeniu badania lekarz dokonuje pomiaru ciśnienia tętniczego, masy ciała w białej suchej każdego ochotnika z osobna.

Dzień 7 – 30.10.2019r.

1) Około godziny 7:00 uruchomienie komory klimatycznej w celu dostosowania do warunków temperatury 32 °C i wilgotności względnej 80-90%.

2) Około godziny 9:00 przybycie przebranych w kompletny ubiór roboczy ochotników w wieku 31, 38 i 50 lat.

3) Pomiar temperatury ciała ochotników przeprowadzany pod pachą.

4) Badanie ciśnienia tętniczego, masy ciała w białej suchej, wzrostu przez lekarza.

5) Decyzja lekarza o przeprowadzeniu badania w danym dniu pomiarowym.

6) Założenie przez ochotników pasa Suunto Memory Belt, a następnie kompletnej odzieży roboczej oraz kamizelki chłodzącej.

7) Wejście do komory klimatycznej wraz z termometrami w ustach 5 minut w pozycji spoczynkowej siedzącej na cykloergometrze. Rozpoczęcie 5 minutowej pracy na cykloergometrze z termometrem w ustach a następnie wejście lekarza do komory klimatycznej – dokonanie pomiaru temperatury oraz tętna ochotników. Łączny czas badania obejmował 6 pełnych cykli realizowanych w ciągu 1 godziny.

Σ (5 min. przerwa + 5 min. praca) x 6 razy = 1h

8) Stały monitoring komputerowy systemu Suunto Memory Belt

9) W trakcie badania, koordynator ze strony CSRG S.A. w porozumieniu z lekarzem wypełnienia karty pomiarowe ochotników.

10) Po zakończeniu badania lekarz dokonuje pomiaru ciśnienia tętniczego, masy ciała w bieliźnie suchej każdego ochotnika z osobna.

Dzień 8– 31.10.2019r.

1) Około godziny 7:00 uruchomienie komory klimatycznej w celu dostosowania do warunków temperatury 34 °C i wilgotności względnej 80-90%.

2) Około godziny 9:00 przybycie przebranych w kompletny ubiór roboczy ochotników w wieku 31, 38 i 50 lat.

3) Pomiar temperatury ciała ochotników przeprowadzany pod pachą.

4) Badanie ciśnienia tętniczego, masy ciała w bieliźnie suchej, wzrostu przez lekarza.

5) Decyzja lekarza o przeprowadzeniu badania w danym dniu pomiarowym.

6) Założenie przez ochotników pasa Suunto Memory Belt a następnie kompletnej odzieży roboczej oraz kamizelki chłodzącej.

7) Wejście do komory klimatycznej wraz z termometrami w ustach 5 minut w pozycji spoczynkowej siedzącej na cykloergometrze. Rozpoczęcie 5 minutowej pracy na cykloergometrze z termometrem w ustach a następnie wejście lekarza do komory klimatycznej – dokonanie pomiaru temperatury oraz tętna ochotników. Łączny czas badania obejmował 6 pełnych cykli realizowanych w ciągu 1 godziny.

Σ (5 min. przerwa + 5 min. praca) x 6 razy = 1h

8) Stały monitoring komputerowy systemu Suunto Memory Belt

9) W trakcie badania, koordynator ze strony CSRG S.A. w porozumieniu z lekarzem wypełniał karty pomiarowe ochotników.

10) Po zakończeniu badania lekarz dokonał pomiaru ciśnienia tętniczego, masy ciała w bieliźnie suchej każdego ochotnika z osobna.

11) Ankieta dotycząca warunków pracy w klimacie gorącym oraz współpracy pracownika z kamizelkami chłodzącymi.

Po zakończeniu pierwszego cyklu badań po dwutygodniowej przerwie wg przedstawionego wcześniej schematu nastąpiła powtórka badań bez kamizelek chłodzących w dniach 18-21.11.2019r., a następnie w kamizelkach chłodzących w okresie między 25-29.11.2019r. W związku z ogłoszona epidemią COVID-19 cykl badań został przerwany na okres pandemii i wg przedmiotowego schematu powtórzony po raz trzeci w dniach 15-26.11.2021r. Uśrednione wyniki z trzech pomiarów stały się podstawą przeprowadzonej oceny obciążenia termicznego biorących udział w badaniu ratowników.

7.2.7. Charakterystyka procesów termoregulacji zachodzących w organizmie człowieka.

Z doświadczeń i badań prowadzony przez specjalistów z Centralnej Ratownictwa Górniczego w Bytomiu wynika, iż do głównych mechanizmów termoregulacji (oddawanie ciepła do otoczenia lub zachowania ciepła) należą:

- reakcja naczyniowa - rozszerzenie/skurcz naczyń krwionośnych skóry
- pobudzenie gruczołów potowych,
- drżenie mięśni
- zwiększenie wydzielania hormonów wzmagających metabolizm

Zmiana ukrwienia skóry może prowadzić do utraty lub zachowania ciepła w organizmie. Rozszerzenie naczyń krwionośnych powoduje wzrost skórny przepływu krwi i wzrost temperatury skóry ciała. Jeśli temperatura otoczenia jest niższa od temperatury skóry, reakcja ta prowadzi do zwiększenia straty ciepła przez promieniowanie i konwekcję. Skurcz naczyń krwionośnych powoduje obniżenie temperatury skóry i zmniejszenie szybkości wymiany ciepła z otoczeniem. Zarówno skurcz, jak i rozszerzenie naczyń krwionośnych nie są bez wpływu na pracę układu krążenia. Rozszerzenie naczyń krwionośnych powoduje obniżenie ciśnienia tętniczego krwi, rekompensowanego zwiększeniem częstotliwości skurczów serca. Zwiększenie ukrwienia skóry odbywa się kosztem ukrwienia innych narządów. Podobnie skurcz naczyń krwionośnych prowadzi do wzrostu ciśnienia tętniczego krwi. Początkowo częstość skurczów serca obniża się, a następnie w wyniku wzrostu oporu obwodowego wzrasta. Najbardziej efektywną reakcją organizmu z uwagi na utratę ciepła jest pobudzenie gruczołów potowych; mechanizm ten zostaje uruchomiony przy temperaturze otoczenia 28-32°C lub podczas wykonywania pracy. Pobudzone gruczoły potowe wydzielają dużą ilość potu, który, parując na powierzchni skóry, pobiera energię z ciała, co prowadzi do obniżenia temperatury wewnętrznej. Na wyparowanie jednego litra potu organizm zużywa około 2420 kJ ciepła. Efektywność tego procesu zależy od ilości wydzielanego potu oraz możliwości jego parowania, gdyż pot spływający kroplami nie powoduje utraty ciepła z organizmu. W wilgotnym powietrzu możliwość parowania potu obniża się. Intensywność parowania potu zależy od temperatury wewnętrznej i jest liniowa do około 38°C. Można przyjąć, że powyżej tej temperatury mechanizm termoregulacji przestaje funkcjonować.

Gdy ciepło jest nadal produkowane przez organizm lub dostarczane z zewnątrz, dochodzi do dalszego przyrostu temperatury wewnętrznej i udaru cieplnego. Należy zauważyć, że utrata potu wiąże się z utratą wody i soli przez organizm. Parowanie wody z powierzchni całego ciała zachodzi nieustannie. Parowanie u dorosłego człowieka w spoczynku osiąga średnią wartość około 50 ml/h. Ciężka praca fizyczna w gorącym otoczeniu, wzmacnia parowanie wody do 1500 ml/h. Podczas

intensywnej pracy w środowisku gorącym pracownik może stracić około 8 litrów potu podczas zmiany roboczej. [250]

7.2.8. Analiza wyników badań w komorze klimatycznej CSRG S.A.

We wszystkich badaniach w komorze klimatycznej udział wzięło trzech tych samych ochotników, czynnych zawodowo ratowników górniczych. Wszyscy badani charakteryzowali się dobrym stanem zdrowia, potwierdzonym podczas okresowych specjalistycznych badań lekarskich, wymaganych w przypadku ratowników górniczych. Średnia wieku badanych to 39,6 lat (31, 38, 50 lat). Średni wskaźnik masy ciała BMI ratowników uczestniczących w badaniu wyniósł 25,84, nie znaczną nadwagę stwierdzono u jednego z badanych ratowników. Dokładną charakterystykę badanych osób przedstawiono w Tabeli 7.2.

Tabela 7.2. Charakterystyka podstawowych parametrów fizjologicznych badanych ochotników

Stanowisko	Numer badanego	Wiek	Wzrost	Waga	Graniczna wartość częstości skurczów serca, HR _L	Powierzchnia ciała człowieka, A _{Bu}	Wskaźnik BMI		Wskaźnik wydolności fizycznej PW _{C170}	Wartość pulapu tlenowego VO _{2max}
		lata	[m]	[kg]			liczba/min	[m ²]		
Ratownik górniczy CSRG	1	31	1,76	76,9	165	1,93	24,83	prawidłowa	221	1615,7
	2	38	1,79	89,5	160	2,11	27,93	nadwaga	198	1577,6
	3	50	1,82	82,0	153	2,04	24,76	prawidłowa	218	1612,6

7.2.9. Analiza badanych osób pod kątem wydolności fizjologicznej.

Do oceny wydolności fizycznej ochotników wykorzystano test PWC₁₇₀. (Physical Work Capacity) – próba ta polega na wyliczeniu w watach [W] obciążenie wykonywanego na ergometrze rowerowym, przy którym częstość skurczów serca ustala się na poziomie 170 uderzeń/minutę.

Wartość pracy fizycznej, którą badany może wykonać przy HR= 170 ud./min. stanowi o mierze wydolności tlenowej badanego. Większe wartości pracy wykonywane są przy intensywności tętna 170 ud./min. świadczą o lepszej wydolności badanego, gdyż posiada on większą rezerwę funkcjonalną. Opracowanie tej próby oparło się w głównej mierze na liniowej zależności między obciążeniem, a częstością skurczów serca, w warunkach równowagi czynnościowej. Podczas tego testu badany ochotnik wykonywał dwa wysiłki na ergometrze rowerowym, czas trwania pojedynczego wysiłku wynosi pięć minut. Wysiłki te wykonywane były podczas pracy submaksymalnej o mocy 100 i 150 W. W czasie wykonywania wysiłku rejestrowana była częstość skurczów serca. Wysiłki zostały tak dobrane, aby częstość skurczów serca (średnie HR z trzech

ostatnich minut wysiłku) podczas pierwszego wysiłku nie przekroczyła 130 ud./min., a w czasie trwania drugiego 150 ud./min. Między dwoma wysiłkami ochotnik miał 10 minutową przerwę na odpoczynek.

Wskaźnik wydolności fizycznej wyznaczony został z zależności (7.1). [249]. Im większa wartość wskaźnika tym większa wydolność ochotnika.

$$PWC_{170} = N_1 + (N_2 - N_1) \cdot \frac{170 - HR_1}{HR_2 - HR_1}, \quad (7.1)$$

gdzie: N_1 - obciążenie pierwsze

N_2 - obciążenie drugie

HR_1 - wartość tętna z ostatniej minuty w pierwszym podejściu

HR_2 - wartość tętna z ostatniej minuty w drugim podejściu

Po oszacowaniu wartości PWC_{170} za pomocą metody analitycznej, wyznaczono wielkość pułapu tlenowego korzystając ze wzoru (7.2)

$$VO_{2max} = 1,7 \cdot PWC_{170} + 1240, \text{ [ml/min]} \quad (7.2)$$

gdzie: VO_{2max} –maksymalne pochłanianie tlenu [ml/min]

PWC_{170} – wartość bezwzględna wskaźnika wydolności fizycznej [32].

Podsumowując wyniki przeprowadzonych badań wydolnościowych (Tabela 7.2) można śmiało stwierdzić, iż organizmy ochotników posiadają zbliżoną do siebie wydolność tlenową, która znajduje się na wysokim poziomie.

7.2.10. Analiza utraty masy ciała (Δm_{sw}) w skutek pocenia się podczas badań w komorze klimatycznej CSRG.

Badania przeprowadzone w komorze klimatycznej CSRG potwierdziły, że intensywność utraty masy ciała w wyniku pocenia się zależy nie tylko od warunków panującego w niej mikroklimatu (temperatury i wilgotności), ale również od rodzaju wykonywanej czynności, obciążenia fizycznego, a także i co może najważniejsze od zastosowania bądź nie kamizelek chłodzących, które przy wykorzystaniu tej samej odzieży pozwalają na znaczne obniżenie ilości wydalanego potu a tym samym spadku masy ciała. W trakcie badań które trwały 1 godzinę ratownicy dla powtarzalności wyników nie przyjmowali napojów i płynów uzupełniających, co umożliwiło lepszy obraz zachodzących zmian. W celu dokonania porównań między poszczególnymi wariantami badań (w kamizelkach chłodzących lub bez) ilość potu wydzielanego przez pracownika w czasie badań przeliczano na minutę, albowiem ilość wydzielanego potu zmieniała się znacząco między wariantami, wraz z wzrostem temperatury powietrza. Przy

wartościach temperatury 28 i 30 °C w badaniach bez kamizelek chłodzących intensywność wydzielanego potu wynosiła ok 8g/min, a przy temperaturach 32 i 34°C ilość wydalanego potu wzrastała nawet dwukrotnie do ponad 16g/min. Zgodnie z normą PN-EN-ISO 9886:2005 szybkość pocenia się powinna być ograniczona do 1000 g/h na godzinę dla osób niezaaklimatyzowanych i do 1250 g/h na godzinę dla osób zaaklimatyzowanych. W przeliczeniu na 1 minutę podane wartości stanowią odpowiednio 16,7 i 20,8 g/min. W przeprowadzonych badaniach (Tabela 7.3) średnia intensywność pocenia została przekroczona tylko na stanowisku ratownika numer 2 dla zadanej temperatury 34°C i 90% wilgotności powietrza. W pozostałych próbach średnie wartości utraty masy ciała przy wysiłku bez kamizelek chłodzących wyniosły odpowiednio 500g/h dla temperatury 28 i 30°C i 1000g/h dla temperatury 32°C i 34°C. Przeprowadzenie badania wysiłkowego przy tych samych parametrach klimatycznych w kamizelkach chłodzących zmniejszyło intensywność wydzielania się potu średnio o 40 % do wartości 300 g/h dla temperatur 28 i 30°C i 600g/h dla temperatury 32°C i 34°C. W wyniku zastosowania kamizelek chłodzących opóźniony został też proces samego pocenia się średnio o 20 -30 minut, co nie wątpliwie wpłynęło na poprawę komfortu podczas przeprowadzanego testu wysiłkowego.

7.2.11. Analiza przyrostu temperatury wewnętrznej ciała (t_{cr}) podczas badań w komorze klimatycznej CSRG.

W trakcie prowadzenia badań temperatura wewnętrzna ciała ratownika monitorowana była w sposób ciągły za pomocą termometru lekarskiego umieszczonego w jamie ustnej badanego t_{or} .

Jej przyrost w próbie badawczej bez kamizelek chłodzących wahał się w granicach 0,2 – 0,9°C na godzinę (Tabela 7.4). Różnica przyrostu między badanymi na poszczególnych stanowiskach pomiarowych nie wykazywała znaczących odchyleń. Przyrost temperatury wewnętrznej o wartości 0,9 °C/h na stanowisku nr 2 przy temperaturze powietrza 34 °C i wilgotności 90% wskazuje jednak na znaczne obciążenie organizmu i jest na pograniczu wartości dopuszczalnych które zgodnie z normą PN-EN ISO 9886 nie powinny przekraczać 1,0 °C/h. Na pozostałych stanowiskach wartość ta jest nie co niższa i można ją przyjąć za wartość zbliżoną do naturalnego przebiegu termoregulacji.

Tabela 7.3. Utrata masy ciała ratowników badanych w komorze klimatycznej CSRG w wyniku pocenia się.¶

Ratownik	Wzrost	Waga przed badaniem	Waga kamizelki chłodzącej	Próba pomiarowa	Temperatura w komorze	Wilgotność w komorze	Ciśnieni atmosferyczne	Czas badania	Pomiar wagi ciała w przedziałach czasowych w czasie odpoczynku						Waga po badaniu	Ubytek masy ciała w wyniku pocenia się
									05	15	25	35	45	55		
Lp.	m	kg	kg	-	°C	%	Pa	min								
Test wysiłkowy bez kamizelek chłodzących																
1	1,76	76,9	-	1	28	90	1012	60	76,9	76,9	76,8	76,8	76,7	76,7	76,5	0,4
				2	30	90	1012	60	76,9	76,8	76,7	76,7	76,5	76,5	76,3	0,6
				3	32	90	1012	60	76,9	76,8	76,6	76,6	76,5	76,3	76,1	0,8
				4	34	90	1012	60	76,9	76,8	76,7	76,4	76,2	76,1	76,0	0,9
2	1,79	89,5	-	1	28	90	998	60	89,5	89,4	89,4	89,3	89,2	89,2	88,9	0,6
				2	30	90	998	60	89,5	89,5	89,3	89,2	89,1	89,0	88,7	0,8
				3	32	90	998	60	89,5	89,4	89,4	89,2	89,1	88,8	88,4	1,1
				4	34	90	998	60	89,5	89,2	89,0	88,8	88,7	88,6	88,2	1,3
3	1,82	82,0	-	1	28	90	1017	60	82,0	82,0	81,9	81,9	81,9	81,8	81,7	0,3
				2	30	90	1017	60	82,0	82,0	81,8	81,8	81,7	81,7	81,6	0,4
				3	32	90	1017	60	82,0	81,9	81,8	81,8	81,6	81,6	81,4	0,6
				4	34	90	1017	60	82,0	81,9	81,7	81,5	81,4	81,2	81,0	1,0
Test wysiłkowy w kamizelkach chłodzących																
1	1,76	76,9	2,0	1	28	90	1008	60	78,9	78,9	78,9	78,9	78,8	78,8	78,7	0,2
				2	30	90	1008	60	78,9	78,9	78,9	78,8	78,8	78,7	78,6	0,3
				3	32	90	1008	60	78,9	78,9	78,8	78,8	78,7	78,7	78,5	0,4
				4	34	90	1008	60	78,9	78,9	78,8	78,7	78,7	78,6	78,4	0,5
2	1,79	89,5	2,0	1	28	90	1011	60	91,5	91,5	91,5	91,4	91,4	91,3	91,2	0,3
				2	30	90	1011	60	91,5	91,5	91,5	91,4	91,3	91,2	91,0	0,5
				3	32	90	1011	60	91,5	91,5	91,3	91,3	91,2	91,0	90,8	0,7
				4	34	90	1011	60	91,5	91,4	91,4	91,1	90,1	90,8	90,6	0,9
3	1,82	82,0	2,0	1	28	90	1015	60	84,0	84,0	84,0	84,0	83,9	83,9	83,8	0,2
				2	30	90	1015	60	84,0	84,0	83,9	83,9	83,9	83,8	83,7	0,3
				3	32	90	1015	60	84,0	84,0	83,9	83,9	83,8	83,8	83,6	0,4
				4	34	90	1015	60	84,0	84,0	83,8	83,7	83,6	83,5	83,3	0,7

Tabela. 7.4. Przyrost temperatury wewnętrznej ratowników badanych w komorze klimatycznej CSRG.¶

Ratownik	Wzrost	Waga przed badaniem	Temperatura wewnętrzna przed badaniem	Temperatura kamizelki chłodzącej	Próba pomiarowa	Temperatura w komorze	Wilgotność w komorze	Ciśnieni atmosferyczne	Czas badania	Pomiar temperatury wewnętrznej w przedziałach czasowych w czasie odpoczynku						Temperatura wewnętrzna po teście	Przyrost Temperatury wewnętrznej
										05	15	25	35	45	55		
Lp.	m	kg	°C	°C	-	°C	%	Pa	min	05	15	25	35	45	55	°C	°C
Test wysiłkowy bez kamizelek chłodzących																	
1	1,76	76,9	36,4	-	1	28	90	1012	60	36,4	36,4	36,4	36,6	36,6	35,6	36,6	0,2
					2	30	90	1012	60	36,4	36,4	36,5	36,6	36,6	36,7	36,7	0,3
					3	32	90	1012	60	36,4	36,4	36,6	36,6	36,8	36,8	36,9	0,5
					4	34	90	1012	60	36,4	36,4	36,6	36,8	37,0	37,1	37,1	0,7
2	1,79	89,5	36,8	-	1	28	90	998	60	36,8	36,8	36,8	36,9	36,9	37,0	37,0	0,2
					2	30	90	998	60	36,8	36,8	37,0	37,0	37,1	37,0	37,2	0,4
					3	32	90	998	60	36,8	36,9	37,1	37,0	37,2	37,3	37,5	0,7
					4	34	90	998	60	36,9	37,0	37,0	37,3	37,5	37,7	37,7	0,9
3	1,82	82,0	36,5	-	1	28	90	1017	60	36,5	36,5	36,6	36,6	36,7	36,6	36,7	0,2
					2	30	90	1017	60	36,5	36,5	36,7	36,7	36,7	36,8	36,8	0,3
					3	32	90	1017	60	36,5	36,5	36,6	36,8	36,9	36,9	37,1	0,6
					4	34	90	1017	60	36,5	36,5	36,8	36,9	37,0	37,1	37,2	0,7
Test wysiłkowy w kamizelkach chłodzących																	
1	1,76	76,9	36,4	3,0	1	28	90	1008	60	36,4	36,3	36,0	36,2	36,2	36,3	36,3	-0,1
					2	30	90	1008	60	36,4	36,0	36,0	36,1	36,2	36,3	36,4	0,0
					3	32	90	1008	60	36,4	36,2	36,1	36,1	36,2	36,4	36,5	0,1
					4	34	90	1008	60	36,4	36,1	36,1	36,3	36,3	36,5	36,7	0,3
2	1,79	89,5	36,9	3,0	1	28	90	1011	60	36,9	36,6	36,3	36,3	36,4	36,5	36,5	-0,4
					2	30	90	1011	60	36,9	36,6	36,4	36,4	36,6	36,6	36,7	-0,2
					3	32	90	1011	60	36,9	36,7	36,5	36,5	36,7	36,9	36,9	0,0
					4	34	90	1011	60	36,9	36,7	36,4	36,6	36,6	36,9	37,1	0,2
3	1,82	82,0	36,5	3,0	1	28	90	1015	60	36,5	36,2	36,2	36,4	36,4	36,5	36,5	0,0
					2	30	90	1015	60	36,5	36,3	36,1	36,3	36,5	36,6	36,6	0,1
					3	32	90	1015	60	36,5	36,2	36,2	36,4	36,6	36,8	36,8	0,3
					4	34	90	1015	60	36,5	36,2	36,3	36,6	36,8	37,0	37,0	0,5

Zupełnie inaczej sytuacja wygląda w przypadku testów wykonanych z użyciem kamizelek chłodzących. W warunkach laboratoryjnych komory klimatycznej CSRG można zauważyć zjawisko stabilizacji temperatury wewnętrznej w pierwszym 5 min. etapie badań na wszystkich stanowiskach pomiarowych i stopniowe jej obniżanie przez następne dwa etapy badań o wartość ok. 0,5-0,6 °C. W efekcie końcowym dzięki zastosowaniu kamizelek chłodzących temperatura wewnętrzna organizmu przez pierwszą godzinę prowadzonych badań utrzymuje się w pobliżu temperatury wyjściowej sprzed badania dzięki czemu na stanowisku 2 gdzie przy tych samych parametrach wysiłkowych i klimatycznych w ciągu godzinowego testu bez kamizelek chłodzących odnotowano przyrost temperatury wewnętrznej na poziomie 0,9°C przy zastosowaniu kamizelek chłodzących spadł do 0,2 °C.

Średni przyrost temperatury wewnętrznej badanych ratowników w środowisku o wilgotności względnej 90% w przypadku wysiłku o dużej intensywności, podczas którego pracownicy stosowali lub nie kamizelki chłodzące przedstawiono w Tabeli 7.5

Tabela 7.5. Wartość średniego minutowego przyrostu temperatury podczas pracy w kamizelkach chłodzących i bez nich.

Temperatura otoczenia	Średni minutowy przyrost temperatury mierzonej w jamie ustnej	
	bez kamizelek	w kamizelkach chłodzących
28°C	$\Delta t_{cr} = 0,01^{\circ}\text{C}/\text{min}$	$\Delta t_{cr} = - 0,0083^{\circ}\text{C}/\text{min}$
30°C	$\Delta t_{cr} = 0,016^{\circ}\text{C}/\text{min}$	$\Delta t_{cr} = - 0,0017^{\circ}\text{C}/\text{min}$
32°C	$\Delta t_{cr} = 0,03^{\circ}\text{C}/\text{min}$	$\Delta t_{cr} = 0,0033^{\circ}\text{C}/\text{min}$
34°C	$\Delta t_{cr} = 0,038^{\circ}\text{C}/\text{min}$	$\Delta t_{cr} = 0,0167^{\circ}\text{C}/\text{min}$

7.2.12. Analiza przyrostu temperatury skóry (t_{sk}) podczas badań w komorze klimatycznej CSRG.

Przeprowadzone uśrednione z 4 punktów pomiary temperatury skóry w warunkach laboratoryjnych ratowników biorących udział w badaniu wykazały, w każdym przypadku wysiłku w komorze klimatycznej i obciążenia bez kamizelek chłodzących wzrost temperatury skóry wahał się od 0,4 do 1,4°C w ciągu godziny. Największy przyrost temperatury skóry 1,4°C zanotowano na stanowisku ratownika nr 2 u którego w badaniach wstępnych stwierdzono na podstawie wskaźnika BMI lekką nadwagę i nieco gorszą od pozostałych ochotników wydolność fizyczną (Tabela 7.6). Analizując jednak uśrednione wyniki należy wskazać, iż uśredniona temperatura skóry badanych ratowników wyraźnie wzrastała dopiero przy temperaturze powietrza w komorze wynoszącej 32 i 34 °C oraz wilgotności 90%, i przyrost ten był prawie liniowy. W przypadku temperatur niższych 28 i 30 °C przyrost temperatury skóry był znacznie wolniejszy i występował najczęściej

po 20 minutach badania. Zupełnie inaczej kształtowała się temperatura skóry pracowników ubranych w kamizelki chłodzące, których wyjściowa temperatura z wkładami żelowymi wynosiła 3°C. W pierwszych 5 minutach badań znacznemu ochłodzeniu ulegała temperatura skóry człowieka zlokalizowana w obrębie szyi i prawej łopatki powodując obniżenie uśrednionego wyniku temperatury o ok. 0,7°C, a w kolejnych minutach badania i odpoczynku nawet po 10 min trwania testów temperatura skóry nadal ulegała obniżeniu tym razem w punkcie pomiarowym zlokalizowanym na powierzchni prawej goleni. Po 20 minutowym wysiłku można było zaobserwować nieznaczny wzrost temperatury skóry zwłaszcza przy temperaturze powietrza w komorze wynoszącej 32 i 34°C. Jednak po zakończeniu godzinowego testu przy maksymalnych obciążeniach i najgorszych warunkach klimatycznych temperatura skóry nie osiągnęła temperatury początkowej zmierzonej przed badaniem choć jej przyrost nominalny wahał się w granicach 0,6-0,8 °C. Co ciekaw badani ratownicy nawet na początku testu nie odczuwali chłodu ani żadnego dyskomfortu związanego z użytkowaniem kamizelki chłodzącej. Za to wraz z upływem czasu pracy kamizelki stawały się dla nich zbawienne. Ratownicy podkreślali że praca w kamizelkach chłodzących jest dużo lepsza niż bez nich ponieważ nie odczuwają tak szybko efektu przegrzania organizmu.

7.2.13. Analiza przyrostu tętna (HR) podczas badań w komorze klimatycznej CSRG.

W celu wyznaczenia kosztu energetycznego pracy (tempa metabolizmu) podczas badań w komorze posłużono się metodą opisaną w normie PN-EN ISO 8996:2022 Ergonomia środowiska termicznego - Określanie tempa metabolizmu, poziom 3 (Level 3), Analiza. Norma zakłada powiązanie liniowe pomiędzy mierzoną częstością skurczów serca (HR), częstością skurczów w spoczynku (HR_0), tempem metabolizmu (M) i tempem metabolizmu spoczynkowym (M_0):

$$HR = HR_0 + RM \cdot (M - M_0), \text{ ud./min.} \quad (7.3)$$

gdzie:

HR – zmierzone tetno, ud/min

HR_0 – tętno w spoczynku w naturalnych warunkach termicznych, ud/min

RM – wzrost tętna na jednostkę metabolizmu obliczany z zależności (7.4)

Tabela 7.6. Przyrost temperatury skóry ratowników badanych w komorze klimatycznej-CSRG.¶

Ratownik	Wzrost	Waga przed badaniem	Temperatura skóry przed badaniem	Temperatura kamizelki chłodzącej	Próba pomiarowa	Temperatura w komorze	Wilgotność w komorze	Ciśnieni atmosferyczne	Czas badania	Pomiar temperatury wewnętrznej w przedziałach czasowych w czasie odpoczynku						Temperatura skóry po teście	Przyrost Temperatury skóry
										05	15	25	35	45	55		
Lp.	m	kg	°C	°C	-	°C	%	Pa	min	05	15	25	35	45	55	°C	°C
Test wysiłkowy bez kamizelek chłodzących																	
1	1,76	76,9	36,8	-	1	28	90	1012	60	36,8	36,8	36,9	36,9	37,2	37,1	37,1	0,4
					2	30	90	1012	60	36,8	36,8	37,0	37,0	37,1	37,3	37,3	0,5
					3	32	90	1012	60	36,8	36,9	37,0	37,2	37,4	37,4	37,6	0,7
					4	34	90	1012	60	36,8	36,8	37,2	37,2	37,5	37,7	37,8	1,0
2	1,79	89,5	37,2	-	1	28	90	998	60	37,2	37,2	37,4	37,4	37,5	37,6	37,7	0,5
					2	30	90	998	60	37,2	37,3	37,5	37,5	37,7	37,7	37,8	0,6
					3	32	90	998	60	37,2	37,2	37,5	37,6	37,9	38,0	38,2	1,0
					4	34	90	998	60	37,2	37,2	37,6	37,8	38,0	38,2	38,6	1,4
3	1,82	82,0	36,9	-	1	28	90	1017	60	36,9	36,9	37,0	37,0	37,2	37,3	37,3	0,4
					2	30	90	1017	60	36,9	36,9	37,1	37,1	37,3	37,3	37,5	0,6
					3	32	90	1017	60	36,9	36,9	37,2	37,2	37,4	37,6	37,8	0,9
					4	34	90	1017	60	36,9	37,0	37,3	37,3	37,5	37,7	37,9	1,0
Test wysiłkowy w kamizelkach chłodzących																	
1	1,76	76,9	36,8	3,0	1	28	90	1008	60	36,2	36,0	36,0	36,2	36,2	36,4	36,4	-0,4
					2	30	90	1008	60	36,0	36,0	36,0	36,1	36,2	36,3	36,3	-0,5
					3	32	90	1008	60	36,0	36,0	36,1	36,3	36,4	36,4	36,5	-0,3
					4	34	90	1008	60	36,1	36,1	36,3	36,4	36,5	36,5	36,7	-0,1
2	1,79	89,5	37,2	3,0	1	28	90	1011	60	36,5	36,3	36,3	36,4	36,4	36,6	36,6	-0,6
					2	30	90	1011	60	36,5	36,3	36,3	36,4	36,5	36,6	36,7	-0,5
					3	32	90	1011	60	36,5	36,3	36,4	36,5	36,7	36,7	36,9	-0,3
					4	34	90	1011	60	36,5	36,3	36,4	36,7	36,8	36,9	37,1	-0,1
3	1,82	82,0	36,9	3,0	1	28	90	1015	60	36,2	36,0	36,2	36,2	36,4	36,4	36,4	-0,5
					2	30	90	1015	60	36,2	36,0	36,2	36,3	36,5	36,6	36,6	-0,3
					3	32	90	1015	60	36,4	36,2	36,3	36,5	36,5	36,8	36,8	-0,1
					4	34	90	1015	60	36,4	36,3	36,4	36,6	36,6	36,7	36,9	0,0

$$RM = \frac{HR_{max} - HR_0}{MWC - M_0}, \text{ ud/min} \quad (7.4)$$

M – tempo metabolizmu, W
M₀ – temp metabolizmu w spoczynku, W
MWC – zdolność wysiłkowa, W
HR_{max} – maksymalne tętno. ud/min

Zgodnie z cytowaną normą wartości maksymalnej częstości skurczów serca HR_{max} i zdolności wysiłkowej MWC dla mężczyzn są przyjmowane wg empirycznych równań 7.5 i 7.6

$$HR_{max} = 208 - 0,7 \cdot Age, \text{ ud/min} \quad (7.5)$$

$$MWC = (19,45 - 0,133 \cdot Age) \cdot W_{bl}, \text{ W} \quad (7.6)$$

gdzie:

Age – wiek uczestnika w latach, lata
W_{bl} – beztłuszczowa masa ciała, kg

Beztłuszczowa masa ciała [251] dla mężczyzn jest szacowana przy użyciu następującego wzorów (7.7):

$$W_{bl} = \left(1,08 - \frac{W_b}{80 \cdot H_b^2}\right) \cdot W_b \cdot \text{kg} \quad (7.7)$$

gdzie:

W_b - masa ciała badanego, kg;
H_b - wysokość ciała, m.

Spoczynkowa przemiana materii M₀, [W]: nie może być dla mężczyzn mniejsza niż M₀=60 – A_{Du} (A_{Du} -pole powierzchni ciała). Z kolei maksymalna częstość akcji serca nie większa niż HR_{max} = 208 - 0,7 - Age. Zakładając, że HR₀ = 70 uderzeń·min⁻¹ i M₀ = 100 W dla ratowników poddawanych testom w komorze klimatycznej CSRG tempo metabolizmu dla danego okresu tak jak w przypadków górników zatrudnionych w rejonie ściany 146 w pokładzie 414/2 kopalni X wyznaczono zgodnie z normą PN-EN ISO 8996:2022 na podstawie Tabeli 6.20 i równania (6.8). Do obliczeń przyjęto średnią wartość HR podczas 60 min. sesji ćwiczeń liczonej jako średnia z 12 interwałów pomiarowych (naprzemiennych w czasie obciążeń i odpoczynku). Wyniki z pomiarów przyrostu tętna zestawiono w Tabeli 7.7, a na Rys. 7.7 i 7.8. przedstawiono przykładowe zmiany w rejestracji tętna na stanowisku ratownika nr 2 i 3. wykonującego testy w kamizelce chłodzącej lub bez niej przy zadanej temperaturze powietrza 34°C i wilgotności 90%.

Tabela. 7.7. Przyrost tętna ratowników badanych w komorze klimatycznej CSRG.

Ratownik	Wzrost	Waga przed badaniem	Temp. wewnętrzna przed badaniem	Uśrednione tętno spoczynkowe HR ₀	Próba pomiarowa	Temper. w komorze	Wilgotność w komorze	Ciśnieni atmosferyczne	Pomiar tętna w poszczególnych przedziałach czasowych w czasie całego testu												Tętno po teście	Średnie tętno w teście	Przyrost tętna			
									1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55				60	ud/min	
Lp.	m	kg	°C	ud/min	-	°C	%	Pa																		
Test wysiłkowy bez kamizelek chłodzących																										
1	1,76	76,9	36,4	64	1	28	90	1012	71	68	82	80	98	86	104	80	117	87	119	94	120	90	93	56		
					2	30	90	1012	73	72	92	84	101	90	112	86	119	90	120	98	123	94	97	59		
					3	32	90	1012	76	70	94	88	108	94	118	92	125	94	127	108	131	101	102	67		
					4	34	90	1012	80	74	98	86	116	92	120	88	128	96	130	111	135	115	105	71		
2	1,79	89,5	36,8	72	1	28	90	998	82	70	88	82	92	83	88	89	92	94	118	98	126	96	93	54		
					2	30	90	998	88	73	104	88	116	87	122	95	120	100	128	104	132	96	104	60		
					3	32	90	998	96	78	115	94	128	90	136	98	138	114	148	116	145	110	115	73		
					4	34	90	998	101	80	123	101	135	99	148	107	146	124	154	125	150	122	123	78		
3	1,82	82,0	36,5	62	1	28	90	1017	72	65	83	68	90	76	96	78	102	82	106	79	118	82	86	56		
					2	30	90	1017	75	69	88	73	94	83	103	85	114	93	118	88	126	84	92	64		
					3	32	90	1017	80	71	96	78	105	87	116	89	124	104	126	96	138	85	100	76		
					4	34	90	1017	78	74	110	83	116	91	128	94	131	110	132	101	142	103	107	80		
Test wysiłkowy w kamizelkach chłodzących																										
1	1,76	76,9	36,4	64	1	28	90	1008	84	70	87	65	89	68	99	69	94	72	96	76	101	71	82	37		
					2	30	90	1008	89	72	93	69	95	73	103	73	98	76	102	79	106	75	86	42		
					3	32	90	1008	98	78	100	73	102	77	116	76	109	82	115	82	119	76	93	55		
					4	34	90	1008	101	80	104	78	106	79	120	80	113	84	119	88	121	80	97	57		
2	1,79	89,5	36,9	72	1	28	90	1011	99	72	108	74	92	74	96	73	99	70	102	78	108	71	87	36		
					2	30	90	1011	109	73	111	76	96	76	102	79	104	74	108	80	112	74	91	40		
					3	32	90	1011	120	75	126	88	110	78	112	83	116	78	119	86	120	76	99	48		
					4	34	90	1011	130	79	138	95	116	80	118	86	120	80	122	82	126	81	104	54		
3	1,82	82,0	36,5	62	1	28	90	1015	84	65	90	68	88	70	100	76	104	72	91	76	102	73	83	40		
					2	30	90	1015	90	70	91	73	93	72	107	74	109	76	96	78	106	75	86	44		
					3	32	90	1015	102	76	108	79	104	76	116	85	117	84	108	90	118	79	96	56		
					4	34	90	1015	110	83	115	87	110	79	125	83	126	88	110	84	124	83	101	62		

Z przeprowadzonych badań wynika, iż w przypadku wysiłku o dużej intensywności w samym ubraniu bez kamizelek chłodzących średni przyrost HR powyżej 1 uderzenia na minutę pojawiły się już przy temperaturze 30°C i wilgotności 90% czyli już w drugim cyklu. Natomiast swoją maksymalną wartość bliską 2 uderzeniom na minutę osiągała przy tej samej wilgotności i obciążeniu fizycznym w temperaturze 34°C.



Rys. 7.7 Przykładowy wykres tetna ratownika nr 2 bez kamizelki (wykres górny) i w kamizelce (wykres dolny) przy temperaturze 34°C i wilgotności 90%

Z kolei zastosowanie kamizelek chłodzących spowodowało początkowy nieznaczny wzrost tetna na wszystkich badanych stanowiskach w komorze klimatycznej CSRG, prawdopodobnie spowodowany dodatkową wagą kamizelki którą ratownik założył (2,1 kg) oraz koniecznością

przytosowania się organizmu badanego ratownika do temperatury 3°C kamizelki chłodzacej. Jednak w następnym cyklach przeprowadzonego testu widać wyraźne ustabilizowanie przyrostu HR nawet przy wyższych temperaturach tj. 32 i 34°C. Średni przyrost HR na wszystkich badanych stanowiskach ratowników wyposażonych w kamizelki chłodzące w ciągu całego 60 minutowego testu wahał się w granicach od 0,6 do 1,0 na minutę i był prawie dwukrotnie niższy od wartości uzyskanych w czasie testu bez kamizelek chłodzących. Użytkowanie kamizelki chłodzacej podczas badań w komorze klimatycznej CSRG jednoznacznie wskazuje na obniżenie parametrów fizjologicznych badanych ratowników związanych z przyrostem tętna w wyniku jej zastosowania oraz zwiększenie komfortu pracy co potwierdzają również sami uczestnicy badania.



Rys. 7.8 Przykładowy wykres tetna ratownika nr 3 bez kamizelki (wykres górny) i w kamizelce (wykrest dolny) przy temperaturze 34°C i wilgotności 90%

Pomiar częstotliwości skurczów serca w komorze klimatycznej CSRG pozwolił również na wyznaczenie wydatku energetycznego na poszczególnych stanowiskach pracy. Wydatek

Tabela. 7.8. Wydatek energetyczny wyznaczony dla ratowników badanych w komorze klimatycznej CSRG.

Ratownik	Wskaźnik RM z Tabeli 6.20	Próba pomiarowa	Temper. w komorze	Wilgotność w komorze	Wydatek energetyczny dla poszczególnych przedziałów czasowych w czasie całego testu. wyznaczony na podstawie zależności: $M = (HR - 70)/RM + 100$ wg PN-EN ISO 8996:2022-06 [W]													Średni wydatek energetyczny
					Lp.	-	-	°C	%	1	5	10	15	20	25	30	35	
Test wysiłkowy bez kamizelek chłodzących																		
1	9,72	1	28	90	197,5	145,0	390,0	355,0	669,9	459,9	774,9	355,0	1002,3	477,4	1037,3	599,9	1054,8	578,4
		2	30	90	232,5	215,0	564,9	424,9	722,4	529,9	914,8	459,9	1037,3	529,9	1054,8	669,9	1107,3	651,0
		3	32	90	285,0	180,0	599,9	494,9	844,8	599,9	1019,8	564,9	1142,3	599,9	1177,3	844,8	1247,3	738,5
		4	34	90	355,0	250,0	669,9	459,9	984,8	564,9	1054,8	494,9	1194,8	634,9	1229,8	897,3	1317,2	777,6
2	10,65	1	28	90	410,0	180,0	525,1	410,0	601,7	429,2	525,1	544,2	601,7	640,1	1100,2	716,8	1253,5	610,6
		2	30	90	525,1	237,5	831,8	525,1	1061,8	505,9	1176,8	659,3	1138,5	755,1	1291,9	831,8	1368,5	839,2
		3	32	90	678,4	333,4	1042,7	640,1	1291,9	563,4	1445,2	716,8	1483,6	1023,5	1675,3	1061,8	1617,8	1044,1
		4	34	90	774,3	371,7	1196,0	774,3	1426,1	735,9	1675,3	889,3	1636,9	1215,2	1790,3	1234,4	1713,6	1187,2
3	10,21	1	28	90	216,8	88,1	418,9	143,2	547,6	290,3	657,8	327,0	768,1	400,5	841,6	345,4	1062,1	469,8
		2	30	90	271,9	161,6	510,8	235,1	621,1	418,9	786,5	455,7	988,6	602,7	1062,1	510,8	1209,2	602,7
		3	32	90	363,8	198,4	657,8	327,0	823,2	492,4	1025,4	529,2	1172,4	804,9	1392,9	657,8	1503,2	765,3
		4	34	90	327,0	253,5	915,1	418,9	1025,4	565,9	1245,9	621,1	1301,1	915,1	1503,2	749,7	1631,9	882,6
Test wysiłkowy w kamizelkach chłodzących																		
1	9,72	1	28	90	424,9	180,0	477,4	92,5	512,4	145,0	687,4	162,5	599,9	215,0	634,9	285,0	722,4	395,3
		2	30	90	512,4	215,0	582,4	162,5	617,4	232,5	757,4	232,5	669,9	285,0	739,9	337,5	809,9	473,4
		3	32	90	669,9	320,0	704,9	232,5	739,9	302,5	984,8	285,0	862,3	390,0	967,3	390,0	1037,3	606,6
		4	34	90	722,4	355,0	774,9	320,0	809,9	337,5	1054,8	355,0	932,3	424,9	1037,3	494,9	1072,3	668,6
2	10,65	1	28	90	735,9	218,3	908,5	256,7	601,7	256,7	678,4	237,5	735,9	180,0	793,4	333,4	908,5	526,5
		2	30	90	927,6	237,5	966,0	295,0	678,4	295,0	793,4	352,5	831,8	256,7	908,5	371,7	985,1	607,6
		3	32	90	1138,5	275,9	1253,5	525,1	946,8	333,4	985,1	429,2	1061,8	333,4	1119,3	486,7	1138,5	771,3
		4	34	90	1330,2	352,5	1483,6	659,3	1061,8	371,7	1100,2	486,7	1138,5	371,7	1176,8	410,0	1253,5	861,3
3	10,21	1	28	90	437,3	88,1	547,6	143,2	510,8	180,0	731,3	290,3	804,9	216,8	565,9	290,3	768,1	428,8
		2	30	90	547,6	180,0	565,9	235,1	602,7	216,8	860,0	253,5	896,7	290,3	657,8	327,0	841,6	498,1
		3	32	90	768,1	290,3	878,4	345,4	804,9	290,3	1025,4	455,7	1043,8	437,3	878,4	547,6	841,6	662,1
		4	34	90	915,1	418,9	1007,0	492,4	915,1	345,4	1190,8	418,9	1209,2	510,8	915,1	437,3	1172,4	765,3

energetyczny wyznaczono tak jak w przypadku pracowników zatrudnionych w ścianie 146 w pokładzie 414/2 kopalni X w oparciu o założenia normy PN-EN ISO 8996:2022-06. Uzyskane wyniki przedstawione w Tabeli 7.8 pokazują że wysiłek o dużej intensywności w trudnych warunkach klimatycznych i praca w ubraniu wpływają w znaczącym stopniu na wzrost wydatku energetycznego i szybsze zmęczenia pracowników. Wyznaczona wartość wydatku energetycznego na poszczególnych stanowiskach pomiarowych w trakcie godzinowego testy w komorze klimatycznej CSRG wahała się przy tej samej wilgotności 90% w granicach od 439,8 do 1187,2W. W warunkach naturalnych, w wyrobiskach górniczych aby umożliwić odprowadzenie nadmiaru ciepła skumulowanego w organizmie człowieka w związku z wysiłkiem fizycznym i pracą, pracownicy zdejmują z siebie odzież roboczą. Warunkach laboratoryjnych w trakcie prowadzonego testu pracownicy takiej możliwości nie posiadali, a więc określone wartości wydatku energetycznego odpowiadają pracy ciężkiej lub bardzo ciężkiej.

Zgoła odmiennie sytuacja wyglądała w przypadku wykorzystania kamizelek chłodzących. Wraz z obniżeniem tętna zmniejszył się również w sposób istotny całkowity wydatek energetyczny na wszystkich stanowiskach pracy osiągając wartości od 395,3 do 771,3W.

Średnia różnica wydatku energetycznego między pracą w ubraniu roboczym bez kamizelek chłodzących, a pracą w ubraniu roboczym z kamizelkami chłodzącymi na badanych stanowiskach pomiarowych w komorze klimatycznej wynosiła w zależności od temperatury powietrza od 102,7 W dla temperatury powietrza 28°C do 184,1 W dla temperatury powietrza 34°C (Tabela 7.9).

Tabela 7.9. Różnica wydatku energetycznego podczas testu w kamizelkach chłodzących i bez nich w komorze klimatycznej CSRG.

Temperatura otoczenia	Średni wydatek energetyczny na stanowisku pomiarowym		Różnica wydatku energetycznego
	bez kamizelek	w kamizelkach chłodzących	
28°C	M = 552,9 W	M = 450,2 W	102,7 W
30°C	M = 697,6 W	M = 526,4 W	171,3 W
32°C	M = 849,3 W	M = 680,0 W	169,3 W
34°C	M = 949,1 W	M = 765,0 W	184,1 W

7.2.14. Podsumowanie badań prowadzonych w komorze klimatycznej CSRG z wykorzystaniem kamizelek chłodzących.

Przedstawione w rozdziale 7.3. wyniki badań wykonanych w komorze klimatycznej w Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego S.A. wykazały, iż wykorzystanie kamizelek chłodzących w warunkach zagrożenia klimatycznego może istotnie wpłynąć na poprawę komfortu pracy nie tylko osób niezaaklimatyzowanych ale również tych zaaklimatyzowanych o dużej wydolności fizycznej. Uzyskane wyniki pokazują, że kamizelki chłodzące wpływają na wszystkie badane parametry fizjologiczne ratowników przyczyniając się do ich znacznego obniżenia. W wyniku ich zastosowania oraz pochłaniania znacznej ilości wydzielonego ciepła z organizmu człowieka przez wkłady żelowe kamizelek o blisko 40% zmniejszyła się utrata masy ciała (Δm_{sw}) ratownika w skutek pocenia się. Temperatura wewnętrzna ciała i (t_{cr}) powierzchniowa skóry (t_{sk}) przez całą godzinę testu oscylowały w wartościach zbliżonych do temperatury początkowej zmierzonej przed badaniem i był zdecydowanie niższy od odpowiadających im temperatur: wewnętrznej i powierzchniowej skóry osiąganych przez ratowników badanych w samym ubraniu roboczym. Duża zmienność i złożoność opisywanych mechanizmów fizjologicznych i środowiskowych oraz ich współzależność wpłynęła w efekcie końcowym na znaczny spadek tętna, a co za tym idzie również wydatku energetycznego u osób badanych w kamizelkach chłodzących. Stało się tak przede wszystkim wskutek wymiany ciepła na drodze przewodzenia między wkładami żelowymi kamizelki chłodzącej a organizmem człowieka w wyniku której nadmiar ciepła został pochłonięty przez wkłady żelowe podnosząc ich temperaturę nawet o 10 °C (z 3°C do 13°C) w trakcie godzinowego testu w komorze klimatycznej przy temperaturze powietrza 34°C.

Uzyskane wyniki badań w komorze klimatycznej CSRG S.A. w Bytomiu pokazują iż praca w kamizelkach chłodzących nie wpływa negatywnie na stan zdrowia badanych oraz pogorszenie ich parametrów fizjologicznych a wręcz przeciwnie wyposażenie ratowników w kamizelki chłodzące poprawia komfort pracy w trudnych warunkach klimatycznych. Można zatem przyjąć, iż podobna sytuacja będzie miała miejsce również w trakcie wykorzystania kamizelek chłodzących na co dzień przez górników w warunkach dołowych w wyrobiskach zagrożonych klimatycznie.

7.3. Badanie wpływu kamizelek chłodzących na pracę górników kopalni Y zatrudnionych w wyrobiskach o przekroczonych parametrach klimatycznych.

Po przeprowadzeniu badań laboratoryjnych w komorze klimatycznej Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego S.A. w Bytomiu i uzyskaniu pozytywnych wyników badań wskazujących na możliwość praktycznego wykorzystania na co dzień kamizelek chłodzących przez górników kopalń zatrudnionych w warunkach zagrożenia klimatycznego. Przystąpiono do ostatniego etapu

badania przewidzianego ponownie do zrealizowania na stanowiskach pracy w warunkach dołowych kopalni węgla kamiennego.

Celem tego etapu badań w warunkach rzeczywistych było określenie zależności pomiędzy wydatkiem energetycznym a parametrami fizjologicznymi pracowników, takimi jak tętno, temperatura skóry, temperatura wewnętrzna, ilość wydzielanego potu podczas wysiłku fizycznego odpowiadającego pracy w standardowym ubraniu roboczym i pracy w ubraniu wyposażonym dodatkowo w kamizelkę chłodzącą, które potwierdziły by lub zaprzeczyły przyjętej hipotezie, że **„Powszechne wykorzystanie kamizelek chłodzących do prac w wyrobiskach górniczych kopalń głębinowych obniży ryzyko przegrzania organizmu i zwiększy bezpieczeństwo pracy”**, a jednocześnie określiły zasady ich użytkowania i częstotliwość wymiany w kładów żelowych.

7.3.1. Charakterystyka obiektu badawczego.

Z uwagi na okres pandemii COVID-19, oraz wprowadzone obostrzenia Rządowe w zakresie lockdown-u w Polsce polegające m.in. na ograniczeniu przebywania na terenie zakładów strategiczny (w tym kopalń) petentów oraz osób niebędących pracownikami, przedmiotowe badania naukowe musiały zostać przerwane na okres prawie dwóch lat skutkiem czego nie udało się dokończyć badań w rejonie ściany 146 w pokł 414/2 kopalni X, która przeszła w stan likwidacji.

Z uwagi na zaistniałą sytuację badania w zakresie wykorzystania kamizelek chłodzących do prac w wyrobiskach górniczych kopalń głębinowych pozwalających na obniżenie ryzyka przegrzania organizmu i zwiększenia bezpieczeństwa pracy przeprowadzono w wyrobiskach kopalni Y o podobnych parametrach środowiska górniczego jaki panowały w rejonie ściany 146 kopalni X.

Kopalnia Y posiada dwa główne poziomy udostępniające zlokalizowane na poziomie 774 i 930m. W czasie wykonywania pomiarów klimatycznych kopalnia nie prowadziła już robót eksploatacyjnych. Główne roboty górnicze związane były z likwidacją wyrobisk górniczych i upraszczaniem model docelowego kopalni. Nie mniej rejon w których prowadzone są aktualne roboty likwidacyjne charakteryzują się dużym zagrożeniem klimatycznym z uwagi na znaczne globalne ograniczenie prędkości powietrza. Rejon w którym zdecydowano się przeprowadzić badania z użyciem kamizelek chłodzących w celu określenia oceny ich wpływu na parametry życiowe górników i komfort pracy zlokalizowany został w rejonie chodnika wentylacyjnego w pokładzie 620 i likwidowanej przecznicy materiałowej na głębokości 890m (Rys. 7.9).

W rejon prowadzonych robót likwidacyjnych powietrze kierowane było z poziomu 930m na poziom 774m w rejon szybu wydechowego Witczak, zlokalizowanego w północnowschodniej części obszaru górniczego kopalni Y. Pracownicy zatrudnieni w tym rejonie wykonywali prace związane z murowaniem tamy izolacyjnej w przecznicy materiałowej oraz montażem rurociągu podsadzkowego ϕ 150 niezbędnego do podawania pyłów dymnicowych za tamę izolacyjną celem podsadzenia nieczynnych wyrobisk górniczych. Transport materiału: rur podsadzkowych, kostki piasku i cementu odbywał się kolejką podwieszoną z rejonu załadunku zlokalizowanego w przekopie wschodnim na poz.930m w rejon chodnika wentylacyjnego w pokładzie 620 skąd następnie odbywał się transport ręczny na miejsce wykonywania robót w przecznicy materiałowej. Z uwagi na trudne warunki klimatyczne czas pracy górników na poszczególnych stanowiskach pracy został skrócony do 6 godzin. Najdłużej trwały czynności związane bezpośrednio z procesem likwidacji, które trwały od 274 do 295 min. natomiast najkrócej czynności związane z powrotem ze stanowiska pracy i wyjazdem średnio ok. 36 min. (Tabela 7.10)

Tabela 7.10. Średni czas trwania poszczególnych etapów procesu pracy w rejonie przecznicy materiałowej.

LP.	Stanowisko pracy	Czas trwania poszczególnych etapów pracy			
		Czas trwania zmiany roboczej	Zjazd z droga na stanowisko pracy	Praca na stanowisku	Powrót ze stanowiska wraz z wyjazdem
		min			
1-3	Górnik przy transporcie ręcznym	360	40	285	35
4-5	Górnik przy montażu rur na wysokości	360	46	274	40
6-7	Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	360	46	274	40
8	Przodowy brygady	360	44	278	38
9-10	Górnik przy transporcie mechanicznym	360	35	295	30
11	Osoba dozoru	360	40	285	35

7.3.1. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie amerykańskiej temperatury efektywnej ATE

Wartość wskaźnika amerykańskiej temperatury efektywnej na poszczególnych stanowiskach pracy oddziału górnictwo-wydobywczego została wyznaczona na podstawie nomogramu dla ludzi ubranych. W celu wyznaczenia wskaźnika konieczna była znajomość trzech parametrów powietrza takich jak: temperatura termometru suchego t_a , temperatura termometru wilgotnego t_w oraz prędkość powietrza v . Następnie otrzymane wartości pomiarowe zostały porównane z wartością normatywną która wynosi 25°C . Gdy amerykańska temperatura efektywna zawarta jest w przedziale $25^{\circ}\text{C} \div 30^{\circ}\text{C}$ a jednocześnie temperatura sucha wynosi powyżej 28°C czas pracy pracowników należy skrócić. Z kolei gdy wartości ATE przekracza 30°C praca górników jest zabroniona.

Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie amerykańskiej temperatury efektywnej ATE dla wszystkich 11 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y zestawiono w Tabeli 7.11.

Z przeprowadzonej analizy ryzyka wynika, iż w badanym rejonie ściany 146 ze względu na amerykańską temperaturę efektywną ATE praktycznie wszystkie stanowiska pracy charakteryzują się dużym ryzykiem pod względem zagrożenia klimatycznego uprawniającym do skrócenia czasu pracy do 6 godzin. Najgorzej sytuacja wygląda na stanowisku górnika zatrudnionego przy montażu rur podsadzkowych gdzie średnia temperatura mierzona termometrem suchym przekracza $29,6^{\circ}\text{C}$, a wskaźnik ATE wynosi $28,5^{\circ}\text{C}$ oraz na stanowisku górnika przodowego gdzie wskaźnik ATE wynosi $28,0^{\circ}\text{C}$. Praca na wskazanych stanowiskach przy obecnych warunkach klimatycznych może być niebezpieczna dla zatrudnionych tam pracowników dlatego kopalnia wprowadziła rotację zatrudnienia na tych stanowiskach. Przeprowadzona ocena ryzyka na podstawie wskaźnika ATE w odniesieniu do wszystkich stanowisk pracy zlokalizowanych w rejonie przecznicy materiałowej wskazała na duże ryzyko zagrożenia klimatycznego i konieczność skrócenia czasu pracy do 6 godzin w tym rejonie.

Tabela 7.11. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie amerykańskiej temperatury efektywnej ATE dla wszystkich stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie przeczniczy materiałowej kopalni Y

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej wg. Rys.7.12	Temp sucha	Temp wilgotna	Prędkość powietrza	Wskaźnik ATE	Wskaźnik ATE na stanowisku	Wartość ATE stanowiąca wartość normatywną	Ryzyko zawodowe zagrożeniem klimatycznym
		$t_{ds}, ^\circ\text{C}$	$t_{dw}, ^\circ\text{C}$	$V, \text{m/s}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	
Górnik przy transporcie mechanicznym, rozładunku i załadunku materiału	1	26,8	25,4	1,2	24,19	25,2	25,0	Ryzyko duże - należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	2	27,6	26,2	1,1	25,24			
	3	28,4	27,0	1,1	26,12			
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	3	28,4	27,8	1,1	26,52	27,3	25,0	Ryzyko duże - należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	4	28,6	28,2	1,1	27,14			
	5	29,4	29,0	0,9	28,32			
Górnik przy montażu rur na wysokości	5	29,4	29,0	0,9	28,32	28,5	25,0	Ryzyko bardzo duże - praca niezalecana.
	6	29,8	29,4	0,9	28,77			
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	4	28,6	28,2	1,1	27,14	27,7	25,0	Ryzyko duże - należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	5	29,4	29,0	0,9	28,32			
Górnik przodowy	5	29,4	29,0	0,9	28,32	28,0	25,0	Ryzyko bardzo duże - praca niezalecana
	6	29,8	29,4	0,9	28,77			
	7	28,8	28,0	1,1	26,98			
Osoba dozoru	2	27,6	26,2	1,1	25,24	27,1	25,0	Ryzyko duże - należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	6	29,8	29,4	0,9	28,77			
	4	28,6	28,2	1,1	27,14			

7.3.2. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie temperatura zastępcza klimatu t_{zk} .

Wartość temperatury zastępczej na poszczególnych stanowiskach pracy oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y w rejonie przecznicy materiałowej została wyznaczona na podstawie nomogramu dla ludzi ubranych. W celu wyznaczenia wskaźnika konieczna była znajomość trzech parametrów powietrza takich jak: temperatura termometru suchego t_a , **temperatura termometru wilgotnego t_w oraz prędkość powietrza v . Następnie otrzymane wartości pomiarowe zostały porównane z wartością normatywną dla pracy umiarkowanej - $t_{zk} < 28,0^\circ\text{C}$, zaproponowanej przez Jana Drendę.**

Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie temperatury zastępczej klimatu t_{zk} dla wszystkich 6 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y zestawiono w Tabeli 7.12.

Z przeprowadzonej analizy ryzyka wynika, iż w badanym rejonie przecznicy materiałowej wyznaczona temperatura zastępcza klimatu przekraczająca ustalona wartość normatywną 28°C występuje tylko na dwóch stanowiskach pracy tj. górnika przy montażu rur podsadzkowych i górnika przodowego. Dla tych stanowisk ryzyko związane z zagrożeniem klimatycznym zostało określone na poziomie dużym mogącym zagrażać życiu i zdrowiu zatrudnionym na nich górników. Pozostałe stanowiska pracy w rejonie przecznicy materiałowej z uwagi na obliczony wskaźnik temperatury zastępczej klimatu t_{zk} zaliczono do kategorii ryzyka średniego dzięki czemu możliwe jest wykonywanie na nich pracy przez całą zmianę roboczą trwającą 7,5 godz.

7.3.3. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika WBGT.

Do określenia wartości wskaźnika WBGT, a następnie na jego podstawie do oszacowania ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym według normy PN-EN ISO 7243:2018:01 użyty został wzór dla warunków bez promieniowania słonecznego mający postać wzoru 4.16. Następnie otrzymana wartość wskaźnika WBGT została porównana z wartością odniesienia wskaźnika WBGT znajdującą się w Tabeli 4.6. Aby określić poziom tempa metabolizmu konieczny do poznania wartości odniesienia wskaźnika WBGT użyto Tabeli 4.6. Wyznaczenia wskaźnika WBGT możliwe było dzięki znajomości takich parametrów powietrza jak: temperatura poczerwionej kuli (t_g) oraz temperatura naturalnej wilgotnej (t_{nw})

Tabela 7.12. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie amerykańskiej temperatury zastępczej klimatu t_{zk} dla wszystkich stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej wg. Rys. 7.12	Temp sucha	Temp wilgotna	Prędkość powietrza	Wskaźnik t_{zk}	Wskaźnik t_{zk} na stanowisku	Wartość t_{zk} stanowiąca wartość normatywną	Ryzyko zawodowe zagrożeniem klimatycznego
		t_{ds} , °C	t_w , °C	V , m/s	°C	°C	°C	
Górnik przy transporcie mechanicznym, rozładunku i załadunku materiału	1	26,8	25,4	1,2	24,76	25,6	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	2	27,6	26,2	1,1	25,66			
	3	28,4	27,0	1,1	26,46			
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	3	28,4	27,8	1,1	26,94	27,5	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	4	28,6	28,2	1,1	27,26			
	5	29,4	29,0	0,9	28,26			
Górnik przy montażu rur na wysokości	5	29,4	29,0	0,9	28,26	28,5	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	6	29,8	29,4	0,9	28,66			
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	4	28,6	28,2	1,1	27,26	27,8	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	5	29,4	29,0	0,9	28,26			
Górnik przodowy	5	29,4	29,0	0,9	28,26	28,0	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	6	29,8	29,4	0,9	28,66			
	7	28,8	28,0	1,1	27,22			
Osoba dozoru	2	27,6	26,2	1,1	25,66	27,2	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	6	29,8	29,4	0,9	28,66			
	4	28,6	28,2	1,1	27,26			

Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika WBGT dla wszystkich stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y zestawiono w Tabeli 7.13. Na podstawie przeprowadzanych badań można zaobserwować, iż wartość wskaźnika WBGT osiągnęła najwyższe wartości przekraczające temperaturę 29 °C na stanowisku górnika przy montażu rur i górnika przodowego. Praca w takich warunkach może wywoływać bóle głowy, zasłabnięcia a nawet udary cieplne. Nieznacznie lepiej jest na stanowisku górnika przy ręcznym transporcie materiału i budowie tamy izolacyjnej wartość wskaźnika WBGT przekroczyła temperaturę 28,5 °C co wskazuje na trudne warunki pracy mogące źle wpływać na organizm ludzki dlatego i na tych stanowiskach niezbędne jest skrócenie czasu pracy do 6 godzin. Przeprowadzone szacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika WBGT w efekcie aż 5 z 6 stanowisk pracy w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y zaliczono do kategorii ryzyka dużego co wymusza podjęcie działań przez służby kopalni zmierzających do obniżenia niekorzystnych paramentów powietrza i poprawy komfortu pracy.

7.3.4. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie śląskiej temperatury zastępczej $T\acute{S}$.

Wartość śląskiej temperatury zastępczej dla wszystkich stanowisk pracy zlokalizowanych w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y została wyznaczona w oparciu o równanie (4.7) na podstawie takich parametrów jak temperatura sucha i wilgotna powietrza, prędkość przepływu powietrza oraz wilgotność względna. **Następnie otrzymane wartości pomiarowe zostały porównane z wartościami normatywnymi zawartymi w Tabeli 4.2.**, z których wynika, że jeżeli wartość wskaźnika $T\acute{S}$ mieści się w przedziale $26^{\circ}\text{C} \leq T\acute{S} < 30^{\circ}\text{C}$ to należy skrócić nominalny czas pracy na danym stanowisku do 6 godzin, a powyżej wartości $T\acute{S} > 30^{\circ}\text{C}$ prac nie może być wykonywana.

Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie śląskiej temperatury zastępczej $T\acute{S}$ dla wszystkich stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y zestawiono w Tabeli 7.14

Na podstawie przeprowadzonych szacowania zagrożenia klimatycznego wg śląskiej temperatury zastępczej $T\acute{S}$, aż pięć stanowisk pracy zakwalifikowano do kategorii ryzyka dużego dla których wyznaczona wartość wskaźnika $T\acute{S}$ mieściła się w przedziale $26^{\circ}\text{C} \leq T\acute{S} < 30^{\circ}\text{C}$ uprawniającym do obniżenia czasu pracy z 7,5 do 6 godzin oraz wskazującym na fakt, iż warunki klimatyczne panujące w przecznicy materiałowej i wyrobiskach przyległych mogą oddziaływać szkodliwe na organizmy zatrudnionych tam górników. Jedynie na stanowiskach górnika przy transporcie kolejką podwieszaną oceniono jako średnie nie zagrażające zdrowiu załogi.

Tabela 7.13. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika WBGT dla wszystkich stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej wg. Rys. 7.12	Temp poczynionej kuli	Temp wilgotna	Prędkość powietrz	Wskaźnik WBGT	Wskaźnik WBGT na stanowisku	Wartość t_{k} stanowiąca wartość normatywną	Ryzyko zawodowe zagrożeniem klimatycznego
		$t_g, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$V, \text{m/s}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	
Górnik przy transporcie mechanicznym, rozładunku i załadunku materiału	1	26,2	25,4	1,2	25,86	26,7	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	2	27,4	26,2	1,1	26,66			
	3	28,2	27,0	1,1	27,46			
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	3	28,2	27,8	1,1	28,00	28,5	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	4	28,6	28,2	1,1	28,33			
	5	29,2	29,0	0,9	29,13			
Górnik przy montażu rur na wysokości	5	29,2	29,0	0,9	29,13	29,3	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	6	29,8	29,4	0,9	29,53			
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	4	28,6	28,2	1,1	28,33	28,7	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	5	29,2	29,0	0,9	29,13			
Górnik przodowy	5	29,2	29,0	0,9	29,13	29,0	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	6	29,8	29,4	0,9	29,53			
	7	28,6	28,0	1,1	28,26			
Osoba dozoru	2	27,4	26,2	1,1	26,66	28,2	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	6	29,8	29,4	0,9	29,53			
	4	28,6	28,2	1,1	28,33			

Tabela 7.14. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika ślaskiej temperatury zastępczej TŚ dla wszystkich stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej wg. Rys. 7.12	Temp Poczernionej kuli	Temp wilgotna	Prędkość powietrza	Wilgotność względna	Wskaźnik TŚ	Wskaźnik TŚ na stanowisku	Wartość TŚ stanowiąca wartość normatywną	Ryzyko zawodowe zagrożeniem klimatycznym
		$t_g, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$V, \text{m/s}$	$\phi, \%$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	
Górnik przy transporcie mechanicznym, rozładunku i załadunku materiału	1	26,2	25,4	1,2	89,39	24,96	25,8	26,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	2	27,4	26,2	1,1	89,55	25,83			
	3	28,2	27,0	1,1	89,72	26,63			
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	3	28,2	27,8	1,1	95,52	27,20	27,7	26,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	4	28,6	28,2	1,1	97,02	27,54			
	5	29,2	29,0	0,9	97,06	28,48			
Górnik przy montażu rur na wysokości	5	29,2	29,0	0,9	97,06	28,48	28,7	26,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	6	29,8	29,4	0,9	97,08	28,88			
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	4	28,6	28,2	1,1	97,02	27,54	28,0	26,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	5	29,2	29,0	0,9	97,06	28,48			
Górnik przodowy	5	29,2	29,0	0,9	97,06	28,48	28,3	26,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	6	29,8	29,4	0,9	97,08	28,88			
	7	28,6	28,0	1,1	94,10	27,45			
Osoba dozoru	2	27,4	26,2	1,1	89,55	25,83	27,4	26,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godzin
	6	29,8	29,4	0,9	97,08	28,88			
	4	28,6	28,2	1,1	97,02	27,54			

7.3.5. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ .

Do oceny mikroklimatu za pomocą wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ na poszczególnych stanowiskach pracy oddziału górnictwo wentylacyjnego zlokalizowanych w rejonie przecznicy materiałowej został użyty nomogram dla wilgotności powietrza $\phi=100\%$. **Przyjęto że załoga pracująca w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y w czasie wykonywania swoich obowiązków jest ubrana w odzież roboczą oraz że wszyscy pracownicy są zaaklimatyzowani do środowiska gorącego. W ten sposób znając prędkość powietrza oraz temperaturę suchą możliwe było wyznaczenia wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ .** W ramach badań założono że wartość najwyższych dopuszczalnych natężeń dla wskaźnika dyskomfortu cieplnego na podstawie Tabeli 4.1 jest równa $NDN=0,80$. Natomiast powyżej wartości 1,0 dyskomfort jest niebezpieczny dla zdrowia; praca lub przebywanie człowieka w takich warunkach powinny być zabronione.

Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ dla wszystkich stanowisk pracy zidentyfikowanych materiałowej kopalni Y zestawiono w Tabeli 7.15

Na podstawie analizy wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ na wszystkich stanowiskach oddziału górnictwo wentylacyjnego zlokalizowanych w przecznicy materiałowej i wyrobiskach przyległych zagrożenie klimatyczne określono duże ponieważ pracownicy mają do czynienia z nieprzyjawnymi warunkami mikroklimatycznymi środowiska. Na zdecydowanej większości stanowisk wartość wskaźnika jest na poziomie przekraczającym wartość graniczną $\delta = 1,0$ dla bezpiecznej pracy. Wartość wskaźnika δ mniejszą od 1,0 oznaczającą bardzo trudne warunki klimatyczne uprawniające do skrócenia czasu pracy z 7,5 do 6 godzin stwierdzono tylko na stanowisku górnika przy transporcie mechanicznym. Uwzględniając wyniki wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ można stwierdzić, że praca w takim środowisku może być przyczyną szeregu dolegliwości takich jak bóle głowy, omdlenia cieplne, kurcze cieplne, wyczerpania cieplne, zmiany skórne a nawet udary cieplne Oznacza to że dyskomfort cieplny na 5 z 6 stanowisk pracy w przecznicy materiałowej i wyrobiskach przyległych jest zbyt niebezpieczny dla zdrowia i, że praca w takich warunkach powinna być zakazana. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono również, że ryzyko zawodowe związane z oddziaływaniem zagrożenia klimatycznego dla całej załogi oddziału górnictwo wentylacyjnego jest duże i należy bezzwłocznie dążyć do poprawy warunków klimatycznych w rejonie.

Tabela 7.15. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie dyskomfortu cieplnego δ dla wszystkich TŚ dla wszystkich stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej wg. Rys.7.12	Temp sucha	Temp wilgotna	Prędkość powietrza	Wskaźnik δ	Wskaźnik δ na stanowisku	Wartość δ stanowiąca wartość normatywną	Ryzyko zawodowe zagrożeniem klimatycznym
		t_a , °C	t_w , °C	V , m/s	-	-	-	
Górnik przy transporcie mechanicznym, rozładunku i załadunku materiału	1	26,8	25,4	1,2	0,90	0,96	0,8	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	2	27,6	26,2	1,1	0,96			
	3	28,4	27,0	1,1	1,01			
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	3	28,4	27,8	1,1	1,03	1,07	0,8	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	4	28,6	28,2	1,1	1,06			
	5	29,4	29,0	0,9	1,12			
Górnik przy montażu rur na wysokości	5	29,4	29,0	0,9	1,12	1,14	0,8	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	6	29,8	29,4	0,9	1,15			
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	4	28,6	28,2	1,1	1,06	1,09	0,8	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	5	29,4	29,0	0,9	1,12			
Górnik przodowy	5	29,4	29,0	0,9	1,12	1,11	0,8	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	6	29,8	29,4	0,9	1,15			
	7	28,8	28,0	1,1	1,05			
Osoba dozoru	2	27,6	26,2	1,1	0,96	1,06	0,8	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	6	29,8	29,4	0,9	1,15			
	4	28,6	28,2	1,1	1,06			

7.3.6. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie aktualnie obowiązujących przepisów górniczych dla kopalń węgla kamiennego.

Według obowiązujących przepisów górniczych w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny oceny zagrożenia klimatycznego dokonuje się przez określenie parametrów mikroklimatu powietrza kopalnianego na podstawie pomiaru temperatury powietrza termometrem suchym na stanowisku pracy lub pomiaru intensywności chłodzenia na stanowisku pracy [31]. W zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny temperatura powietrza na stanowiskach pracy nie może przekraczać 28°C przy wykonywaniu pomiarów termometrem suchym, a intensywność chłodzenia nie może być mniejsza od 11 katastopni wilgotnych (Kw). W przypadku gdy temperatura powietrza mierzona termometrem suchym na stanowiskach pracy jest większa od 28°C, a nie przekracza 33°C, lub intensywność chłodzenia jest mniejsza od 11 katastopni wilgotnych (Kw) ogranicza się wymiar czasu pracy do 6 godzin, liczony łącznie z czasem zjazdu pod ziemię i wyjazdu na powierzchnię, dla pracowników przebywających na tych stanowiskach pracy dłużej niż przez 2 godziny. W przypadku gdy temperatura powietrza mierzona termometrem suchym na stanowiskach pracy przekracza 33°C, mogą być prowadzone tylko prace w ramach akcji ratowniczej [33].

Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie obowiązujących przepisów górniczych dla wszystkich stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y zestawiono w Tabeli 7.16

W wyniku przeprowadzonej analizy ryzyka związanego z występującym zagrożeniem klimatycznym na stanowiskach pracy oddziały górnico wentylacyjnego w oparciu o obowiązujące przepisy górnicze wynika, iż zdecydowana z 6 stanowisk pracy 5 stanowisk pracy zlokalizowanych w rejonie przecznicy materiałowej znajduje się w strefie ryzyka dużego związanego z oddziaływaniem wysokiej temperatury przekraczającej 28 °C bądź ograniczonej intensywności chłodzenia mniejszej od 11 katastopni wilgotnych skutkiem czego nominalny czas pracy należało na tych stanowiskach skrócić do 6 godzin. Stanowiskiem na którym odnotowano średni poziom ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym w rejonie przecznicy materiałowej jest stanowisko górnik przy transporcie mechanicznym kolejką podwieszoną.

Tabela 7.16. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie obowiązujących przepisów górniczych dla wszystkich stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej wg. Rys. 7.1	Temp sucha	Temp wilgotna	Prędkość powietrz	Intensywność chłodzenia, K_w	Wskaźnik K_w na stanowisku	Wskaźnik t_a na stanowisku	Wartość stanowiąca wartość normatywna		Ryzyko zawodowe zagrożeniem klimatycznego
		$t_a, ^\circ C$	$t_w, ^\circ C$	$V, m/s$	$K_w, mcal/cm^2 s$	$t_a, ^\circ C$	K_w	$t_a, ^\circ C$		
Górnik przy transporcie mechanicznym, rozładunku i załadunku materiału	1	26,8	25,4	1,2	14,1	12,5	27,6	11,0	28,0	Ryzyko średnie – warunki dopuszczalne nominalny czas pracy 7,5 godziny
	2	27,6	26,2	1,1	12,7					
	3	28,4	27,8	1,1	10,7					
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	3	28,4	27,8	1,1	10,7	9,9	28,8	11,0	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	4	28,6	28,2	1,1	10,3					
	5	29,4	29,0	0,9	8,8					
Górnik przy montażu rur na wysokości	5	29,4	29,0	0,9	8,8	8,5	29,6	11,0	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	6	29,8	29,4	0,9	8,3					
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	4	28,6	28,2	1,1	10,3	9,5	29,0	11,0	28,0	Ryzyko duże – należy skrócić czas pracy do 6 godz.
	5	29,4	29,0	0,9	8,8					
Górnik przodowy	5	29,4	29,0	0,9	8,8	9,2	29,3	11,0	28,0	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	6	29,8	29,4	0,9	8,3					
	7	28,8	28,0	1,1	10,5					
Osoba dozoru	2	27,6	26,2	1,1	12,7	10,4	28,7	11,0	28,0	Ryzyko duże – praca stanowi zagrożenie dla zdrowia
	6	29,8	29,4	0,9	8,3					
	4	28,6	28,2	1,1	10,3					

7.3.7. Podsumowanie przeprowadzonej oceny ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym w oparciu o zmierzone parametry powietrza i wyznaczone wskaźniki.

Przeprowadzona ocena ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na stanowiskach pracy w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y wykazała, iż przy tych samych parametrach i wartościach pomiarowych wyniki oceny ryzyka są różne w zależności od obranej metody badawczej zagrożenia klimatycznego (Tabela 7.17). Najbardziej rygorystyczną pod względem zagrożenia klimatycznego okazała się metoda oceny oparta na wskaźniku dyskomfortu cieplnego δ , która wszystkie stanowiska pracy oddziału górnictwo wentylacyjnego zidentyfikował jako stanowiska o dużym potencjale ryzyka wskazującym na bardzo trudne warunki klimatyczne uprawniające nie tylko do skrócenia czasu pracy z uwagi na przekroczenie wartości normatywnych ale również wskazująca na zagrożenie zdrowia górników w związku z przekroczeniem górnej wartości tego wskaźnika co może być przyczyną szeregu dolegliwości takich jak bóle głowy, omdlenia cieplne, kurcze cieplne, wyczerpania cieplne, zmiany skórne a nawet udaru cieplnego. Z kolei najbardziej łagodnie trudne warunki klimatyczne w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y zidentyfikowane zostały w oparciu o wskaźnik temperatury zastępczej klimatu t_{zk} na podstawie którego tylko na dwóch stanowiskach pracy: górnika zatrudnionego przy montażu rurociągu podsadzkowego na wysokości i górnika przodowego zidentyfikowano duże zagrożenie. W porównaniu z wynikami oszacowanego ryzyka na podstawie obowiązujących od sierpnia 2019r. przepisów górniczych w oparciu o temperaturę mierzoną termometrem suchym i określoną intensywność chłodzenia gdzie stwierdzono pięć stanowisk o dużym poziomie ryzyka w związku z zagrożeniem klimatycznym można stwierdzić, iż zarówno górnicy jak i reprezentujące ich organizacje związkowe miały słuszość w zakresie oprotestowania zmiany przepisów wprowadzających do oceny zagrożenia klimatycznego w kopalniach węgla kamiennego temperatury zastępczej klimatu.

W tym miejscu warto jednak zaznaczyć, iż przeprowadzone badania warunków klimatycznych na potrzeby pracy doktorskiej prowadzone były wśród pracowników kopalni Y, którzy zgodzili się wziąć udział w próbie badawczej w ubraniu. W normalnym cyklu pracy pracownicy zatrudnieni w warunkach zagrożenia klimatycznego pracują bez ubrań co zmienia wartość poszczególnych wskaźników. Na przykład dla tych samych parametrów powietrza wartość wskaźnika dyskomfortu cieplnego dla osoby rozebranej pracującej tylko w bieliźnie jest znacznie mniejszy co przedstawiono już wcześniej na Rys. 6.16.

Tabela 7.17. Poziom ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym dla wszystkich stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y

Stanowisko	Numer stacji pomiarowej wg. Rys. 7.1	Wskaźnik ATE na stanowisku	Wskaźnik t_{sk} na stanowisku	Wskaźnik WBGT na stanowisku	Wskaźnik TŚ na stanowisku	Wskaźnik δ na stanowisku	Obowiązujące przepisy górnicze
		°C	°C	°C	°C	-	
Górnik przy transporcie mechanicznym, rozładunku i załadunku materiału	1	Duże	Średnie	Średnie	Średnie	Duże	Średnie
	2						
	3						
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	3	Duże	Średnie	Duże	Duże	Duże	Duże
	4						
	5						
Górnik przy montażu rur na wysokości	5	Duże	Duże	Duże	Duże	Duże	Duże
	6						
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	4	Duże	Średnie	Duże	Duże	Duże	Duże
	5						
Górnik przodowy	5	Duże	Duże	Duże	Duże	Duże	Duże
	6						
	7						
Osoba dozoru	2	Duże	Średnie	Duże	Duże	Duże	Duże
	6						
	4						

7.3.8. Parametry fizjologiczne charakteryzujące obciążenie termiczne i sposób ich pomiaru.

Badania fizjologiczne pracowników oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y zatrudnionych w rejonie przecznicy materiałowej prowadzone były z następujących warunków:

- badana osoba jest w pełni poinformowana o dyskomforcie i potencjalnym ryzyku związanym z techniką pomiarową, oraz dobrowolnie wyraża zgodę na takie pomiary,
- pomiary nie powodują ryzyka dla badanej osoby, które jest niedopuszczalne w świetle ogólnych lub szczegółowych norm etycznych.

W warunkach prowadzonych badań równocześnie z pomiarami parametrów fizycznych powietrza na stanowiskach pracy oddziału górniczo wentylacyjnego zlokalizowanych w rejonie likwidowanej przecznicy materiałowej prowadzone były pomiary fizjologiczne wybranych grup pracowników uwzględniające m.in.:

- wzrost,
- waga,
- pomiar temperatury wewnętrznej ciała,
- częstość skurczów serca
- ciśnienie tętnicze krwi,
- liczba oddechów.

7.3.9. Specyfikacja przyrządów pomiarowych i metody pomiarowe wykorzystywane w trakcie pomiarów w warunkach dołowych.

Do pomiarów parametrów fizjologicznych prowadzonych w wyrobiskach górniczych kopalni Y wykorzystano wcześniej już zastosowaną aparaturę pomiarową wykorzystaną do badania pracowników zatrudnionych w rejonie ściany 146 w pokładzie 414/2 kopalni X opisaną w rozdziale 6.3.1. Prowadzone pomiary fizjologiczne były przeprowadzane osobno dla pracowników ubranych w odzież roboczą i pracowników wyposażonych dodatkowo w kamizelki chłodzące.

Do pomiaru przyrostu temperatury kamizelek chłodzących w trakcie wykonywanej pracy przez górników oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y wykorzystano dodatkowo kamerę termowizyjną Model UCF 9000.



Rys. 7.10 Kamera termowizyjna model UCF 9000

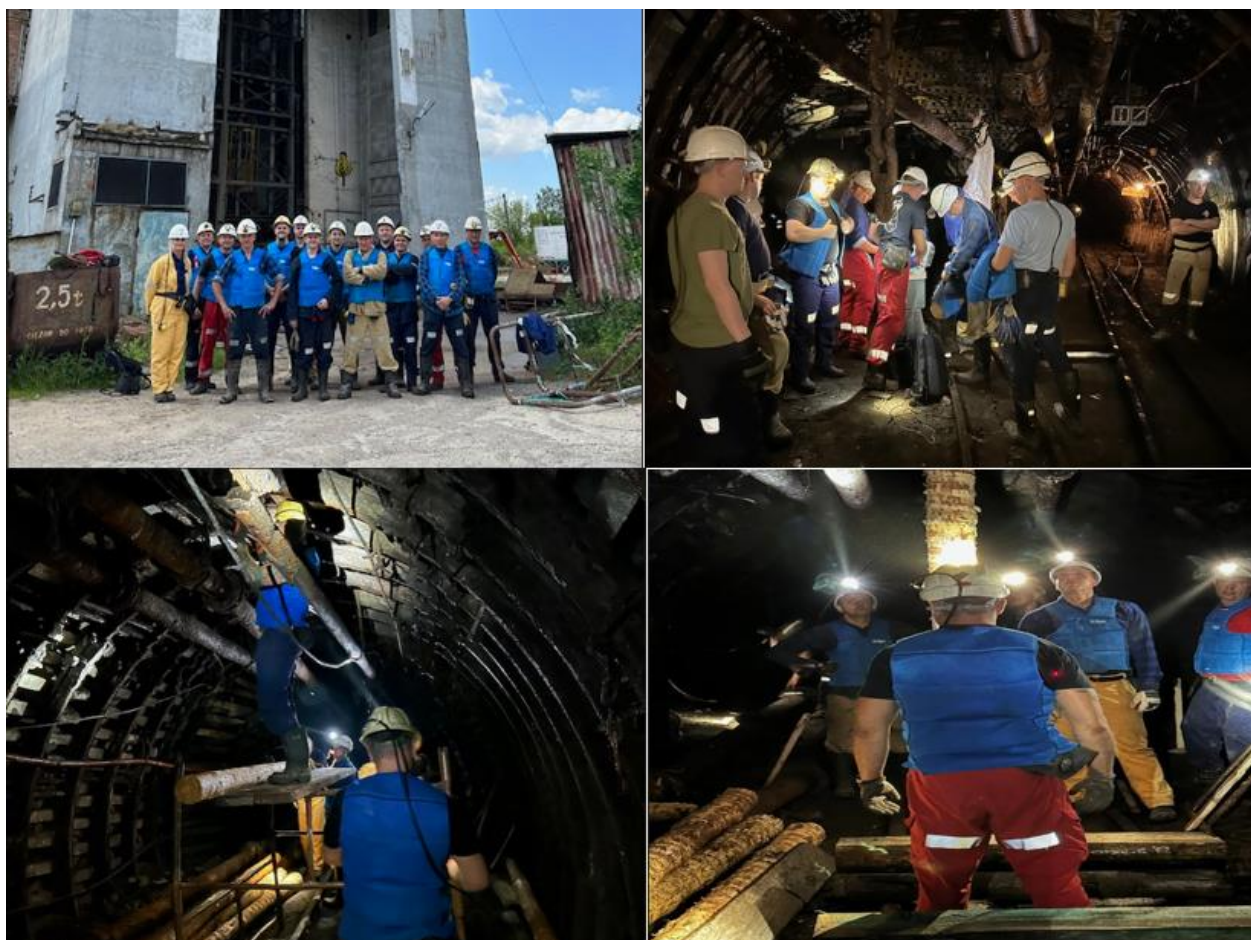
Kamera termowizyjna jest przenośnym przyrządem elektronicznym. Można ją użytkować w ogniu i w sytuacjach niebezpiecznych, jak również w zwykłych warunkach otoczenia. Kamera termowizyjna UCF 9000 została przystosowana do pracy w wysokiej temperatury, dymie i wodzie natryskowej. Charakteryzuje się zwartą budową. Trzymając ją w ręku można nią mierzyć nie tylko temperaturę danego obiektu ale również za pomocą odpowiednich przycisków i dodatkowego obiektywu prowadzić zapis rzeczywistego obrazu, zarówno w postaci nagrań wideo, jak i zdjęć.

Metodyka pomiaru

Nacisnąć przycisk WŁ./WYŁ. i przytrzymać przez około 3 sekundy, aby włączyć kamerę termowizyjną. Wyświetla się ekran powitalny, a następnie obraz termowizyjny. Kamera termowizyjna pracuje w trybie standardowym. Po uruchomieniu kamery należy wykierować ją w kierunku badanego obiektu i nacisnąć przycisk „Prawa strzałka/Wskaźnik laserowy” i puścić. Na ekranie kamery pojawia się żądany obiekt wraz różnobarwną kolorystyką obrazującą zakres temperatur jak na Rys. 7.10. Za pomocą przycisku strzał/zoom wykonujemy archiwizujemy zapisany obraz. Po opuszczeniu kamery w dół kamera wchodzi w stan uśpienia.

7.3.10. Oszacowanie ryzyka zawodowego związanego z zagrożeniem klimatycznym na stanowiskach pracy oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y w oparciu o zmierzone parametry fizjologiczne pracownika.

Celem realizacji tego etapu badań było określenie obciążenia termicznego pracowników na podstawie parametrów fizjologicznych zgodnie z normą PN-EN – ISO 9886:2005 oraz określenie wydolności fizycznej badanych osób zatrudnionych na stanowiskach pracy oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y zatrudnionych w rejonie likwidowanej przecznicy materiałowej (Rys.7.11).



Rys. 7.11 Przykładowe stanowiska pracy w rejonie likwidowanej przecznicy materiałowej.

Badania przeprowadzono w oparciu o metodykę przedstawioną w rozdziale 6.3.2 wśród 11 pracowników zatrudnionych na 6 stanowiskach pracy.

Analizą objęto tylko tych pracowników, którzy wyrazili na to zgodę i u których na podstawie wywiadu medycznego:

- nie stwierdzono dolegliwości zdrowotnych,
- nie znajdowali się pod wpływem leków,
- zadeklarowali dobre samopoczucie,

- zadeklarowali iż stronią od używek mogących wpłynąć na wynik badania.

Czas trwania prowadzonych pomiarów fizjologicznych był zgodny z średnim czasem trwania poszczególnych etapów procesu pracy w rejonie likwidowanej przecznicy materiałowej przedstawionych w Tabeli 7.10.

Pracownik w trakcie badań w każdej chwili mógł zrezygnować z udziału w badaniu, a osoba nadzorująca przebieg badań miała obowiązek poinformować pracownika o ewentualnych niepokojących sytuacjach zdrowotnych i w razie zagrożenia odsunąć pracownika od dalszego udziału w teście.

Badanie wpływu kamizelek chłodzących na klimatyczne warunki pracy górników w rejonie likwidowanej przecznicy materiałowej kopalni Y prowadzone były w dwóch sesjach pomiarowych trwających od 12.06.2023r. do 15.12.2023r. W pierwszym dniu badań prowadzone były pomiary fizjologiczne pracownika w standardowym ubraniu roboczym składającym się z: podkoszulka, spodni roboczych, bluzy roboczej, koszuli, hełmu, lampy, pokrowca na lampę, aparatu ucieczkowego oraz butów gumowych dopuszczonych do pracy pod ziemią. W drugim dniu badawczym pomiary fizjologiczne pracowników odbywały się w standardowym ubraniu roboczym wyposażonym dodatkowo w kamizelkę chłodzącą z wkładami żelowymi firmy Dräger model CVP 5220 o wadze 2,1 kg i temperaturze początkowej 3°C. W razie potrzeby i pogorszenia komfortu pracy w trakcie trwania zmiany roboczej następowała wymiana wkładów żelowych kamizelki pracownika. W dniu trzecim i czwartym dniu pomiarowym powtórzono badania wykonywane wcześniej.

Wszystkie badania prowadzone były w obecności kierownika kopalnianej stacji ratownictwa górniczego, służb BHP kopalni oraz pracowników Politechniki Śląskiej: mgr inż. Anny Lubosz oraz dr hab. inż. Jana Drendy prof. PŚ., dr inż. Piotra Mocek. Charakterystykę grupy górników objętych analizą przedstawiono w Tabeli 7.18,

Ostatecznie w pełnych badaniach fizjologicznych udział wzięło: 3 górników zatrudnionych przy transporcie ręcznym, 2 górników zatrudnionych przy montażu rur, 2 górników zatrudnionych przy budowie tamy izolacyjnej, 2 górników zatrudnionych przy transporcie mechanicznym rozładunku i załadunku materiału, przodowy i osoba dozoru. Przedział wiekowy badanych pracowników waha się od 31 do 50 lat

Tabela 7.18 Charakterystyka podstawowych parametrów fizjologicznych wybranych pracowników oddziału górniczo-wentylacyjnego kopalni Y.

Stanowisko	Numer badanego	Wiek	Wzrost	Waga	Graniczna wartość częstości skurczów serca, HR _L	Powierzchnia ciała człowieka, A _{du}	Wskaźnik BMI	
							wartość	opis
							[kg/m ²]	-
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	1	31	1,73	70,1	165	1,83	23,42	prawidłowa
	2	33	1,75	90,2	164	2,09	29,45	nadwaga
	3	37	1,90	101,1	161	2,31	28,01	nadwaga
Górnik przy montażu rur na wysokości	4	39	1,76	77,1	160	1,94	24,89	prawidłowa
	5	39	1,81	82	160	2,03	25,03	nadwaga
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	6	43	1,81	88,4	157	2,11	26,98	nadwaga
	7	44	1,72	90,3	156	2,08	30,52	otyłość
Górnik przodowy	8	46	1,82	90,1	155	2,13	27,20	nadwaga
Górnik przy transporcie mechanicznym	9	47	1,86	99,4	154	2,27	28,73	nadwaga
	10	49	1,8	79,9	153	1,99	24,66	prawidłowa
Osoba dozoru	11	50	1,79	78,1	153	1,97	24,38	prawidłowa

Przebieg badań fizjologicznych na kopalni Y:

Około godziny 6:00 podczas podziału pracy, pracownikom zmierzono spoczynkowe parametry fizjologiczne takie jak: wagę, wzrost, temperaturę wewnętrzną, temperaturę skóry, tętno spoczynkowe, ciśnienie tętnicze krwi. Następnie pracownicy zostali skierowani do łaźni celem przebrania się. Badany ubrany był w odzież roboczą: podkoszulek, spodnie robocze, bluzę roboczą, koszulę, hełm, lampę, pokrowiec na lampę, aparat uciezkowy oraz buty gumowe dopuszczone do pracy pod ziemią. Około godziny 6:45 następował zjazd pod ziemię na poziom 930m skąd udali się na swoje stanowiska pracy zgodnie z tabelą 7.10. Podczas całej zmiany roboczej pracownikom co 30 minut mierzono podstawowe parametry fizjologiczne oraz przyrost temperatury wkładów kamizelki chłodzącej. Ich ostateczny pomiar zakończył się po wyjeździe na powierzchnię. Badanie przeprowadzone było w jednakowych warunkach dotyczących samego badanego i środowiska.

W celu przygotowania do badania uczestnik został poinformowany wcześniej o:

- nie wykonywaniu ciężkiej pracy fizycznej co najmniej 12 godzin przed wykonaniem próby,
- spożyciu ostatniego lekkiego posiłku 2 – 3 godzin przed badaniem,
- nie spożywaniu napojów zawierających alkohol około 12 godzin przed próbą,
- nie paleniu tytoniu około 3 - 4 godzin przed próbą

7.3.11. Ocena obciążenia termicznego na podstawie temperatury wewnętrznej ciała (t_{cr}).

W warunkach dołowych pomiar temperatury wewnętrznej ciała pracownika (Tabela 7.19) przeprowadzono w oparciu o temperatury błony bębenkowej t_{ty} na podstawie której wyznaczono również przyrost temperatury na poszczególnych stanowiskach pracy podczas całej zmiany roboczej. Wartość temperatury wewnętrznej mierzonej przed zjazdem na powierzchni w zależności od pracownika wahała się w granicach 36,1 - 36,9°C. Podczas pracy bez kamizelek chłodzących istotny wzrost temperatury wewnętrznej na poszczególnych stanowiskach pracy związany był bezpośrednio z wykonywaną pracą, wysiłkiem fizycznym oraz lokalizacją stanowiska pracy w strefie o trudniejszych warunkach klimatycznych, gdzie przyrost temperatury wewnętrznej następował wcześniej, najczęściej już w połowie dniówki. Przykładem mogą tu być stanowiska: górnika przy transporcie ręcznym (nr. badanego 2 i 3), górnika przy montażu rur (nr. badanego 4) gdzie temperatura wewnętrzna pracownika przekroczyła 38°C (przyrost 2,1°C) w 3 godzinie pracy, górnika przy budowie tamy izolacyjnej (nr. badanego 6 i 7) i górnika przodowego (nr. badanego 8) gdzie temperatura wewnętrzna 38°C została przekroczona po 3,5 godzinach pracy. Faktem jest że osoby te pracowały w rejonie o najtrudniejszych warunkach klimatycznych gdzie średnia temperatura mierzona termometrem suchym wynosiła 29,0°C, a intensywność chłodzenia to zaledwie 8,3 lub 9,5 katastopnia ale przyrosty temperatury wewnętrznej i tak są znaczące. W sumie wartość temperatury wewnętrznej przekraczającej 38°C przekroczona została na 6 z 11 stanowisk pracy. Biorąc pod uwagę zmieniające się parametry temperatury wewnętrznej organizmu człowieka na poszczególnych stanowiskach pracy oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y w rejonie likwidowanej przecznicy materiałowej oraz jej przyrost należy stwierdzić iż dyskomfort cieplny i zagrożenie klimatyczne przy pracy w ubraniu roboczym bez kamizelek chłodzących występuje na wszystkich 6 albowiem w przypadku powolnego magazynowania ciepła (tj. wzrostu o około 1 °C w ciągu ponad 1 godziny) wartość graniczna zgodnie z normą PN-EN – ISO 9886:2005 musi być ustalona na poziomie wzrostu o 1,0°C lub 38,0 °C, w zależności od tego, co nastąpi wcześniej, i nie powinna przekraczać temperatury 39 °C.

Zupełnie inaczej przedstawiają się wyniki przyrostu temperatury w przypadku pracownika ubranego i wyposażonego w kamizelkę chłodzącą. U żadnego z badanych pracowników przez cały okres trwającej zmiany nie odnotowano wzrostu temperatury wewnętrznej powyżej temperatury pierwotnej badanego. Efekt ten uzyskano dzięki regularnym wymianom wkładów żelowych w kamizelkach w momencie kiedy pracownik odczuwał dyskomfort cieplny lub wkłady żelowe osiągały temperaturę 27°C (Rys. 7.12). Częstotliwość wymiany wkładów żelowych kamizelek chłodzących na różnych stanowiskach była różna. Najczęściej bo trzy krotnie wymieniano wkłady

Tabela. 7.19. Przyrost temperatury ciała w badanej grupie pracowników oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y

Stanowisko	Temperatura kamizelki chłodzącej °C	Liczba wymian wkładów żelowych	Numer badanego	Przyrost temperatury wewnętrznej ciała t_{cr} , ciała pracownika [°C]													Średni przyrost	Poziom ryzyka fizjologicznego
				Zjazd, dojazd do miejsca pracy			Proces produkcyjny							Wyjście z miejsca pracy wyjazd				
				0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360		
Praca bez kamizelek chłodzących																		
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	-	-	1	36,6	36,2	36,4	36,6	36,8	37	37,2	37,4	37,6	37,8	37,7	37,4	36,9	1,6	duże
	-	-	2	36,8	36,3	36,7	36,8	37,0	37,2	37,6	37,6	38,0	38,0	38,4	37,8	37,0	2,1	
	-	-	3	36,9	36,4	36,6	36,9	37,2	37,5	37,8	38,1	38,4	38,6	38,0	37,4	36,9	2,2	
Górnik przy montażu rur na wysokości	-	-	4	36,4	35,9	36,2	36,5	36,8	37,1	37,4	37,7	38,0	38,1	38,2	37,8	36,8	2,3	duże
	-	-	5	36,6	36,1	36,3	36,5	36,7	36,9	37,1	37,3	37,5	37,9	37,6	37,4	36,6	1,8	
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	-	-	6	36,5	36,0	36,2	36,4	36,6	36,8	37,0	37,2	37,9	38,0	38,3	37,5	36,8	2,3	duże
	-	-	7	36,8	36,3	36,6	36,9	37,2	37,5	37,8	38,1	38,4	38,7	38,7	38,6	37,2	2,4	
Górnik przodowy	-	-	8	36,8	36,3	36,6	36,9	37,2	37,5	37,8	38,1	38,4	38,6	38,6	38,0	37,0	2,3	duże
Górnik przy transporcie mechanicznym	-	-	9	36,4	35,9	36,1	36,3	36,5	36,7	36,9	37,1	37,8	37,9	37,8	37,4	36,6	2,0	duże
	-	-	10	36,2	35,7	36,0	36,3	36,6	36,9	37,2	37,5	37,5	37,6	37,6	36,9	36,5	1,9	
Osoba dozoru	-	-	11	36,1	35,6	35,8	36,0	36,2	36,4	36,6	36,8	37,5	37,6	37,4	37,2	36,8	2,0	duże
Praca w kamizelkach chłodzących																		
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	3	2	1	36,6	34,7	34,9	35,1	35,3	35,7	35,9	36,0	36,0	36,1	36,2	36,2	36,2	-0,5	małe
	3	2	2	36,6	34,6	34,6	34,7	34,8	34,8	34,9	35,0	35,1	35,2	35,2	35,3	35,4	-1,4	
	3	2	3	36,7	34,8	35,0	35,1	35,1	35,2	35,3	35,3	35,4	35,4	35,5	35,6	35,6	-1,3	
Górnik przy montażu rur na wysokości	3	3	4	36,4	34,5	34,8	34,9	34,9	35,0	35,1	35,2	35,2	35,3	35,4	35,4	35,5	-1,0	małe
	3	3	5	36,6	34,7	34,8	34,8	34,9	35,0	35,1	35,1	35,2	35,3	35,3	35,4	35,5	-1,3	
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	3	2	6	36,5	34,6	34,8	35,0	35,2	35,4	35,6	35,8	36,0	36,2	36,4	36,6	36,8	-0,1	małe
	3	2	7	36,8	34,9	35,0	35,1	35,2	35,3	35,4	35,5	35,6	35,7	35,8	35,9	36,0	-1,0	
Górnik przodowy	3	2	8	36,8	34,9	35,1	35,3	35,5	35,7	35,9	36,1	36,3	36,5	36,7	36,7	36,7	-0,1	małe
Górnik przy transporcie mechanicznym	3	1	9	36,4	34,5	34,7	34,9	35,1	35,3	35,5	35,7	35,9	36,1	36,3	36,5	36,7	-0,3	małe
	3	1	10	36,2	34,3	34,5	34,6	34,8	34,9	35,1	35,2	35,4	35,5	35,7	35,8	36,0	-0,7	
Osoba dozoru	3	2	11	36,1	34,2	34,4	34,6	34,8	35,0	35,2	35,4	35,6	35,8	36,0	36,2	36,4	-0,3	małe

żelowe na stanowisku górnika montażu rur podsadzkowych (nr badanego 4 i 5) a najrzadziej, jednokrotnie na stanowisku górnika przy transporcie mechanicznym kolejką podwieszaną rozładunku i załadunku materiału (nr badanego 9,10).

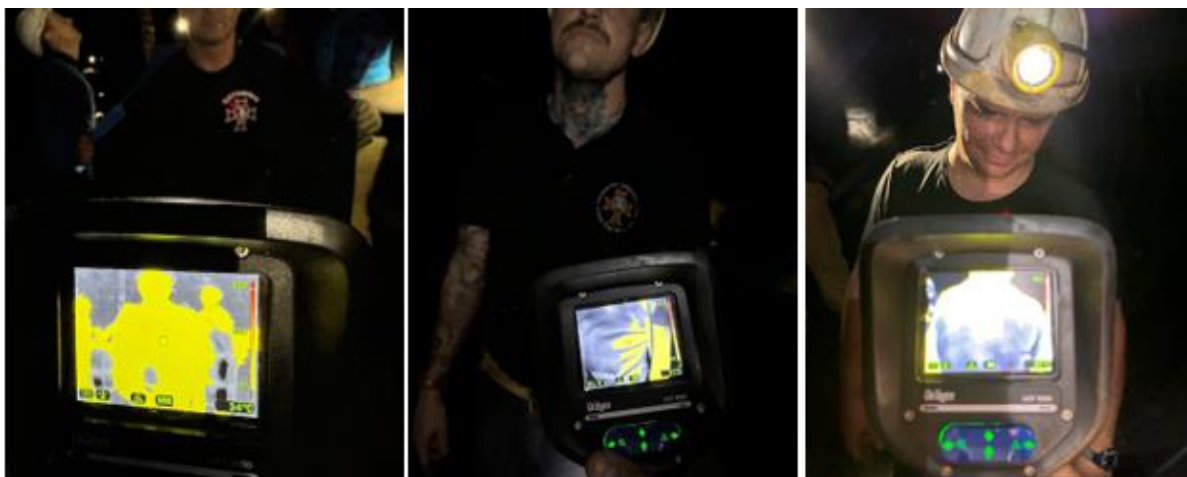


Rys. 7.12. Przyrost temperatury wkładów żelowych kamizelek chłodzących.

7.3.12. Ocena obciążenia termicznego na podstawie temperatury skóry (t_{sk}).

Przeprowadzone pomiary temperatury skóry w warunkach dołowych na poszczególnych stanowiskach pracy oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y (Tabela 7.20) wykazały iż średnia temperatura skóry pracowników badana przed zjazdem była średnio od 0,1 (nr. badanego 6) do 0,6 (nr. badanego 1, 2) niższa od temperatury wewnętrznej organizmu pracownika. Temperatura skóry pracowników była również bardzo podatna na wahania temperatury otoczenia zewnętrznego. Już bezpośrednio pod zjeździe kiedy pracownicy w wyrobiskach górniczych w czasie dojścia na stanowiska pracy stykali się z dużym wydatkiem chłodniejszego powietrza włączanego z powierzchni do wyrobisk górniczych temperatura skóry pracowników mierzona w czterech punktach pomiarowych spadała od 0,4 do 1,0°C w pierwszych 30 minutach pracy czyli jeszcze przed dotarciem na właściwe stanowisko pracy. Istotny wzrost temperatury skóry wynoszący nawet

Istotny wzrost temperatury skóry przekraczający nawet 5°C można zaobserwować w trakcie badań pracowników ubranych w standardową odzież roboczą bez kamizelek chłodzących na stanowisku górnika przy montażu rurociągu podsadzkiowego (nr badanego 4), czy górnika przodowego (nr badanego 8). Wartości przyrostu temperatury skóry powyżej 4°C w trakcie całej zmiany roboczej występują na 5 z 11 stanowisku pracy. Sytuacja ta powoduje że praca wykonywana w ubraniu roboczym w warunkach zagrożenia klimatycznego charakteryzującego się temperaturą powietrza przekraczającą 28°C przy jednoczesnym spadku intensywności chłodzenia poniżej 11 stopni obciążona jest dużym ryzykiem zdrowotnym (Rys. 7.13).



Rys.7.13. Przykładowe przyrosty temperatury dla ludzi ubranych w standardowe ubranie robocze.

Tabela. 7.20. Przyrost temperatury skóry w badanej grupie pracowników oddziału górnictwo wentylacyjnego kopalni Y

Stanowisko	Temperatura kamizelki chłodzącej °C	Liczba wymian wkładów żelowych	Numer badanego	Przyrost temperatury skóry t_{sk} pracownika [°C]														Średni przyrost	Poziom ryzyka fizjologicznego
				Zjazd, dojście do miejsca pracy			Proces produkcyjny									Wyjście z miejsca pracy wyjazd			
				0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360			
Praca bez kamizelek chłodzących																			
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	-	-	1	36,0	36,2	36,6	37,2	37,6	38,2	38,8	39,2	39,8	40,4	39,0	38,6	38,2	4,4	duże	
	-	-	2	36,1	36,0	36,4	36,7	37,1	37,5	38,1	38,4	39,2	39,8	40,3	39,0	38,5	4,3		
	-	-	3	35,9	36,1	36,5	36,8	37,2	37,6	38,0	38,3	38,9	40,0	38,8	38,5	38,0	4,1		
Górnik przy montażu rur na wysokości	-	-	4	36,2	36,8	37,2	37,5	37,9	38,3	38,7	39,2	39,6	40,8	41,6	39,7	39,0	5,4	duże	
	-	-	5	36,4	36,8	37,1	37,5	37,9	38,2	39,6	39,8	40,3	40,7	41,2	38,7	38,2	4,8		
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	-	-	6	36,6	36,9	37,3	37,7	38,1	38,4	38,8	39,2	39,5	39,9	40,4	39,5	39,2	3,8	duże	
	-	-	7	36,0	36,4	36,8	37,1	37,5	37,9	38,3	38,6	39,0	39,4	39,7	39,2	38,6	3,7		
Górnik przodowy	-	-	8	36,2	36,4	36,8	37,1	37,5	37,9	38,3	39,2	39,8	40,6	41,7	39,2	38,5	5,5	duże	
Górnik przy transporcie mechanicznym	-	-	9	36,5	36,9	37,3	37,6	37,8	38,0	38,0	38,3	38,7	39,1	38,2	37,6	37,0	2,6	duże	
	-	-	10	36,0	36,0	36,4	36,7	37,1	37,5	37,9	38,2	38,3	38,4	38,0	37,4	38,0	2,4		
Osoba dozoru	-	-	11	36,3	36,4	36,8	37,1	37,5	37,9	38,3	39,2	39,6	40,4	38,9	38,4	38,0	4,1	duże	
Praca w kamizelkach chłodzących																			
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	3	2	1	36,0	35,7	35,8	36,0	36,1	36,3	36,4	36,6	36,7	36,9	36,7	36,5	36,2	0,9	małe	
	3	2	2	36,1	35,8	35,9	36,1	36,2	36,4	36,5	36,7	36,8	37,0	37,1	36,6	36,6	1		
	3	2	3	35,9	35,6	35,7	35,9	36,0	36,2	36,3	36,5	36,6	36,8	36,4	36,2	36,1	0,9		
Górnik przy montażu rur na wysokości	3	3	4	36,2	35,9	36,0	36,2	36,3	36,5	36,6	36,8	36,9	37,4	37,6	36,7	36,2	1,4	małe	
	3	3	5	36,4	36,1	36,2	36,4	36,5	36,7	36,8	37,0	37,3	37,7	37,4	36,7	36,3	1,3		
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	3	2	6	36,6	36,3	36,4	36,6	36,7	36,9	37,0	37,2	37,3	37,5	37,6	37,0	36,6	1	małe	
	3	2	7	36,0	35,7	35,8	36,0	36,1	36,3	36,4	36,6	36,7	36,9	37,0	36,7	36,3	1		
Górnik przodowy	3	2	8	36,2	35,9	36	36,2	36,3	36,5	36,6	36,8	36,9	37,1	37,2	36,9	36,4	1	małe	
Górnik przy transporcie mechanicznym	3	1	9	36,5	36,2	36,3	36,5	36,6	36,6	36,8	36,9	37,0	37,0	36,8	36,5	36,4	0,5	małe	
	3	1	10	36,0	35,1	35,3	35,5	35,5	35,8	36,0	36,0	36,2	36,7	36,2	36,2	36,0	0,7		
Osoba dozoru	3	2	11	36,3	36,0	36,1	36,3	36,4	36,6	36,7	36,9	37,0	37,4	37,3	37,0	36,5	1,1	małe	

Zupełnie inaczej wygląda sytuacja pracowników wyposażonych dodatkowo w kamizelki chłodzące. Tutaj przyrost temperatury skóry na poszczególnych stanowiskach pracy nie przekracza 1,5°C. Największy jest na stanowisku górnika przy montażu rurociągu podsadzkowego przyrost średni o 1,3 °C a najmniejsza na stanowisku górnika przy transporcie mechanicznym, załadunku i rozładunku materiałów średnio 0,6 °C. Z uwagi na tak niski przyrost temperatury skóry wszystkie stanowiska wyposażone w kamizelki chłodzące w rejonie likwidowanej przecznicy materiałowej w kopalni Y zaliczono do kategorii ryzyka małego. Przykładowy przyrost temperatury skóry pracowników w kamizelce chodzącej przedstawiono na Rys. 7.14.



Rys.7.14. Przykładowe przyrosty temperatury dla ludzi ubranych w standardowe ubranie robocze i kamizelki chłodzące z wkładami żelowymi.

7.3.13. Ocena obciążenia termicznego na podstawie częstości skurczów serca (HR).

Oceny obciążenia termicznego na podstawie częstości skurczów serca pracowników oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y zatrudnionych w rejonie likwidowanej przecznicy materiałowej dokonano w oparciu o założenia i metodykę opisaną w rozdziale 6.3.2.3. Przenosząc te rozważania na poczet przeprowadzonych badań w warunkach rzeczywistych można zaobserwować wyraźny wzrost tętna u pracowników pracujących w ubraniach roboczych bez kamizelek chłodzących na wszystkich badanych stanowiskach pracy wraz z upływem czasu pracy. Rejestracja wskazań częstości skurczów serca w sposób ciągły za pomocą rejestratora Suunto Memory Belt wskazuje zmianę tych parametrów w zależności od intensywności wykonywanej pracy i przerw poświęconych na odpoczynek (Tabela. 7.21). Wyraźny wzrost częstości skurczów serca na wszystkich stanowiskach pracy można zaobserwować po ok. 3 godzinach pracy, a jego maksimum w zależności od parametrów zewnętrznych środowiska tj. temperatury suchej powietrza, wilgotność i intensywność chłodzenia obserwowany jest w 4 i 5 godzinie pracy (Rys. 7.14).

Tabela. 7.21. Przyrost tętna w badanej grupie pracowników oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y

Stanowisko	Temperatura kamizelki chłodzącej °C	Liczba wymian wkładów żelowych	Numer badanego	Przyrost tętna HR pracownika [liczba/min]													Średni przyrost	Poziom ryzyka fizjologicznego
				Zjazd, dojście do miejsca pracy			Proces produkcyjny							Wyjście z miejsca pracy wyjazd				
				0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360		
Praca bez kamizelek chłodzących																		
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	-	-	1	76	80	94	88	111	89	113	94	119	88	136	110	94	60	duże
	-	-	2	74	76	96	90	113	88	115	90	117	86	134	101	92	60	
	-	-	3	72	78	98	86	110	84	112	91	115	84	130	98	88	58	
Górnik przy montażu rur na wysokości	-	-	4	80	74	100	90	118	90	120	96	128	90	138	108	96	64	duże
	-	-	5	78	82	102	94	116	86	118	91	126	88	129	103	90	51	
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	-	-	6	72	79	93	81	108	80	110	92	116	82	126	94	86	54	duże
	-	-	7	74	81	99	80	111	78	114	89	120	79	119	105	96	46	
Górnik przodowy	-	-	8	75	84	98	79	106	83	109	87	116	83	130	112	95	55	duże
Górnik przy transporcie mechanicznym	-	-	9	75	78	90	76	99	75	104	78	108	79	108	89	81	33	duże
	-	-	10	72	76	88	74	96	74	106	80	110	81	112	92	78	40	
Osoba dozoru	-	-	11	74	83	101	90	109	86	111	89	124	92	128	106	94	54	duże
Praca w kamizelkach chłodzących																		
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	3	2	1	75	108	98	84	99	76	96	110	85	120	105	75	106	45	duże
	3	2	2	73	104	92	81	96	74	93	108	84	116	103	71	101	45	
	3	2	3	74	106	94	82	94	75	90	107	82	114	98	74	103	40	
Górnik przy montażu rur na wysokości	3	3	4	78	110	100	90	102	81	99	112	90	105	110	81	99	34	średnie
	3	3	5	80	114	99	88	100	84	100	110	86	116	106	78	97	38	
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	3	2	6	74	106	90	80	99	78	94	103	80	110	96	80	93	36	średnie
	3	2	7	76	102	94	82	106	83	95	100	83	111	95	83	87	35	
Górnik przodowy	3	2	8	78	106	92	80	96	72	93	108	81	118	101	76	98	46	duże
Górnik przy transporcie mechanicznym	3	1	9	72	92	84	73	90	73	92	99	76	100	91	83	84	28	małe
	3	1	10	76	94	80	76	92	75	96	100	79	104	93	79	82	29	
Osoba dozoru	3	2	11	80	108	89	80	99	71	96	102	81	106	98	81	79	37	średnie



Rys. 7.15. Przykład zapisu pomiaru tętna wykonanego na stanowisku pracy górnika zatrudnionego przy transporcie ręcznym materiału (nr. badanego 1) bez kamizelki chłodzącej

Największy przyrost tętna przekraczający zalecane normatywy dla środowiska gorącego odnotowano na stanowisku górnika przy montażu rurociągu podsadzkowego (nr. badanego 4) – u którego maksymalny przyrost tętna 64 ud./minutę, górnika zatrudnionego w przy transporcie ręcznym (nr. badanego 1 i 2) - maksymalny przyrost tętna 60 uderzeń na minutę i górnika przodowego (nr. badanego 8).

W przypadku pracy górników w kamizelkach chłodzących zaobserwować można początkowy nieznaczny wzrost tętna na wszystkich badanych stanowiskach prawdopodobnie spowodowany dodatkową wagą kamizelki, którą pracownik musiał założyć na siebie (2,1 kg) oraz koniecznością przytzwania się organizmu badanego pracownika do temperatury 3°C kamizelki chłodzącej. Jednak w następnych cyklach przeprowadzonego testu widać wyraźne ustabilizowanie się przyrostu HR nawet w na stanowiskach o najtrudniejszych warunkach mikroklimatu (Rys.7.16). Średni przyrost HR na wszystkich badanych stanowiskach pracowników wyposażonych w kamizelki chłodzące w ciągu całego 6 godzinowego pomiaru wahał się w granicach od 25 do 45 ud na minutę i był prawie dwukrotnie niższy od wartości uzyskanych w czasie badań bez kamizelek chłodzących. Użytkowanie kamizelki chłodzącej przez pracowników kopalni Y jednoznacznie wskazuje na ich przydatność w obniżeniu parametrów fizjologicznych badanych górników związanych z przyrostem tętna w wyniku jej zastosowania oraz zwiększenie komfortu pracy co potwierdzają również sami uczestnicy badania.



Rys. 7.16. Przykład zapisu pomiaru tętna wykonanego na stanowisku pracy górnika zatrudnionego przy transporcie ręcznym materiału (nr. badanego 1) w kamizelki chłodzącej.

Pomiar częstotliwości skurczów serca pozwolił również na wyznaczenie wydatku energetycznego na poszczególnych stanowiskach pracy oddziału górniczo wentylacyjnego (Tabela 7.22) w oparciu o założenia normy PN-EN ISO 8996:2022-06. Uzyskane wyniki pokazują, iż panujące warunki klimatyczne wpływają na znaczący wzrost wydatku energetycznego praktycznie na wszystkich stanowiskach pracy.

W przypadku pracowników zatrudnionych przy likwidacji przecznicy materiałowej w kopalni Y największy wydatek energetyczny odnotowano na stanowisku górnika przy transporcie ręcznym (nr badanego 2,3), górnika przy montażu rur podsadzkowych (nr badanego 4,5), i osoby górnika przodowego (nr badanego 8). Obliczony wydatek energetyczny dla całej zmiany roboczej na tych stanowiskach pracy przekroczył wartość 660W co odpowiada ciężkiej i bardzo ciężkiej pracy.

Zgoła odmiennie sytuacja wyglądała w przypadku wykorzystania kamizelek chłodzących. Wraz z obniżeniem tętna zmniejszył się również w sposób istotny całkowity wydatek energetyczny na wszystkich stanowiskach pracy osiągając wartości od 424,7 do 585,1W. co daje średni około 120W mniejsze obciążenie na stanowisku pracy od wydatku osiąganego przez pracowników przy pracy tylko w ubraniu roboczym.

Uzyskane wyniki pokazują iż kamizelki chłodzące stosowane na co dzień przez górników w wydajny sposób mogą poprawiać komfort pracy i zmniejszać obciążenie cieplne organizmu. Wkłady żelowe szybko pobierają ciepło z organizmu a ich wymiana nie jest trudna.

Tabela. 7.22. Wydatek energetyczny dla badanej grupy pracowników oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y

Stanowisko	Numer badanego	Wydatek energetyczny dla poszczególnych przedziałów czasowych wyznaczono na podstawie zależności: $M = (HR - 70)/RM + 100$												Uśredniony wydatek M_{cal} [W]	Poziom ryzyka fizjologicznego	
		Zjazd, dojazd do miejsca pracy			Proces produkcyjny						Wyjście z miejsca pracy wyjazd					
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330			360
Praca bez kamizelek chłodzących																
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	1	270,6	331,0	542,4	451,8	799,2	466,9	829,4	542,4	920,0	451,8	1176,7	784,1	542,4	623,7	duże
	2	258,1	297,2	687,8	570,6	1019,8	531,5	1058,9	570,6	1097,9	492,5	1429,9	785,4	609,7	723,8	
	3	223,0	351,9	781,8	523,9	1039,7	480,9	1082,7	631,3	1147,1	480,9	1469,5	781,8	566,9	735,5	
Górnik przy montażu rur na wysokości	4	325,4	238,2	616,3	470,9	878,1	470,9	907,2	558,1	1023,6	470,9	1169,0	732,7	558,1	647,6	duże
	5	314,9	382,4	719,7	584,8	955,8	449,9	989,6	534,2	1124,5	483,6	1175,1	736,6	517,3	689,9	
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	6	217,6	349,1	612,2	386,7	894,1	367,9	931,7	593,4	1044,4	405,5	1232,4	631,0	480,7	626,7	duże
	7	255,2	386,7	725,0	367,9	950,5	330,3	1006,8	537,0	1119,6	349,1	1100,8	837,7	668,6	664,2	
Górnik przodowy	8	274,0	443,1	706,2	349,1	856,5	424,3	912,9	499,5	1044,4	424,3	1307,5	969,3	649,8	681,6	duże
Górnik przy transporcie mechanicznym	9	283,1	345,0	592,6	303,8	778,2	283,1	881,4	345,0	963,9	365,7	963,9	571,9	406,9	545,0	duże
	10	212,3	276,9	470,6	244,6	599,8	244,6	761,3	341,5	825,8	357,6	858,1	535,2	309,2	464,4	
Osoba dozoru	11	244,6	389,9	680,5	502,9	809,7	438,3	842,0	486,8	1051,9	535,2	1116,5	761,3	567,5	648,2	duże
Praca w kamizelkach chłodzących																
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	1	255,5	602,9	451,8	270,6	557,6	270,6	572,7	406,5	753,9	542,4	935,1	255,5	633,1	500,6	duże
	2	238,6	648,7	414,4	258,1	590,1	258,1	629,2	648,7	844,0	805,0	1019,8	199,5	785,4	564,6	
	3	266,0	738,8	480,9	309,0	588,3	287,5	609,8	760,3	846,3	738,8	824,8	266,0	889,2	585,1	
Górnik przy montażu rur na wysokości	4	314,9	686,0	517,3	348,7	652,2	365,5	669,1	483,6	871,5	601,7	854,6	365,5	669,1	569,2	duże
	5	331,8	753,4	500,5	314,9	635,4	416,1	686,0	652,2	652,2	584,8	787,2	314,9	635,4	558,8	
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	6	255,2	668,6	367,9	292,8	612,2	330,3	631,0	612,2	725,0	612,2	668,6	367,9	612,2	519,7	duże
	7	292,8	593,4	443,1	274,0	668,6	424,3	649,8	687,4	743,8	687,4	649,8	424,3	687,4	555,9	
Górnik przodowy	8	330,3	668,6	405,5	367,9	631,0	217,6	612,2	743,8	386,7	537,0	762,6	292,8	631,0	506,7	duże
Górnik przy transporcie mechanicznym	9	221,3	427,5	262,5	262,5	571,9	241,9	633,8	716,3	757,6	530,7	613,2	448,2	551,3	479,9	duże
	10	276,9	406,0	276,9	309,2	454,5	260,7	599,8	615,9	664,4	406,0	551,4	325,3	373,8	424,7	
Osoba dozoru	11	325,3	567,5	325,3	341,5	486,8	196,1	599,8	648,2	761,3	438,3	632,1	357,6	422,2	469,4	duże

7.3.14. Ocena obciążenia fizjologicznego na podstawie utraty masy ciała (Δm_{sw}) w skutek pocenia się.

Ocenę obciążenia fizjologicznego na podstawie utraty masy ciała (Δm_{sw}) w skutek pocenia się u pracowników oddziału górniczo wentylacyjnego zatrudnionych przy likwidacji powierzchni materiałowej kopalni Y oszacowano w oparciu o założenia przedstawione w rozdziale 6.3.2.4. oraz zgodnie z normą ISO 7933 wg której szybkość pocenia się powinna być ograniczona do 1,0 l/h na godzinę dla osób niezaaklimatyzowanych i do 1,25 l/h na godzinę dla osób zaaklimatyzowanych. Wykonane pomiary utraty masy ciała w warunkach dołowych na poszczególnych stanowiskach pracy oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y (Tabela 7.23), potwierdziły, że intensywność utraty masy ciała w wyniku pocenia się zależy nie tylko od parametrów powietrza (temperatury i wilgotności) przepływającego przez wyrobiska ale również od rodzaju wykonywanej czynności, obciążenia fizycznego, a także od zastosowania bądź nie kamizelek chłodzących, które przy wykorzystaniu tej samej odzieży pozwalają na znaczne obniżenie ilości wydalanego potu a tym samym spadku masy ciała. W trakcie badań które trwały całą zmianę roboczą dla powtarzalności wyników pracownicy starali się nie przyjmować napojów ani płynów uzupełniających, co umożliwiło lepszy obraz zachodzących zmian. Jeśli już zachodziła potrzeba uzupełnienia płynów każdą taką sytuację skrupulatnie odnotowano. Całkowity ubytek wody z organizmu oszacowano po zdjęciu całości odzieży roboczej. W przypadku pracowników wyposażonych tylko w ubranie robocze utrata wody wahała się w granicach od 2,3 do 4,4 litra na zmianę. Największy ubytek wody ponad 4 litry odnotowano na stanowisku górnika przy ręcznym transporcie materiałów (nr badanego 1,3), górnika zatrudnionego przy montaż rurociągu podsadzkiowego (nr badanego 5) oraz górnika przodowego (nr badanego 8). Najmniejszą ilość utraty masy ciała odnotowano na stanowiskach górników zatrudnionych przy transporcie mechanicznym (nr badanego 9,10). W przypadku wykorzystania przy pracy kamizelek chłodzących średni ubytek masy ciała wyniku pocenia się nie przekroczył wartości 2,0 l na zmianę. Najmniej ubytku wody odnotowano na stanowisku górnika przy transporcie mechanicznym- 0,8 l/zmianę. Zastosowane kamizelki opóźniły też proces samego pocenia się co nie wątpliwie wpłynęło na poprawę komfortu pracy badanych górników.

Tabela. 7.23. Urata masy ciała w badanej grupie pracowników w badanej grupie pracowników oddziału górniczo wentylacyjnego kopalni Y

Stanowisko	Temperatura kamizelki chłodzącej °C	Liczba wymian wkładów żelowych	Numer badanego	Utrata masy ciała przez pracownika (Δm_{sw}) [kg]													Średni przyrost	Poziom ryzyka fizjologicznego
				Zjazd, dojazd do miejsca pracy			Proces produkcyjny									Wyjście z miejsca pracy wyjazd		
				0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360		
Praca bez kamizelek chłodzących																		
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	-	-	1	70,1	69,8	69,5	69,2	68,9	68,6	68,3	68,0	67,6	67,2	66,8	66,4	66,1	4,0	duże
	-	-	2	90,2	89,9	89,6	89,3	89,0	88,7	88,4	88,1	87,8	87,5	87,2	86,9	86,3	3,9	
	-	-	3	101,1	100,8	100,5	100,2	99,9	99,6	99,3	99,0	98,7	98,4	97,8	97,4	96,8	4,3	
Górnik przy montażu rur na wysokości	-	-	4	77,1	76,9	76,6	76,4	76,1	75,9	75,6	75,4	75,1	74,9	74,6	74,4	74,0	3,1	duże
	-	-	5	82,0	81,7	81,4	81,1	80,8	80,5	80,2	79,9	79,6	79,3	78,6	78,2	77,9	4,1	
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	-	-	6	88,4	88,2	88,0	87,8	87,6	87,4	87,2	87,0	86,8	86,6	86,4	86,2	85,9	2,5	średnie
	-	-	7	90,3	90,0	89,7	89,4	89,1	88,8	88,5	88,2	87,9	87,6	87,3	87,1	87,0	3,3	
Górnik przodowy	-	-	8	90,1	89,9	89,6	89,4	89,1	88,4	88,1	87,9	87,6	86,9	86,5	86,2	86,1	4,0	duże
Górnik przy transporcie mechanicznym	-	-	9	99,4	99,2	99,0	98,8	98,6	98,4	98,2	98,0	97,8	97,6	97,4	97,2	97,0	2,4	średnie
	-	-	10	79,9	79,7	79,5	79,3	79,1	78,9	78,7	78,5	78,3	78,1	77,9	77,7	77,6	2,3	
Osoba dozoru	-	-	11	78,1	78,0	77,8	77,3	77,1	76,8	76,4	76,1	75,9	75,6	75,2	75,0	74,6	3,5	średnie
Praca w kamizelkach chłodzących																		
Górnik przy transporcie ręcznym materiału	3	2	1	70,1	70	69,8	69,7	69,5	69,4	69,2	69,1	68,9	68,7	68,6	68,4	68,2	1,9	małe
	3	2	2	90,2	90,1	89,9	89,8	89,6	89,5	89,3	89,2	89,0	88,9	88,7	88,5	88,3	1,9	
	3	2	3	101,1	101,0	100,8	100,7	100,5	100,4	100,2	100,1	99,9	99,7	99,6	99,4	99,3	1,8	
Górnik przy montażu rur na wysokości	3	3	4	77,1	77,0	76,9	76,8	76,7	76,6	76,5	76,2	76,1	76	75,9	75,6	75,6	1,5	małe
	3	3	5	82,0	81,9	81,8	81,8	81,7	81,6	81,5	81,4	81,4	81,3	81,2	81,1	80,9	1,1	
Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	3	2	6	88,4	88,3	88,2	88,1	88,0	88,0	87,9	87,8	87,7	87,6	87,5	87,4	87,4	1,0	małe
	3	2	7	90,3	90,2	90,1	90,0	89,9	89,8	89,6	89,5	89,4	89,3	89,2	89,1	89,0	1,3	
Górnik przodowy	3	2	8	90,1	90,0	89,8	89,5	88,9	88,7	88,6	88,4	88,6	88,8	88,6	88,4	88,2	1,9	małe
Górnik przy transporcie mechanicznym	3	1	9	99,4	99,3	99,3	99,2	99,2	99,1	99,0	99,0	98,9	98,9	98,8	98,7	98,6	0,8	małe
	3	1	10	79,9	79,9	79,8	79,8	79,7	79,7	79,6	79,6	79,5	79,5	79,4	79,4	79,3	0,6	
Osoba dozoru	3	2	11	78,1	78,1	78,0	78,0	77,9	77,6	77,3	76,9	76,6	76,5	76,5	76,5	76,4	1,7	małe

7.3.15. Podsumowanie przeprowadzonej oceny ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym w oparciu o zmierzone parametry powietrza i wyznaczone wskaźniki.

Przeprowadzona ocena ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na stanowiskach pracy w rejonie likwidowanej przecznicy materiałowej kopalni Y w oparciu o parametry fizjologiczne wykazała, iż praca wykonywana w trudnych warunkach klimatycznych pociąga za sobą szereg reakcji fizjologicznych organizmu związanych z podstawową przemianą materii oraz zmianą w czasie takich parametrów fizjologicznych jak: temperatura wewnętrzna ciała, temperatura skóry, częstość skurczów serca czy ubytek masy ciała pracownika wskutek pocenia. Na ich podstawie można obliczyć wydatek energetyczny i obciążenie cieplne organizmu oraz stymulować zmienność środowiska pracy. W praktyce jednak większość kopalń ogranicza się do skrócenia czasu pracy do 6 godzin w rejonach zagrożonych klimatycznie i wyrażenia zgody na to aby pracownicy mogli wykonywali swoje czynności zawodowe w rejonach o dużym zagrożeniu klimatycznym bez ubrań. Prowadzone w ramach tej rozprawy doktorskiej badania laboratoryjne i środowiskowe pokazują jeszcze inną możliwą drogę zmierzającą do poprawy komfortu pracy załóg górniczych opartą na wykorzystaniu na szeroką skalę istniejących na rynku kamizelek chłodzący.

Badania prowadzone w tym zakresie na stanowiskach pracy oddziały górniczo wentylacyjnego w rejonie likwidowanej przecznicy materiałowej wykazały, iż praca w kamizelkach chłodzących jest nie tylko możliwa ale rzutuje również na bezpieczeństwo pracy załóg górniczych poprzez obniżenie wszystkie czterech istotnych parametrów fizjologicznych: temperatury wewnętrznej ciała człowieka, temperatury skóry, częstość skurczów serca czy ubytku masy ciała pracownika wskutek pocenia ściany mimo niekorzystnych warunków środowiska górniczego objawiających się wysoką temperaturą i dużą wilgotnością. Zastosowanie kamizelek chłodzący pozwoliło również na zmianę kwalifikacji ryzyka zawodowego zmazanego z zagrożeniem klimatycznym na poszczególnych stanowiskach pracy (Tabela 7.24).

Uzyskane wyniki badań wydatku i parametrów fizjologicznych górników w warunkach rzeczywistych kopalni Y potwierdzają wyniki badań uzyskane w komorze klimatycznej Centralnej stacji Ratownictwa Górniczego S.A. w Bytomiu wykazując, iż praca w kamizelkach chłodzących nie wpływa negatywnie na stan zdrowia badanych oraz pogorszenie ich parametrów fizjologicznych a wręcz przeciwnie wyposażenie pracowników dołowych na co dzień w kamizelki chłodzące może poprawić komfort pracy w trudnych warunkach klimatycznych mimo konieczności wymiany wkładów żelowych nawet trzy krotnie na niektórych stanowiskach pracy. Warto zatem rozważyć nie tylko możliwość wyposażenia pracowników kopalń w kamizelki chłodzące ale również umożliwić im wymianę wkładów żelowych na dole.

Tabela 7.27. Poziom ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym dla stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie likwidowanej przecznicy materiałowej kopalni X na podstawie parametrów fizjologicznych

Lp.	Stanowisko	Parametry fizjologiczne oceny ryzyka			
		temperatury wewnętrznej ciała (t_{cr})	temperatury skóry (t_{sk})	częstości skurczów serca (HR)	utruty masy ciała (Δm_{sw})
		°C	°C	[ud/min]	[kg]
Praca bez kamizelek chłodzących					
1	Górnik przy transporcie ręcznym materiału	duże	duże	duże	duże
2	Górnik przy montażu rur na wysokości	duże	duże	duże	duże
3	Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	duże	duże	duże	średnie
4	Górnik przodowy	duże	duże	duże	duże
5	Górnik przy transporcie mechanicznym	duże	duże	średnie	średnie
6	Osoba dozoru	duże	średnie	duże	średnie
Praca w kamizelkach chłodzących					
1	Górnik przy transporcie ręcznym materiału	małe	małe	duże	małe
2	Górnik przy montażu rur na wysokości	małe	małe	średnie	małe
3	Górnik przy budowie tamy izolacyjnej	małe	małe	średnie	małe
4	Górnik przodowy	małe	małe	duże	małe
5	Górnik przy transporcie mechanicznym	małe	małe	małe	małe
6	Osoba dozoru	małe	małe	średnie	małe

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE ORAZ KIERUNKI DAJSZYCH BADAŃ.

Tematyka pracy doktorskiej dotyczy jednego z ważniejszych zagadnień związanych z inżynierią bezpieczeństwa i procesem produkcji górniczej ukierunkowanym na rozwiązywanie problemów i przeciwdziałanie zagrożeniom występującym zwłaszcza na dołowych stanowiskach pracy. Jednym z takich zagrożeń którego skala narasta w ostatnich latach jest zagrożenie klimatyczne. Ocena warunków mikroklimatu i skuteczne działania zmierzające do niwelowania dyskomfortu cieplnego w związku z eksploatacją na coraz większych głębokościach staje się priorytetem działań nie tylko naukowców i przedsiębiorców ale również samych górników. Jak wykazały badania środowiskowe przeprowadzone w rejonie ściany 146 w pokładzie 414/2 kopalni X, zagrożenie klimatyczne na wielu stanowiskach pracy jest bardzo wysokie nie tylko w zakresie parametrów fizycznych powietrza kopalnianego ale również, a może przede wszystkim w zakresie parametrów fizjologicznych samych górników. Przedstawiony materiał analityczny z badań eksperymentalnych i modelowych pozwala zatem na sformułowanie następujących wniosków:

1. W kopalniach węgla kamiennego z roku na rok występują coraz gorsze warunki klimatyczne, spowodowane wysoką temperaturą pierwotną skał i koniecznością schodzenia z eksploatacją na coraz większe głębokości w poszukiwaniu nowych zasobów węgla kamiennego co bezpośrednio wpływa na zdrowie górników ale również efektywność działań gospodarczych kopalń i spółek górniczych.
2. Po ostatniej nowelizacji przepisów górniczych ocena zagrożenia klimatycznego w wyrobiskach górniczych kopalń węgla kamiennego, ponownie oparta jest na pomiarze temperatury suchej powietrza i intensywności chłodzenia wyrażonej w katastopniach co uspokoiło nastroje niezadowolenia wśród górników związane z temperaturą zastępczą klimatu.
3. Utrzymanie bezpiecznych warunków pracy w trudnych rejonach klimatycznych kopalń węgla kamiennego wymaga stosowania różnych rozwiązań technicznych i organizacyjnych wśród których wymienić należy: intensywną wentylację kopalń i rejonów wydobywczych za pomocą stacji wentylatorów głównego przewietrzania, likwidacje nieczynnych wyrobisk i doszczelnianie zrobów pyłami dymnicowymi, stosowanie systemów klimatyzacji lokalnej i centralnej, zwiększenie wydatku powietrza oraz stosowanie różnych rozwiązań wentylacyjnych poprawiających parametry powietrza kopalnianego. Niestety jak pokazuje praktyka górnicza, rozwiązania te w wielu przypadkach są zawodne, a główną winę za ich niską skuteczność ponosi sam człowiek.
4. Do oceny warunków pracy w zagrożonych rejonach klimatycznych kopalń przez dziesięciolecia były i są stosowane różne metody, wskaźniki i modele matematyczne, których skuteczność jak pokazują w pracy przeprowadzone symulacje obliczeniowe dla ściany 146 w pokładzie 414/2 kopalni Y w większości przypadków dają zbliżone wyniki zwłaszcza jeśli temperatura powietrza w rejonie eksploatacyjnym przekracza 28°C,

a wilgotność powietrza zbliża się do 90%. Poziom ryzyka zawodowego i zdrowotnego w takich przypadkach jest bardzo duży albo niedopuszczalny.

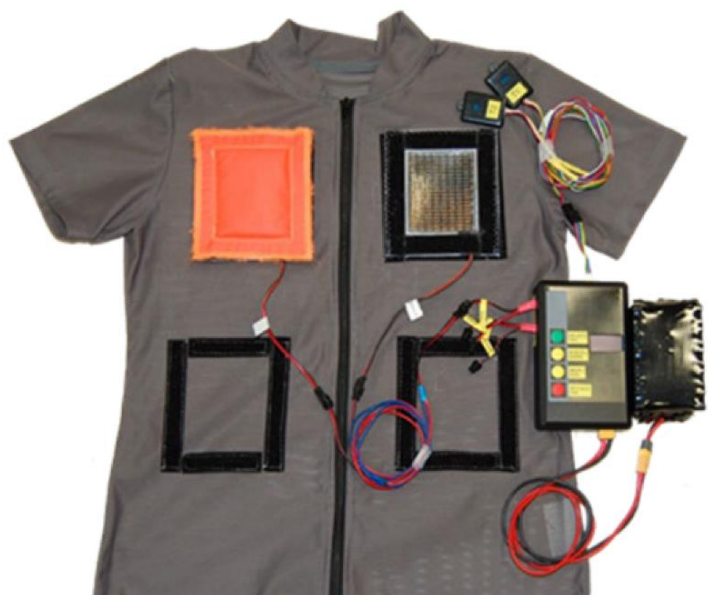
5. Parametrem poprawiającym wyliczenia matematyczne stosowanych metod i wskaźników jest rozebranie pracownika, zatrudnionego w wyrobiskach górniczych zagrożonych klimatycznie, co niewątpliwie poprawia chwilowy komfort pracy dzięki możliwości oddawania nadmiaru ciepła wewnętrznego z organizmu, ale rzutuje na inne parametry bezpieczeństwa pracy. Rozebrany górnik nie jest bowiem chroniony w żaden sposób przed innymi zagrożeniami, z którymi w procesie produkcyjnym może mieć kontakt z jego ciało.
6. Wychodząc naprzeciw wyzwaniom środowiskowym oraz chcąc zachować wszystkie aspekty bezpieczeństwa pracy jakie dają środki ochrony indywidualnej w prezentowanej pracy doktorskiej za cel postawiono sobie znalezienie odpowiedzi na pytanie „Czy zastosowanie kamizelek chłodzących przez pracowników kopalń jako środka ochrony indywidualnej umożliwia odprowadzenie większej ilości ciepła z organizmu, zwiększa wygodę, bezpieczeństwo i komfort pracy?
7. Przeprowadzone badania doświadczalne w komorze klimatycznej Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego S.A. w Bytomiu na wybranej grupie ochotników poddanych testom wysiłkowych w ubraniu roboczym bez kamizelki chłodzącej i z kamizelką chłodzącą wykazały dużą zmienność podstawowych parametrów fizjologicznych tj. temperatura wewnętrzna ciała, temperatura skóry, częstość skurczów serca czy ubytek masy ciała pracownika wskutek pocenia. W czasie testu wysiłkowego tylko w ubraniu roboczym w warunkach symulujących zagrożenie klimatyczne niezależnie od temperatury panującej w komorze przy tej samej wilgotności 90%. następował stały przyrost wszystkich parametrów fizjologicznych badanych ratowników. Powtórzone badania w ubraniu roboczym z kamizelką chłodzącą w komorze klimatycznej wykazały spowolnienie wymienionych parametrów fizjologicznych, a co za tym idzie obniżenie wydatku energetycznego i poprawę komfortu pracy.
8. W celu potwierdzenia wyników badań uzyskanych z testów wysiłkowych w komorze klimatycznej przeprowadzono dodatkowe badania wpływu kamizelek chłodzących na pracę górników zatrudnionych w obciążonym klimatycznie rejonie likwidowanej dowierzchni materiałowej kopalni Y. Uzyskane wyniki potwierdził przyjętą tezę: że
Zastosowanie kamizelek chłodzących przez pracowników kopalń jako środka ochrony indywidualnej umożliwia odprowadzenie większej ilości ciepła z organizmu przez przewodzenie i zwiększa wygodę i komfort pracy.

Powszechne wykorzystanie kamizelek chłodzących do prac w wyrobiskach przygotowawczych i eksploatacyjnych kopalń głębinowych obniży ryzyko przegrzania organizmu i zwiększy bezpieczeństwo pracy.

Wykorzystanie kamizelek chłodzących jako indywidualnych środków ochrony osobistej pozwalających na redukcję temperatury ciała pracownika o kilka stopni należy uznać za uzupełnienie dotychczasowych rozwiązań technicznych stosowanych w górnictwie dla ograniczenia zagrożeń klimatycznych.

Tym samym cel badań został osiągnięty.

9. Przeprowadzone badania wykazały, że korzystanie z kamizelek chłodzących wiąże się z częstą wymianą wkładów żelowych (W trakcie badań prowadzonych w kopalni Y dla utrzymania niezmienności parametrów fizjologicznych na stanowisku górnika przy montażu rur podsadzkowych w ciągu 6 godzinnej zmiany roboczej wkłady żelowe trzeba było wymienić trzykrotnie) dlatego wraz z wprowadzeniem kamizelek chłodzących do powszechnego użytkowania w wyrobiskach górniczych należy wyznaczyć miejsce przechowywania tychże wkładów. Ciekawą alternatywą dla wkładów żelowych są też badania prowadzone przez Instytut Medycyny Pracy w Łodzi nad elastycznym modułem termoelektrycznym: firmę TEGway [Rys. 8.1], który zwiększa efektywność i czas działania wkładów chłodzących.



Rys. 8.1. Odzież dedykowana do użytku z opracowanym osobistym systemem chłodzenia: (a) przód; (b) z powrotem [252].

Bibliografia:

1. „Bergverordnung zum Schutz der Gesundheit Gegen Klimaeinwirkungen” (KlimaBerg V) z dnia 9.06.1983r., [35]
2. Ambler H. R.; Notes on the climate of Nigeria with reference to personnel. *Journ. of Tropical Medicine and Hygiene*, 58: 99—112, 1955 [76]
3. Andersen Ib, Lundquist G. R.: *Indendorsklima i skoler (Indoor climate in schools)*. SBI-rapport 57, Kobenhavn, 1966. [78]
4. Angus T. C., Brown J. R.: Thermal comfort in the lecture room. *JIHVE*, 25: 175—182, 1957. [77]
5. Bagiński M., Nowak A., Syty J. (2012): Ratownik w trudnych warunkach mikroklimatu - przewidywane obciążenie termiczne, w: *Zwalczanie zagrożeń aerologicznych w kopalniach*. Praca zbiorowa pod redakcją Stanisława Pruska, Józefa Knechtela i Barbary Madei-Strumińskiej. Katowice, Główny Instytut Górnictwa, s. 14-23. [136]
6. Bagiński M., Śliwa J., Słota K. (2011): Poprawa warunków klimatycznych (komfortu pracy) w czasie prowadzenia akcji ratowniczej. Konferencja Naukowo-Szkoleniowa: Prognozowanie i zwalczanie zagrożenia pożarowego i klimatycznego w kopalniach głębokich. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko* nr 4/1, s. 7-17. [144]
7. Ballantyne E. R., Barned J. R., Spencer J. W.: Environment assessment of acclimatized caucasian subjects at Port Moresby, Papua. *Proceedings of the Third Australian Building Research Congress*, 1967 [79]
8. *Bergverordnung zum Schutz der Gesundheit gegen Klimaeinwirkungen (Klima-Bergverordnung - KlimaBergV)*, KlimaBergV, Ausfertigungsdatum: 09.06.1983 [35]
9. Bidlot R., Ledent P.: *Travail dans les milieux a haute temperature, Que savons-nous des limites de temperature humainement supportables*, Institute d'Hygiene des Mines, Hasselt, 1947 [114]
10. Black Flora A., Milroy Elisabeth A.: Experience of air-conditioning in offices. *JIHVE*, 34: 188—196, 1966 [75]
11. Black Flora A.: Desirable temperatures in offices. A study of occupant reaction to the heating provided. *Inst. Heat. Vent. Engr. J.* 22: 319—328, 1954—55 [74]
12. Bogdan A: *Ciepłne oddziaływanie organizmu człowieka na zmiany mikroklimatu w pomieszczeniach*, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa, 2011 [175]
13. Brake D.J.: *The Deep Body Core Temperatures, Physical Fatigue and Fluid Status of Thermally Stressed Workers and the Development of Thermal Work Limit as an Index of Heat Stress*, Curtin University of Technology, School of Public Health, 2002 [130]
14. Brake D.J.: *The Deep Body Core Temperatures, Physical Fatigue and Fluid Status of Thermally Stressed Workers and the Development of Thermal Work Limit as an Index of Heat Stress*. School of Public Health, Curtin University of Technology. [183]
15. Bresser G., Kampmann B. (2000): *Normy czasu pracy (ograniczonego przebywania podczas akcji ratowniczych w kopalniach w warunkach wysokich temperatur i wysokiej wilgotności atmosfery otoczenia w kopalniach węgla w Niemczech)*. Międzynarodowa Konferencja na temat Ratownictwa Górniczego, Bytom-Lubliniec-Kokotek [137]
16. Bresser, G., M. Funkemeyer: *Bestimmung der Einsatzdauer der Grubenwehr*. *Glückauf-Forschungsh.* 51, s.157-163 (1990). [141]

17. Bresser, G.: Weiterentwicklung und Einführung von Ganzkörperkühl- und Atemschutz-systemen für die Grubenwehr. Abschlußbericht, Hauptstelle für das Gruben-rettungswesen, Essen 1994. [142]
18. Bricknell M. C. M.: Heat Illness - A Review of Military Experience, Journal of the Royal Army Medical Corps, no. 142, 1996 [115]
19. Budd G. M.: Wet-bulb globe temperature (WBGT) - its history and its limitations, Journal of Science and Medicine in Sport 11, pp. 20 - 32, 2008 [116]
20. Budryk W.: Wentylacja kopalń. Cz. 1. Przewietrzanie wyrobisk. Śląsk . Katowice 1962. [52]
21. Bugajska J., Sobolewski A., Marszałek A. (2012): Ocena obciążenia cieplnego ratowników górniczych w czasie akcji w trudnych warunkach w kopalniach węgla kamiennego. Warsztaty Ratownicze, Bytom, CSRG [138]
22. Bugajska J., Sobolewski A., Marszałek A.: Ocena obciążenia cieplnego ratowników górniczych w czasie akcji w trudnych warunkach w kopalniach węgla kamiennego. Warsztaty Ratownicze, Bytom, CSRG. 2012. [221]
23. Cena K., Clark J.A.: Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort, Elsevier, 1981 [117]
24. Chester Thomas: Comfort with summer air conditioning. ASHVE Trans. 48: 107—122, 1942 [64]
25. Chmura K. & Chudek M., 2004. Geotermomechanika górnicza. MIDACH, Katowice, 1–367. [5]
26. Chmura K., 1970. Własności fizyko-termiczne skał niektórych polskich zagłębi górniczych. Wydawnictwo „OElask”, 1–228. [4]
27. Czaplński A., Henting H.: Chłodzenie powietrza w wyrobisku ścianowym. Wiadomości Górnicze nr 7-8/1999. Katowice 1999 [159]
28. Czaplński A., Henting H.: Urządzenia GFW do klimatyzacji kopalń. Materiały Konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej 1997, str. 227-254. Szczyrk 1997 [160]
29. Dąbrowska A., Kobus. M., Pekosławski, Starzak.Ł A Comparative Analysis of Thermoelectric Modules for the Purpose of Ensuring Thermal Comfort in Protective Clothing Appl. Sci. 2021, 11(17), 8068; <https://doi.org/10.3390/app11178068> [252]
30. Domagała L., Kułagowska E., Karolak I.: Określanie rodzajów i ciężkości pracy wykonywanej przez górników, Konferencja Naukowo-Techniczna opracowanie zasad zatrudnienia pracowników w warunkach zagrożenia klimatycznego w podziemnych zakładach górniczych w ramach projektu strategicznego pt. „Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach”, Gliwice - Rybnik 27.06.2013[240]
31. Dräger. Instrukcja obsługi kamizelki chłodzącej Dräger CVP 5220, https://www.draeger.com/pl_pl/Products/Comfort-Vest [245]
32. Drenda J., Interpretacja geometryczna wskaźnika dyskomfortu cieplnego, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo, z.227, Gliwice 1996 [153]
33. Drenda J., Morcinek-Pokrywka A., 2005: Wpływ warunków klimatycznych na bezpieczeństwo pracy górników, Zeszyty naukowe politechniki śląskiej, Górnictwo, z. 270. [218]
34. Drenda J.: Analiza i ocena dyskomfortu cieplnego pracowników w środowiskach kopalń głębokich, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo, z.188, 1990 [154]
35. Drenda J.: Dyskomfort cieplny w środowiskach pracy kopalń głębokich, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo, z.213, Gliwice 1993 [118]
36. Drenda J.: Dyskomfort cieplny w środowiskach pracy kopalń głębokich, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo, z.213, Gliwice 1993 [155]

37. Drenda J.: Ocena klimatycznych warunków pracy górników w polskich kopalniach węgla kamiennego i rudy miedzi, *Górnictwo i Geologia*, zeszyt 3, 2012 [156]
38. Drenda J.: Planowe przerwy w pracy górników jako środek poprawy warunków klimatycznych w przodkach górniczych. *Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej*, str. 429 – 435. Zakopane 2004 [187]
39. Drenda J.: Temperatura zastępcza śląska „TŚ” jako wskaźnik mikroklimatu w środowiskach, Wyd. WUG, Katowice, 2007 [219]
40. Drenda J.: Uniwersalne cechy temperatury śląskiej „TŚ” w normowaniu czasu pracy i bezpieczeństwa cieplnego górników w środowiskach pracy kopalń głębokich, *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, nr 5, 2013 [220]
41. Drysdale I. W.: A short study of the effects of summer conditions on human beings made during 1950. *Climate and Design of Buildings. Physiological Study No. 2, Duplicated Document No. 32, Commonwealth Experimental Building Station, Sydney, 1950* [90]
42. Ellis F. P.: Thermal comfort in warm and humid atmospheres. Observations on groups and individuals in Singapore. *J. Hyg.* 51: 386, 1953 [71]
43. Ellis F. P.: Thermal comfort in warm, humid atmospheres. Observations in a warship in the tropics. *J. Hyg.* 50: 415, 1952 [70]
44. Fahnstock M. K., Boys Floyd E., Sargent II Frederick, Siler L. D.: Energy costs, comfort, and physiological responses to physical work in 95 F — 50% rh and 75 F — 45% environments. *ASHRAE Trans.* 73, part 1, 1967 [92]
45. Fahnstock M. K., Boys Floyd E., Sargent II Frederick, Springer Wayne E.: Comfort and physiological responses to work in an environment of 75 F and 45 per cent relative humidity. *ASHRAE Trans.* 69: 13—23, 1963 [91]
46. Fanger, P.O.: *Komfort Ciepły*, Arkady, W-wa, 1974 [157]
47. Federal Mine Safety And Health Act Of 1977, Public Law 91-173, As Amended Through P. L. 109-280, Enacted August 17, 2006 [41]
48. Fortuna. M.: *Podstawy kształtowania i kontroli zdolności wysiłkowej tlenowej i beztlenowej*. Kolegium Karkonoskie w Jeleniej Górze. Jelenia Góra 2008. [249]
49. Frączek B., *Metody pomiaru wydatku energetycznego osób aktywnych fizycznie* Zakład Medycyny Sportowej i Żywienia Człowieka Instytut Nauk Biomedycznych, AWF Kraków. <https://www.mp.pl/pacjent/dieta/sport/72237,metody-pomiaru-wydatku-energetycznego-osob-aktywnych-fizycznie> [247]
50. Frączek R.: Wykorzystanie instalacji hydraulicznej ścianowej obudowy zmechanizowanej do regulacji warunków klimatycznych w ścianie. *Wiadomości Górnicze* nr 9/2000. Katowice 2000 [161]
51. Frycz A.: *Klimatyzacja kopalń. Śląsk*. Katowice 1981 [56]
52. Funkemeyer, M., B. Kampmann, G. Knoke, C. Piekarski: *Belastung und Beanspruchung von Grubenwehrmännern bei Übungen mit Sauerstoffschutzgerät. DMT - Hauptstelle für das Grubenrettungswesen*, Essen 1993, S. 1-100 [143]
53. Gagge A. P., Rapp G. M., Hardy J. D.: Mean radiant and operative temperature for high temperature sources of radiant heat. *ASHRAE Trans.* 70: 419—424, 1964 [99]
54. Gagge A. P., Rapp G. M., Hardy J. D.: The effective radiant field and operative temperature necessary for comfort with radiant heating. *ASHRAE Journ.* 9: 63—66, 1967. [102]

55. Gagge A. P., Rapp G. M., Hardy J. D.: The effective radiant field and operative temperature necessary for comfort with radiant heating. *ASHRAE Trans.* 73, part I: I, 2, 1, 1967 [103]
56. Gagge A. P., Stolwijk J. A. J., Hardy J. D.: Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. *Environmental Research*, 1: 1—20, 1967. [101]
57. Gagge A. P., Stolwijk J. A. J., Nishi Y.: The prediction of thermal comfort when thermal equilibrium is maintained by sweating. *ASHRAE Trans.* 75, part 2, 1969 [107]
58. Gagge A. P., Stolwijk J. A. J., Saltin B.: Comfort and thermal sensations and associated physiological responses during exercise at various ambient temperatures. *Environmental Research*, 3: 209—229, 1969 [104]
59. Gagge A. P.» Stolwijk J. A. J., Hardy J. D.: A novel approach to measurement of man's heat exchange with a complex radiant environment. *Aerospace Med.* 36: 431-A35, 1965 [100]
60. Gagge A. P. The effective radiant flux. An independent variable that describes the physical effect of thermal radiation on man. In J. D. Hardy: *Physiological and behavioral temperature regulation*, Charles C. Thomas, Illinois, 1970. [105]
61. Gagge A.P.: *Rational temperature indexes of thermal comfort*, w: *Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort*. Amsterdam, Elsevier. [197]
62. Garabed Eknayan, Adolphe Quetelet (1796–1874) – the average man and indices of obesity, „*Nephrology Dialysis Transplantation*”, 23 (1), 2008, s. 47–51, DOI: 10.1093/ndt/gfm517[244]
63. GIVONI, Baruch. *Man, climate and architecture*. New York: John Wiley & Sons, 1969. [203]
64. Głuch B.: *Ocena warunków mikroklimatu w wyrobiskach górniczych w oparciu o obowiązujący stan prawny w Polsce*. Praca doktorska, AGH, Kraków 2016. [196]
65. Goldstein Z., Michalski J., Nowak A. (2002): Wyznaczenie wartości wydatku energetycznego podczas prac wykonywanych przez ratowników górniczych - wstępne badania. *Ratownictwo Górnicze* nr 2. [139]
66. Goromosou M. S.: *Mikroklimat ziliśc i ego higieniceskoe izucenie (the microclimate of dwellings and its hygienic study)*. *Gig. i Sanit.* Nr. 8: 3—11, 1951 [66]
67. Goromosou M. S. *The physiological basis of health standards for dwellings*. *Public Health Papers* No. 33. World Health Organization, Geneva, 1968 [67]
68. Górski J., Matejak M., 1998: *Zarys historii pomiaru wilgotności powietrza*. *Muzealnictwo* nr 40 str.: 145-150. [48]
69. Grandjean E.; *Die physiologische Gestaltung des Raumklimas*. VDI-Berichte, nr. 106, 1966. [80]
70. Graveling R.A., Morris L.A., Graves R.J., *Working in hot conditions in mining: a literature review*, *Research Report TM/88/13*, 1988 [119]
71. Grotek I., 2005. *Zmienność stopnia uwęglenia materii organicznej rozproszonej w utworach karbonu wzdłuż brzegu platformy wschodnioeuropejskiej Polski*. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 413, 5–52. [6]
72. Hansen A.: *Ergonomiczna analiza uciążliwości pracy*, wyd. II, Wyd. CRZZ, Warszawa 1970. [241]
73. Hanson M. A.: *Development of a Draft British Standard: the Assessment of Heat Strain for Workers Wearing Personal Protective Equipment*, *The Annals of Occupational Hygiene*, vol. 43, no. 5, 1999 [42]
74. Harber, Ph., J. Tamimie, J. Emory: *Estimation of the Exertion Requirements of Coal Mining Work*. *Chest* 85, s.226-231 (1984). [147]

75. Hardy J. D.: Dependence of thermal comfort on skin temperature. Physiological and behavioral temperature regulation. Charles Thomas, Illinois, 1970 [106]
76. Havenith G., Holmer I., Den Hartog E.A., Parsons K.C.: Clothing evaporative heat resistance, Proposal for improved representation in standards and models, The Annals of Occupational Hygiene, July, no. 43(5), pp. 339-46, 1999 [234]
77. Henting H., Czapliński A.(1999): Chłodzenie powietrza w wyrobisku ścianowym. Wiadomości Górnicze, nr 7-8, 301-304. [12]
78. Henting H.: Rozwój klimatyzacji w niemieckim górnictwie węgla kamiennego. Mulheim/Ruhr 1994 [162]
79. Hickish D. E.: Thermal sensations of workers in light industry in summer. A field study in Southern England. The Journal of Hygiene, 53: 112—123, 1955. [81]
80. Hill L., Griffith O.W., Flack M.: The Measurement of the Rate of Heat-Loss at Body Temperature by Convection Radiation and Evaporation Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Containing Papers of a Biological Character, vol. 207, pp.183-220, 1916 [50]
81. Hill L., Vernon H. M., Hargood-Ash. D.: The Kata-thermometer as a Measure of Ventilation, National Institute for Medical Research, Hampstead, 1921 [54]
82. Hill L.: The science of ventilation and open air treatment, National Health Insurance, Medical Research Committee, London, 1919 [55]
83. Hindmarsh Margaret E., MacPherson R. K.: Thermal comfort in Australia. The Australian Journ. of Science, 24: 335—339, 1962 [82]
84. Holec S. (1990): Opracowanie potencjału ruchu wilgoci i opartych na nim metod prognozowania mikroklimatu wyrobisk. Prace GIG. Seria dodatkowa. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.[13]
85. Houghten F. C., Yaglou C. P.: Determination of the comfort zone. ASHVE Trans. 29: 361, 1923 [89]
86. Houghten F. C., Yaglou C. P.: Determining lines of equal comfort. ASHVE Trans. 29: 163, 1923. [88]
87. Houghten F.C., Yaglou C.P.; Determination of the comfort zone. ASHVE Trans Vol. 29, s. 361-379. [193]
88. Houghten F.C., Yaglou C.P. (1924): Cooling effect on human beings produced by various air velocities ASHVE Trans Vol. 30, s. 193-212. [194]
89. http://fluid.itcmp.pwr.wroc.pl/~pblasiak/TABLICE_WZORY/Termodynamika_TEORIA.pdf [236]
90. <https://powietrze.uni.wroc.pl/base/t/wskaznik-stresu-cieplnego>. Dostęp 27.05.2023r. [202]
91. Hurtig E. (Editor-in-Chief), Čermak V., Haenel R. & Zui V.I. (Eds), 1992. Geothermal Atlas of Europe. Hermann Haack Verlagsgesellschaft mbH, Geographisch-Kartographische Anstalt Gotha. [7]
92. Ibamoto Kani-Ichiro, Nishi Yasunobu: Thermal sensation analysis and its application to air-conditioning Bulletin of the faculty of Engineering, Hok- kaido University, No. 46, 1968. [108]
93. Ionides M., Plummer J., Siple P.A.: The thermal acceptance ratio, Report from the Climatology and Environment Protection Section Office of the Quartermaster General (US), September 17, 1945 [43]
94. ISAP: Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 22 sierpnia 2019 r. zmieniająca rozporządzenie w sprawie szczególnych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu zakładów górniczych Dz.U. 2019 poz. 1880 [33]
95. ISAP: Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczególnych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu zakładów górniczych Dz.U. 2017 poz. 1118 [34]

96. ISAP: Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 14 czerwca 2002 r. w sprawie zagrożeń naturalnych Dz.U. 2002 nr 94 poz. 84 [29]
97. ISAP: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 września 2019 r. w sprawie zagrożeń naturalnych Dz.U. 2019 poz. 1883 [31]
98. ISAP: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 stycznia 2013 r. w sprawie zagrożeń naturalnych Dz.U. 2013 poz. 230 [30]
99. ISO 7933:1989, Hot environments - analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate. [231]
100. Jakubów A., Nawrat S., Szlązak N.: Pierwsza w Polsce klimatyzacja centralna w KWK „Pniówek”. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 10/2000. Katowice 2000. [163]
101. Jakubów A., Tor A: Centralny system chłodzenia w Kopalni Węgla Kamiennego „Pniówek”. Materiały Konferencji Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2001, str. 337-352. Kraków 2001 [165]
102. Janmahasatian S., Duffull S.B., Ash S., Ward L.C., Byrne N.M., Green B. Quantification of lean bodyweight. Clin. Pharmacokinet. 2005, 44 pp. 1051–1065 [251]
103. Kabza Z., Kostyrko K. (2002/3): Metrologia mikroklimatu pomieszczenia i środowiskowych wielkości fizycznych. Opole, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej. [60]
104. Kabza Z., Kostyrko K., Zator S., Łobzowski A., Szkolnikowski W. (2005): Regulacja mikroklimatu pomieszczenia. Warszawa, Agencja Wydawnicza Pomiary Automatyka Kontrola [61]
105. Kamon E., Ryan C.: Effective heat strain index using pocket computer, American Industrial Hygiene Association Journal 42, pp. 611-5, 1981 [200]
106. Kampmann, B., C. Piekarski: The evaluation of workplaces subjected to heat stress: Can ISO 7933 adequately describe heat strain in industrial workplaces? Appl. Ergonomics 31.1, 59-71 (2000). [148]
107. Karwasiecka M. (2008): Porównanie środowiska geotermicznego w obrębie basenów węglonośnych Lubelskiego i Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Geologia T. 34, z. 2, s. 335–357 [8]
108. Kielblock A.J.: The ethology of heat stroke as a basis for formulating protective strategies, w: Proceedings of the Fifth International Mine Ventilation Congress, R. Hemp ed. Johannesburg, Mine Ventilation Society of South Africa. 1992. [178]
109. Klonowicz S., Kozłowski S.: Człowiek a środowisko termiczne, Państwowy zakład wydawnictw lekarskich, Warszawa, 1970 [172]
110. Knechtel J. (1998): Zagrożenie klimatyczne w polskich kopalniach węgla. Prace Naukowe GIG. Komunikat nr 835. Katowice, Główny Instytut Górnictwa. [14]
111. Knechtel J. (2009): Wytyczne efektywnej i ekonomicznej klimatyzacji wyrobisk ślepych i oddziałów wydobywczych o dużej koncentracji wydobywania (zwłaszcza podziemnych) prowadzonych w skałach o temperaturze pierwotnej powyżej 40°C. Seria Instrukcje nr 21. Katowice, Główny Instytut Górnictwa. [15]
112. Knechtel J. (2011a): jednostkowy opór aerodynamiczny lutniociągów zbudowanych z lutni elastycznych. Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa, nr 2, 18-27. [16]
113. Knechtel J. (2011b): Wyniki badań jakości uszczelnienia lutniociągów funkcjonujących w kopalniach węgla kamiennego. Przegląd Górniczy, nr 12, 42-51. [17]
114. Knechtel J. (2013): Zagrożenie klimatyczne [w:] Bezpieczeństwo pracy w kopalniach węgla kamiennego. T. 1: Górnictwo i Środowisko. Praca zbiorowa pod red. W. Konopko. Katowice, Główny Instytut Górnictwa, s. 203–239 [3]

115. Knechtel J. (2015): Zasady klimatyzacji wyrobisk górniczych kopalń węgla kamiennego w skrajnie trudnych warunkach geotermicznych. Przegląd Górniczy, nr 1, 14-24. [18]
116. Knechtel J., Gapiński D. (2005): Zaktualizowane mapy izolinii temperatury pierwotnej skał kopalń Górnośląskiego zagłębia Węglowego (GZW). Katowice, Główny Instytut Górnictwa. [19]
117. Koch W., Jennings B. H., Humphreys C. M.: Environmental study II — sensation responses to temperature and humidity under still air conditions in the comfort range. ASHRAE Trans. 66: 264, 1960 [96]
118. Koradecka D., Bezpieczeństwo pracy i ergonomia, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 1999 [24]
119. Kostyrko K., Łobzowski A. (2002): Klimat pomiary regulacje. Warszawa, Agencja Wydawnicza Pomiary Automatyka Kontrola [59]
120. Kostyrko K., Okołowicz-Grabowska B., 1977: Pomiary i regulacja wilgotności w pomieszczeniach. Wyd. 2 poprawione i uzupełnione. Arkady. Warszawa [49]
121. Krajowy Sekretariat Górnictwa i Energetyki NSZZ „Solidarność”: „Zespół Trójstronny: Gorący spór o temperaturę”. Katowice 2017. <http://www.solidarnosc.org.pl/ksgie/index.php/517-zespol-trojstronny-goracy-spor-o-temperature> [26]
122. Krause M.: Ergonomia praktyczna wiedza o pracującym człowieku i jego środowisku, Śląska Org. Techniczna, Katowice 1992 [173]
123. Lambrechts J. V.: A critical comparison of specific cooling power and the wet kata thermometer in hot mining environments, Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, vol.73, no. 05, Dec, 1972 [131]
124. Leveritt S.: Heat Stress in Mining, Work-Safe Australia Ergonomics Review, 1998 [44]
125. Lind, A. R., R. F. Hellon, J. S. Weiner, R. M. Jones: Tolerance of men to work in hot, saturated environments with reference to mines rescue operations. Brit. J. Ind. Med. 12, s.296-303 (1955). [135]
126. Lürig, H. J., P. Thien: Untersuchung der Beanspruchung des Menschen durch Arbeit und Klima im Salzbergbau. Forschungsbericht HA 83-005. TU Clausthal, Institut für Bergbau 1983, s.142 (1983). [149]
127. Lustinec K.: The working microclimate and its evaluation. Informational News from the Branch of Industrial Hygiene and Occupational Diseases and Radiation Hygiene. Suppl. 2, 13. Inst. of Ind. Hyg. Occup. Dis., Prague, 1967 [109]
128. Łuska P., Nawrat S. (2008): Klimatyzacja kopalń podziemnych – Systemy chłodnicze. Kraków, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. [20]
129. Macpherson R. K.: The assessment of the thermal environment a review, British Journal of Industrial Medicine, no. 19, 1962 [45]
130. Majorowicz J. (1971): Przebieg wartości stopnia geotermicznego w Polsce w przedziale głębokości 200–2500 m. Kwartalnik Geologiczny T. 15, nr 4, s. 891–900. [1]
131. Majorowicz J. (1974): Obraz pola cieplnego Ziemi w obszarze Polski. Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego T. XLIV, z. 2–3, s. 425–445. [2]
132. Makówka J. Raport roczny (2021) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2022 [11]

133. Malchaire J., Kampmann B., Havenith G., Mehnert P., Gebhardt H.J.: Criteria for estimating acceptable exposure times in hot work environment a review, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, no. 73(4), pp. 215-220, 2000 [120]
134. Malchaire J., Kampmann B., Havenith G., Mehnert P., Gebhardt H.J.: Criteria for estimating acceptable exposure times in hot work environment, a review. *International Archives of Occupational and Environmental Health* Vol. 73, No. 4, s. 215-220. [184]
135. Malchaire J., Kampmann B., Mehnert P., Gebhardt H., Piette A, Havenith G., Holmer I., Parsons K., Alfano G., Griefahn B.: Assessment of the risk of heat disorders encountered during work in hot conditions, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, no. 75, 2002[235]
136. Malchaire J., Piette A., Kampmann B., Mehnert P., Gebhardt H., Havenith G., Den Hartog E., Holmer I., Parsons K., Alfano G., Griefahn B. (2001): Development and Validation of the Predicted Heat Strain Model. *Annals of Occupational Hygiene* Vol. 45, No. 2, s. 123-135. [185]
137. Malchaire J.: Evaluation and control of warm working conditions, *Proceedings of the BIOMED "Heat Stress" Conference, Barcelona, June 14-15, 1999* [228]
138. Marek K.: *Choroby zawodowe*. Wydawnictwo Lekarskie. PZWL, Warszawa 2003 [177]
139. Marszałek A., Sołtyński K.: *Człowiek w warunkach obciążenia termicznego*. CIOP, Warszawa 2001. [188]
140. Marszałek A.: Wskaźnik WBGT – zalety i źródła nieścisłości związane z jego zastosowaniem [WBGT index - advantages and sources of inaccuracy related to its use]. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka* 4, 22–24., 2016 [206]
141. Materiały Kopalni X. Dokumentacja techniczno ruchowa klimatyzatora urządzeń chłodniczych TS-350/1 i GMC 350/TA. [239]
142. Materiały Kopalni X. Dokumentacja techniczno ruchowa obcinki ściany 147 w pokładzie 414/2 [238]
143. Materiały Kopalni X. Dokumentacja techniczno ruchowa ściany 146 w pokładzie 414/2. [237]
144. Matuszewski K.: Kierunki stosowania urządzeń chłodniczych w kopalniach węgla kamiennego. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* nr 6/1996. Katowice 1996 [166]
145. McConnell W. J. i Spiegelman M.: Reactions of 745 clerks to summer air conditioning. *Heat, Pip. and Air Condit.* 12: 318—322, 1940. [63]
146. McPherson M.J.: *Physiological reaction to climatic conditions*, w: *Subsurface ventilation and environmental engineering*. London, Chapman & Hall. [182]
147. McPherson M.J.: *Physiological reactions to climatic conditions*, *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*, pp. 603-650, 1993 [121]
148. Mehnert P., Malchaire J., Kampmann B., Piette A, Griefahn B., Gebhardt H.: Prediction of the average skin temperature in warm and hot environments, *Journal of Applied Physiology*, no.82. 2000 [233]
149. Mitchell D., Whillier A.: Cooling power of underground environments. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy* Vol. 72, s. 93-99. [181]
150. Mitchell D., Whillier A.: Cooling power of underground environments, *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, October, 1971 [122]
151. Młynarczyk M., Marszałek A., Sobolewski A., Sołtyński K., Bogdan A.: *Środowisko termiczne. W: Czynniki szkodliwe w środowisku pracy – wartości dopuszczalne 2020*. [Red.] M. Pośniak, J. Skowroń. CIOP-PIB, Warszawa. 2020 [209]

152. Mom C. P., Wiesebron J. A., Courtice R., Kip C. G.: The application of the effective temperature scheme to the comfort zone in the Netherlands Indies. *Chronica Natural*, 103: 19, 1947. [93]
153. Mom C. P., Wiesebron J. A., Courtice R., Kip C. G.: The determination of the influence of air velocity on the feelings of comfort of men. *Chronica Natural*, 103: 147, 1947. [94]
154. Morse R. N., Kowalczewski, J. J.: Rational basis for human thermal comfort. *ASHRAE Journ.* 9: 72, 1967. [110]
155. Mosteller R.D., Simplified calculation of body-surface area, „*The New England Journal of Medicine*”, 317 (17), 1987, s. 1098, DOI: 10.1056/NEJM198710223171717, PMID: 3657876 [246]
156. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Criteria for recommended standard: Occupational exposure to hot environments, NIOSH, Publication no. 86-113, USA, 1986 [46]
157. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Criteria for recommended standard: Occupational exposure to hot environments, NIOSH, Publication no. 86-113, USA, 1986 [122]
158. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Criteria for recommended standard: Occupational exposure to hot environments, NIOSH, Publication no. 86-113, USA, 1986 [198]
159. Nevins R. G., Rohles F. H., Springer W., Feyerherm A. M.: A temperature- humidity chart for thermal comfort of seated persons. *ASHRAE Trans.* 72. I: 283—291, 1966 [112]
160. Nielsen Marius: Undersøgelser over relationen mellem behagelighedsfølelse, opvarmningstilstand og fysiologiske reaktioner ved stillesiddende arbejde. (Studies on the relation between sensations of comfort, degree of heating and physiological reactions). *Boligopvarmningsudvalgets meddelelse nr. 3*, København, 1947. [95]
161. Nishi Y., Ibamoto K.: Model skin temperature — an index of thermal sensation in cold, warm and humid environments. *ASHRAE Trans.* 75, part 2, 1969 [111]
162. Nowak A., Syty J. (2013): Limity bezpiecznego czasu pracy ratowników górniczych w trudnych warunkach mikroklimatu, w: *Zagrożenia aerologiczne w kopalniach węgla kamiennego - profilaktyka, zwalczanie, modelowanie, monitoring*. Praca zbiorowa pod red. Janusza Cygankiewicza i Stanisława Pruska. Katowice, Główny Instytut Górnictwa, s. 142-161. [145]
163. Ogólne przepisy Górnico-Policyjne dla górnośląskiej części okręgu Wyższego Urzędu Górniczego w Katowicach, Katowice, 1923 [51]
164. Ogólne rozporządzenie policji górniczej dla obwodu Królewskiego Wyższego Urzędu Górniczego we Wrocławiu z dnia 18 stycznia 1900 roku, Wrocław, Wilh. Gottl. Korn, 1900 [47]
165. Palenciano, L., V. Gonzalez, L. A. Santullano, B. Rodriguez, M. A. Montoliu: Cardiac frequency in miners recorded during four to five work shifts. *Eur. J. Appl. Physiol.* 73, s.369-375 (1996). [150]
166. PKN PN-EN ISO 7243:2018-01 Ergonomia środowiska termicznego -- Ocena obciążenia cieplnego za pomocą wskaźnika WBGT (temperatura wilgotnego termometru i poczerwionej kuli) [36]
167. PKN PN-G-03100:2014-05 Ochrona pracy w górnictwie -- Warunki klimatyczne kopalń podziemnych -- Wyznaczanie temperatury zastępczej klimatu [32]
168. PKN: PN-EN 27243:2005 Środowiska gorące -- Wyznaczanie obciążenia termicznego działającego na człowieka podczas pracy, oparte na wskaźniku WBGT [207]
169. PKN: PN-EN 27243:2005 Środowiska gorące – Wyznaczanie obciążenia termicznego działającego na człowieka podczas pracy, oparte na wskaźniku WBGT [Hot environments – Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index] [211]

170. PKN: PN-EN ISO 7243:2018-01 Ergonomia środowiska termicznego -- Ocena obciążenia cieplnego za pomocą wskaźnika WBGT (temperatura wilgotnego termometru i poczerwionej kuli) [208]
171. PKN: PN-EN ISO 7726:2002 Ergonomia środowiska termicznego – Przyrządy do pomiaru wielkości fizycznych. [212]
172. PKN: PN-EN ISO 7933:2005 „Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczenie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczeń przewidywanego obciążenia termicznego” [186]
173. PKN: PN-EN ISO 8996:2005 Ergonomia środowiska termicznego – Określanie tempa metabolizmu. [213]
174. PKN: PN-EN ISO 9886: Ergonomia - Ocena obciążenia termicznego na podstawie pomiarów fizjologicznych. 2005 [242]
175. PN-EN 12515: Środowiska gorące. Analityczne określenie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczenia wymaganej ilości potu. 2002. [243]
176. PN-EN ISO 8996:2022 „Ergonomia środowiska termicznego – wyznaczenie tempa metabolizmu, w której określono różne metody wyznaczania tempa metabolizmu w zakresie ergonomii termicznego środowiska pracy, który może być wykorzystany np. oceny czynności podczas pracy, wydatku energetycznego w określonych zawodach lub zajęć sportowych, całkowitego wydatku energetycznego aktywności. [232]
177. PN-EN ISO 9920:2009 Ergonomia środowiska termicznego – Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej ze-stawów odzieży. [214]
178. PN-G-03100: 1997, Ochrona pracy w górnictwie, Warunki klimatyczne kopalń podziemnych, Wyznaczanie temperatury zastępczej klimatu [216]
179. Portal Gospodarczy. Wirtualny Nowy Przemysł. Sposób określania temperatury, w której pracują górnicy - na razie bez zmian” Wirtualny Nowy Przemysł. Warszawa 2017 <https://www.wnp.pl/gornictwo/sposob-okreslania-temperatury-w-ktorej-pracuja-gornicy-na-razie-bez-zmian,301337.amp> [27]
180. Praca zbiorowa pod redakcją Tabora A., Rączki M., Pieczonki A., Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy, Centrum szkolenia i organizacji systemów jakości, Kraków 2003 [223]
181. Przepisy ws. Obliczania temperatury zastępczej. Aktualności ZZ “Solidarność” 06.2017. <http://solidarnoscjastrzebie.pl/?p=794> [28]
182. Raber B. F., Hutchinson F. W.: Panel heating and cooling analysis. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1947. [68]
183. Ramsey, J. D., F. N. Dukes-Dobos, C. H. Lee: Thermal environment of an underground mine and its effect upon miners. Ann. Am. Conf. Gov. Ind. Hyg. 14, s.209-223 (1986). [151]
184. Rao M. N.: Comfort range in tropi cal Calcutta. A preliminary experiment. Ind. J. Med. Res. 40: 45, 1952 [69]
185. Roszczyński W., Trutwin W., Waclawik J. (1992): Kopalniane pomiary wentylacyjne. Katowice, Wydaw. „Śląsk”. [57]
186. Roszczyński W., Trutwin W., Waclawik J. (1992): Kopalniane pomiary wentylacyjne. Katowice, Wydaw. „Śląsk”. [62]
187. Rowley Frank B., Jordan Richard C., Snyder Warren E.: Comfort reactions of workers during occupancy of air conditioned offices. ASHVE Trans. 53: 357—368, 1947 [65]

188. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych Dz.U. 2017 poz. 1118 [25]
189. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych. Dz.U. 2017 poz.1118 [39]
190. Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 18 lutego 2021 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU 2021, poz. 325) [215]
191. Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 29.1.2013 r. w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych (t.j. Dz.U. z 2015 r. poz. 1702 ze zm). [23]
192. Rudeiko V. A.: Vlijanie temperatury vozducha zilisca na termoregulaciju u ljudei preklonnogo vozrasta (The effect of the air temperature in dwellings on the thermoregulation of aged persons). Gig. Sanit, 30 (2): 25—28, 1965 [83]
193. Schlußbericht zum Unter-suchungsvorhaben. Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert; Geschäftszeichen beim Landesoberbergamt: 65.12-280-2. Überarbeitete Fassung, Herne 1997, 88 S. [134]
194. Schmoldt M. (2018). Heat stress. Calculating time weighted average for worker exposure. EFCOG Industrial Hygiene and Safety Group Meeting, Washington D.C., 24.10.2018 [https://orau.org/ihos/downloads/meetings/support-files/2018/EF-COG/Schmoldt_heatstress.pdf, data dostępu: 16.03.2023]. [210]
195. Sevryukova G. A.: Gigieniceskoe obcnovanie optimalnoj temperatury vozducha v muzikalno-gimnasticeskich żalach detskich doskolnych uczezenij (Hygienic substantiation of optimal air temperature in gymnasiums and music halls of preschool institutions). Gig. i Sanit. 30, 12: 36—38, 1965 [84]
196. Słota K., Słota Z., Aerologia górnicza z zastosowaniem technik komputerowych, Wydawnictwo politechniki śląskiej, Gliwice 2009 [199]
197. Słota K., Słota Z.: Analiza warunków klimatycznych w wyrobiskach ścianowych polskich kopalń węgla kamiennego. Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko, wydanie specjalne nr II/2007, str. 129-145. Katowice 2007 [168]
198. Słota K.: Propozycja zastosowania nowych metod schładzania powietrza w ścianach na przykładzie KWK „Sośnica”. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo, zeszyt 254, str. 411-416. Gliwice 2002 [167]
199. Słota Z., Słota K., Gorące środowiska pracy – zagrożenia zdrowotne na przykładzie polskich kopalń, Materiały Konferencyjne, Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Gliwice 2007. [176]
200. Słota Z.: Istota zagrożenia obciążeniem termicznym : Przegląd i analiza obowiązujących przepisów oraz opracowań w zakresie identyfikacji i kwalifikacji zagrożenia klimatycznego pracowników podziemnych zakładów górniczych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 2013, vol. R. 51, nr 2, s.15-20. [37]
201. Słota Z.: Określenie wpływu wydatku energetycznego, aklimatyzacji i ubioru na obciążenie termiczne organizmu pracowników w wyrobiskach kopalń podziemnych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2011 [189]
202. Snellen J. W.: The optimal climate in department stores. Brit. J. Ind. Med. 19 (3): 165—170, 1962 [85]

203. Stewart J.M., Wyndham C.H.: Suggested thermal stress limits for safe physiological strain in underground environments, *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, vol.76, no.01, Aug, 1975 [124]
204. Stewart J.M.: Fundamentals of human heat stress, *Environment Engineering in S.A. Mines. The Mine Ventilation Society of South Africa*. 1982. [179]
205. Strydom, N. B.: Age as a causal factor in heat stroke. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.* 72, s.112-14 (1971). [152]
206. Szlązak J., Szlązak N., *Bezpieczeństwo i higiena pracy*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2005[224]
207. Szlązak N. Borowski M., Obracaj D.,: Warunki klimatyczne w wyrobiskach ścianowych przy różnej lokalizacji urządzeń chłodniczych. Międzynarodowa Konferencja nt. „Najnowsze osiągnięcia w zakresie przewietrzania kopalń oraz zwalczania zagrożeń pożarowych, gazowych i klimatycznych. GIG, Szczyrk 22-24.04.1999. [158]
208. Szlązak N., Jakubów A., Obracaj D.,: Warunki klimatyczne w wyrobiskach ścianowych przy różnej lokalizacji urządzeń chłodniczych. Międzynarodowa Konferencja nt. „Najnowsze osiągnięcia w zakresie przewietrzania kopalń oraz zwalczania zagrożeń pożarowych, gazowych i klimatycznych”. GIG, Szczyrk 22-24.04.1999 [164]
209. Szlązak N., Tor A. Wpływ trudnych warunków cieplnych na organizm ludzki, *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, nr 5, s. 9-13, 2000 [171]
210. Szlązak N., Tor A.: Wymiana ciepła przez organizm ludzki i możliwości jego termoregulacji. Materiały konferencyjne 1 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, [191]
211. Trenczek S. (2013): Zagrożenie klimatyczne w kontekście zagrożeń naturalnych w kopalniach podziemnych. *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa R.* 51, nr 2, s. 5–14. [9]
212. Trutwin W.: W trudnych warunkach cieplnych. *Ratownictwo Górnicze. CSRG* 1998 [146]
213. Tumińska A., Borodulin-Nadzieja L., Pietraszkiewicz T., Salomon E., Stańda M., Woźniak W., Janocha A.: Wyniki analizy zapisów holterowskich u górników zatrudnionych na najgłębiej położonych stanowiskach pracy kopalni miedzi legnicko-głogowskiego okręgu miedziowego, *Medycyna Pracy*, nr 1, 2010 [248]
214. Turkiewicz W., Jankowska-Groch M.: Badanie współzależności temperatury zastępczej klimatu (tzk) i wskaźnika wet bulb globe temperature (WBGT), *Cuprum*, nr 1, s. 131-144, Wrocław, 2006[125]
215. Turkiewicz W., Waclawik J.: Warunki klimatyczne kopalń podziemnych metody i sposoby oceny, *Cuprum*, nr 9, s. 79-96, Wrocław, 1998 [126]
216. Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. - Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. 2011 nr 163 poz. 981[38]
217. Waclawik J. (2010a): Numerical Model of Heat Exchange between a Worker Body and Environment. *Archives of Mining Sciences* Vol. 55, Issue 3, s. 573-588. 2010 [222]
218. Waclawik J., Branny M., Borodulin-Nadzieja L. (2004): Modelowanie wymiany ciepła między górnikiem a otoczeniem w trudnych warunkach klimatycznych. Kraków, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. [21]
219. Waclawik J., Branny M., Borodulin-Nadzieja L.: Modelowanie wymiany ciepła między górnikiem a otoczeniem w trudnych warunkach klimatycznych, Wydawnictwa AGH, Kraków, 2004[174]
220. Waclawik J., Branny M.: Zasady oceny obciążenia termicznego metodą modelowania wymiany ciepła między pracownikiem a otoczeniem, *WUG*, nr 1, 2006 [225]

221. Waławik J., Cygankiewicz J., Knechtel J.: Warunki Klimatyczne w kopalniach głębokich. Wyd. CPPGSMiE Pan Kraków 1995. [53]
222. Waławik J., Cygankiewicz J., Knechtel J. (1995): Warunki klimatyczne w kopalniach głębokich. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Poradnik nr 4. Kraków, CPPGSMiE PAN. [22]
223. Waławik J., Knechtel J., Nowak A., Syty J., Świerczek L.: Bilans cieplny pracownika jako metoda określenia i oceny obciążenia cieplnego w otoczeniu gorącym. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2015 [250]
224. Waławik J., Knechtel J., Świerczek L.: O mechanizmach wymiany ciepła między organizmem pracownika a otoczeniem w wyrobiskach kopalnianych, Zagrożenia i Technologia, Katowice, 2012 [226]
225. Waławik J., Obciążenia cieplne pracownika w normach ISO, EN i PN, Materiały Konferencji Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2006. październik 1999, 185-190, ISBN 83-904303-8-X. [192]
226. Waławik J., Roszczyński W. (1983): Aerologia górnicza. Warszawa, PWN, 1983 [201]
227. Waławik J., Zdolność chłodnicza środowiska pracy jako miara stresu i obciążenia cieplnego, Cuprum, nr 3, 2006 [227]
228. Waławik J.: Centralne systemy klimatyzacji w górnictwie węglowym Republiki Federalnej Niemiec. Biuro Studiów i Projektów Górniczych – Informator Komisji ds. Przewietrzania Kopalń nr 12 i 13. Katowice 1992 [169]
229. Waławik J.: O perspektywach klimatyzacji w górnictwie polskim. Materiały Konferencji Szkoły Eksploatacji Podziemnej 1997, str. 455-470. Kraków 1997. [170]
230. Waławik J.: Ocena obciążenia cieplnego pracownika w normach międzynarodowych i Unii Europejskiej (z punktu widzenia górnictwa), Cuprum, nr 3, 2005 [228]
231. Waławik J.: Wentylacja kopalń, Wydawnictwa AGH, Kraków, 2010 [132]
232. Waławik J.: Wentylacja kopalń. Tom 1 i 2. Wydawnictwa Uczelniane AGH. Kraków 2010 [190]
233. Waławik J.: Wskaźnik WBGT w ocenie warunków klimatycznych [The WBGT index for assessment of occupational heat stress]. *Górnictwo i Geologia* 8(4), 153–170. (2013). [204]
234. Waławik J.: Wskaźnik WBGT w ocenie warunków klimatycznych, *Górnictwo i Geologia*, zeszyt 4, tom 8, 2013 [127]
235. Wang F., Kuklane K., Gao Ch., Holmer I.: Can the PHS model (ISO7933) predict reasonable thermophysiological responses while wearing protective clothing in hot environments?, *Physiological Measurement*, 32, 2011 [230]
236. Webb C. G.: An analysis of some observations of thermal comfort in an equatorial climate. *British Journal of Industrial Medicine*, 16: 297, 1959. [73]
237. Webb C. G.: On some observations of indoor climate in Malaya. *Journ. Inst. Heat Vent. Engineers*, 20: 189, 1952—53 [72]
238. Webber R. C. W., Franz R. M., Marx U. M., Schutte P. C.: A review of local and international heat stress indices, standards and limits with reference to ultra-deep mining, *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, June, 2003 [133]
239. Wyndham C. H.: Thermal comfort in the hot humid tropics of Australia. *Brit. J. Industr. Med.* 20: 110, 1963 [86]
240. Wyndham C.H., Heyns A.J.: The probability of heat stroke developing of different levels of heat stress. *Archive des Sciences Physiologies* Vol. 27, s. 545-562 [180]

241. Wyon D. P., Lidwell O. M., Williams R. E. O.: Thermal comfort during surgical operations. Journ. of Hygiene, 66: 229, 1968 [87]
242. Wyższy Urząd Górniczy [Internet]: Urząd, Katowice 2016 [cytowany 15 stycznia 2015]. BHP w górnictwie. Stan bezpieczeństwa i higieny pracy w górnictwie za lata 1997-2013. Adres: http://www.wug.gov.pl/bhp/stan_bhp_w_gornictwie [10]
243. Yaglou C. P., Drinker Philip: The summer comfort zone: Climate and clothing. Journ. of Ind. Hygiene and Toxicology, 10: 350—363, 1928. [58]
244. Yaglou C. P., Miller W. E.: Effective temperaturę with clothing. ASHVE Trans. 31: 89—99, 1925. [97]
245. Yaglou C. P.: A method for improving the effective temperaturę index. ASHVE Trans. 53: 307, 1947 [98]
246. Yaglou C.P., Miller W.E. (1924): Effective temperature applied to industrial ventilation problems. ASHVE Trans. Vol. 30, s. 339-364 [195]
247. Yaglou C.P., Minard D., Control of Heat Casualties at Military Training Centers, American Medical Association Archives of industrial Health, no. 16, pp. 302 - 316, 1957 [128]
248. Yaglou C.P., Minard D., Control of Heat Casualties at Military Training Centers, American Medical Association Archives of Industrial Health, no. 16, pp. 302 - 316, 1957 [205]
249. Yaglou C.P., Minard D.: Prevention of heat casualties at marine corps training centre, Final report, Office of Naval Research Psychology Branch WashingtonD.C., 31 May, 1957 [129]
250. Yaglou C.P.: Temperature humidity and air movement in industries: the effective temperature index, The Journal of Industrial Hygiene, vol.9, pp. 297-309, 19 [113]
251. Zagrożenia ratowników górniczych w trudnych warunkach cieplnych. Ratownictwo Górnicze nr 2. [140]
252. Załącznik nr 1 do zarządzenia Nr KR/93/2011: Ramowe zasady stosowania temperatury zastępczej klimatu do oceny warunków klimatycznych w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. [217]

Spis rysunków:

Rys. 1.1. Mapa średniego gradientu geotermicznego ($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) dla utworów karbonu w obszarze GZW (Karwasiecka 2008).....	9
Rys. 1.2. Liczba wyrobisk z podwyższoną temperaturą powietrza w polskich kopalniach węgla kamiennego w latach 2012–2021.....	10
Rys. 1.3. Kształtowanie się zaangażowanej mocy chłodniczej w polskich kopalniach węgla kamiennego	12
Rys. 1.4. Najczęstsze objawy dyskomfortu cieplnego.....	13
Rys. 4.1 . Przykład nomogramu służącego do wyznaczania temperatury efektywnej dla człowieka ubranego w zwykłą odzież letnią.....	26
Rys. 4.2. Amerykańska temperatura efektywna odpowiadająca wysokim temperaturom powietrza dla ludzi w hełmie, butach i lekkich szortach.....	27
Rys. 4.3. Nomogram do wyznaczania skorygowanej temperatury efektywnej CET.....	27
Rys. 4.4. Krzywe komfortu cieplnego Fanger'a w układzie współrzędnych temperatura termometru suchego i temperatura termometru wilgotnego (t_a, t_w) dla wydatku energetycznego $M=165\text{ W/m}^2$	30
Rys. 4.5. Granice komfortu i dyskomfortu cieplnego.....	31
Rys. 4.6. Nomogram do wyznaczania wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ	33
Rys. 4.7. Granice bezpieczeństwa di wskaźnika obciążenia cieplnego HSI	35
Rys. 5.1. Drogi wymiany ciepła człowieka z otoczeniem.....	45

Rys. 5.2. Mechanizmy odprowadzania ciepła z organizmu człowieka.....	48
Rys. 5.3. Bilans ciepły organizmu.....	50
Rys. 5.4. Rozkład temperatury w organizmie w czasie t_{i-1} i t_i	65
Rys. 6.1. Odpowiedź na pytania ankietowe blok I.....	74
Rys. 6.2. Odpowiedź na pytania ankietowe blok I ciąg dalszy.....	75
Rys. 6.3. Odpowiedź na pytania ankietowe blok II.....	76
Rys. 6.4. Odpowiedź na pytania ankietowe blok IV.....	77
Rys.6.5 a) ściany w pokładzie 413/2, b) ściany w pokładzie 414/2.....	80
Rys. 6.6. Rejon eksploatacyjny oddziały G1 i GRP 2 kopalni X.....	81
Rys. 6.7. Sposób zabudowy klimatyzatora.....	84
Rys. 6.8. Przykładowe rozmieszczenie stanowisk pracy w ścianie 146 w pokł. 414/2.....	85
Rys 6.9. Przyrządy pomiarowe: a) Psychrometr Assmanna aspirowany PM-8211 – przyrząd do pomiaru temperatury suchej i wilgotnej, b) anemometr skrzydełkowy μ AS 4, c) przenośny miernik ciśnienia atmosferycznego MCR-10, d) Termohigromet CHOT-2.....	87
Rys. 6.10. Przyrządy pomiarowe: a) Termometr górniczy – przyrząd do pomiaru temperatury suchej, b) katatermometr – przyrząd do mierzenia intensywności chłodzenia.....	88
Rys. 6.11. Pomiary środowiskowe anemometrem skrzydełkowym.....	89
Rys. 6.12 Wykres i-x Molliera.....	90
Rys 6.13. Zestaw pomiarowy do wyznaczania temperatury poczerwionej kuli wraz z oprogramowaniem.....	92
Rys. 6.14. Przykładowe rozmieszczenie punktów pomiarowych w ścianie 146 przewietrzanej systemem „U”.....	93
Rys. 6.15. Uśrednione wyniki pomiarów parametrów powietrza i warunków klimatycznych na poszczególnych stanowiskach pracy oddziały G-1 w rejonie ściany 146.....	94
Rys.6.16. Przyrost parametrów powietrza w rejonie ściany 146/pokł. 414/2 zweryfikowany a pomocą programu Mollier 2000.....	95
Rys. 6.17. Przykładowe obliczenia wskaźników zagrożenia klimatycznego za pomocą programu Z.K.S Delta.....	111
Rys. 6.18 Waga lekarska: a) stacjonarna z wzrostomierzem, b) przenośna platformowa MS7301.....	113
Rys. 6.19. Termometr douszny BRAUN Thermoscan 7 IRT6520.....	115
Rys. 6.20. Termometr na podczerwień PeakTech 4960 z sondą IR i oprogramowaniem ENV Tol.....	115
Rys. 6.21. Lokalizacja miejsc pomiarowych.....	116
Rys. 6.22. Rejestratorem tętna Suunto Memory Belt.....	117
Rys. 6.23. Prawidłowy sposób zakładania pasa Suunto Memory Belt.....	118
Rys. 6.24. Przykład zapisu pomiaru tętna wykonanego na stanowisku pracy górnika zatrudnionego w górnej wnęce (nr. badanego 13).....	132
Rys. 7.1. Kamizelki chłodzące a) stosowane przez ratowników CSRG Bytom.....	146
Rys 7.2. Kamizelka chłodząca Dräger CVP 5220.....	147

Rys 7.3. Komora klimatyczna NCZ 2014M.....	149
Rys. 7.4. Wyposażenie komory klimatycznej: a) stanowisko cykloergometru, b) regulator warunków klimatycznych.....	150
Rys. 7.5. Cykloergometr firmy Lode BV.....	151
Rys. 7.6. Ratownicy w kamizelkach chłodzących przed i w trakcie badania.....	152
Rys. 7.7. Defibrylator ZOLL M series.....	153
Rys. 7.7 Przykładowy wykres tętna ratownika nr 2 bez kamizelki (wykres górny) i w kamizelce (wykrest dolny) przy temperaturze 34°C i wilgotności 90%.....	172
Rys. 7.8 Przykładowy wykres tętna ratownika nr 3 bez kamizelki (wykres górny) i w kamizelce (wykrest dolny) przy temperaturze 34°C i wilgotności 90%.....	173
Rys. 7.9. Mapa wyrobisk i rozmieszczenie stanowisk pracy (1-11).....	184
Rys. 7.10 Kamera termowizyjna model UCF 9000.....	195
Rys. 7.11 Przykładowe stanowiska pracy w rejonie likwidowanej przecznicy materiałowej.....	196
Rys. 7.12. Przyrost temperatury wkładów żelowych kamizelek chłodzących.....	201
Rys.7.13. Przykładowe przyrosty temperatury dla ludzi ubranych w standardowe ubranie robocze.....	202
Rys.7.14. Przykładowe przyrosty temperatury dla ludzi ubranych w standardowe ubranie robocze i kamizelki chłodzące z wkładami żelowymi.....	204
Rys. 7.15. Przykład zapisu pomiaru tętna wykonanego na stanowisku pracy górnika zatrudnionego przy transporcie ręcznym materiału (nr. badanego 1) bez kamizelki chłodzącej.....	206
Rys. 7.16. Przykład zapisu pomiaru tętna wykonanego na stanowisku pracy górnika zatrudnionego przy transporcie ręcznym materiału (nr. badanego 1) w kamizelki chłodzącej.....	207
Rys. 8.1. Odzież dedykowana do użytku z opracowanym osobistym systemem chłodzenia: (a) przód; (b) z powrotem	216

Spis tabel:

Tabela 1.1. Liczba wyrobisk z podwyższoną temperaturą powietrza w latach 2012-2021.....	11
Tabela 4.1. Wartości wskaźnika dyskomfortu cieplnego.....	31
Tabela 4.2. Normatywny czas pracy wg wskaźnika temperatury zastępczej śląskiej TŚ.....	34
Tabela 4.3. Wartości wskaźnika HSI.....	35
Tabela 4.4. Klasyfikacja poziomów tempa metabolizmu.....	39
Tabela 4.5. Przykładowe wartości korekcji odzieżowej CAV	40
Tabela 4.6. Wartości odniesienia WBGT (WBGTeff) dla osób zaaklimatyzowanych i niezaaklimatyzowanych, w odniesieniu do pięciu klas tempa metabolizmu.....	40
Tabela 5.1. Zakresy wartości parametrów, modelu PHS.....	52
Tabela 5.2. Porównanie metod pomiaru wydatku energetycznego.....	68
Tabela 5.3. Porównanie średnich wartości wydatku energetycznego i ciężkości pracy pracowników ze względu na zastosowaną metodę pomiaru.....	70

Tabela 5.4. Średni czas trwania poszczególnych etapów procesu pracy.....	72
Tabela 6.1. Pytania ankietowe dotyczące zagrożenia klimatycznego w kopalniach.....	72
Tabela 6.2. Uśrednione pomiary warunków klimatycznych w wyrobiskach kopalni X.....	80
Tabela 6.3. Podstawowe dane techniczno-geologiczne ściany 146 w pokł. 414/2.....	82
Tabela 6.4. Wyposażenie ściany 146 w pokł. 414/2.....	82
Tabela 6.5. Obłożenie dzienne oddziału G-1 ściana 146 w pokł. 414/2.....	85
Tabela 6.6. Średni czas trwania poszczególnych etapów procesu pracy w ścianie.....	86
Tabela 6.7. Metoda szacowania zagrożenia klimatycznego zgodnie z normą PN-N-18002.....	96
Tabela 6.8. Klasyfikacja ciężkości pracy według przedziałów wydatku energetycznego.....	97
Tabela 6.9. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie amerykańskiej temperatury efektywnej ATE dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X.....	99
Tabela 6.10. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie amerykańskiej temperatury zastępczej klimatu t_{zk} dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X.....	100
Tabela 6.11. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika WBGT dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni.....	102
Tabela 6.12. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika śląskiej temperatury zastępczej T_S dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni.....	104
Tabela 6.13. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie dyskomfortu cieplnego δ dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X.....	106
Tabela 6.14. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie obowiązujących przepisów górniczych dla wszystkich 10 stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X.....	108
Tabela 6.15. Poziom ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym dla stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X.....	109
Tabela 6.16. Charakterystyka podstawowych parametrów fizjologicznych wybranych pracowników oddziału G-1.....	121
Tabela 6.17. Klasyfikacja masy ciała osób dorosłych na podstawie BMI.....	122
Tabela 6.18. Przyrost temperatury ciała w badanej grupie pracowników oddziału G-1 kopalni X.....	124
Tabela 6.19. Przyrost temperatury skóry w badanej grupie pracowników oddziału G-1 kopalni X.....	127
Tabela 6.20. Wartość $(1/RM)$ w zależności $M = (HR - 70)/RM + 100$ między tempem metabolizmu (W) i tętno (uderzenia na minutę), przewidywane jako funkcja wieku i beztłuszczowej masy ciała badanego dla mężczyzn.	130
Tabela 6.21. Klasyfikacja tempa metabolizmu wg kategorii.....	131
Tabela 6.22. Wskazania pomiaru tętna w badanej grupie pracowników oddziału G-1 kopalni X.....	133
Tabela 6.23. Wydatek energetyczny dla badanej grupy pracowników oddziału G-1 kopalni X, wyznaczony na podstawie częstości skurczów serca.....	135
Tabela 6.24. Urata masy ciała w badanej grupie pracowników oddziału G-1 kopalni X.....	137

Tabela. 6.25. Liczba oddechów w badanej grupie pracowników oddziału G-1 kopalni X.....	138
Tabela. 6.26. Wartość ciśnienia tętniczego w badanej grupie pracowników oddziału G-1 kopalni X.....	140
Tabela 6.27. Poziom ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym dla stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie ściany 146 w pokł. w pokł. 414/2 Oddziału G-1 kopalni X na podstawie parametrów fizjologicznych.....	142
Tabela 6.28. Ocena dyskomfortu cieplnego w rejonie ściany 146 na podstawie listy kontrolnej.....	144
Tabela 7.1 Harmonogram badania ratowników w komorze klimatycznej.....	155
Tabela 7.2. Charakterystyka podstawowych parametrów fizjologicznych badanych ochotników.....	163
Tabela 7.3. Utrata masy ciała ratowników badanych w komorze klimatycznej CSRG w wyniku pocenia się.....	166
Tabela 7.4. Przyrost temperatury wewnętrznej ratowników badanych w komorze klimatycznej CSRG.....	167
Tabela 7.5. Wartość średniego minutowego przyrostu temperatury podczas pracy w kamizelkach chłodzących i bez nich.....	168
Tabela 7.6 Przyrost temperatury skóry ratowników badanych w komorze klimatycznej CSRG.....	170
Tabela 7.7 Przyrost tętna ratowników badanych w komorze klimatycznej CSRG.....	172
Tabela 7.8. Wydatek energetyczny wyznaczony dla ratowników badanych w komorze klimatycznej CSRG.....	175
Tabela 7.9. Różnica wydatku energetycznego podczas testu w kamizelkach chłodzących i bez nich w komorze klimatycznej CSRG.....	176
Tabela 7.10. Średni czas trwania poszczególnych etapów procesu pracy w rejonie przecznicy materiałowej.....	179
Tabela 7.11. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie amerykańskiej temperatury efektywnej ATE dla wszystkich stanowisk pracy kopalni Y.....	182
Tabela 7.12. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie temperatura zastępcza klimatu t_{zk} . dla wszystkich stanowisk w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y.....	184
Tabela 7.13. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika WBGT dla wszystkich stanowisk w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y.....	186
Tabela 7.14. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie śląskiej temperatury zastępczej TŚ. dla wszystkich stanowisk w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y.....	187
Tabela 7.15. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie wskaźnika dyskomfortu cieplnego δ . dla wszystkich stanowisk w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y.....	189
Tabela 7.16. Oszacowanie ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym na podstawie aktualnie obowiązujących przepisów górniczych w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y.....	191
Tabela 7.17. Poziom ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym dla wszystkich stanowisk w rejonie przecznicy materiałowej kopalni Y.....	193
Tabela 7.18 Charakterystyka podstawowych parametrów fizjologicznych wybranych pracowników oddziału górniczo-wentylacyjnego kopalni Y.....	198
Tabela 7.19 Przyrost temperatury ciała w badanej grupie pracowników oddziału GW kopalni Y.....	200

Tabela 7.20	Przyrost temperatury skóry w badanej grupie pracowników oddziału GW kopalni Y.....	203
Tabela 7.21	Przyrost tętna w badanej grupie pracowników oddziału GW kopalni Y.....	205
Tabela 7.22	Wydatek energetyczny dla badanej grupy pracowników oddziału GW kopalni Y.....	208
Tabela 7.23	Utrata masy ciała w badanej grupie pracowników oddziału GW kopalni Y.....	210
Tabela 7.27.	Poziom ryzyka związanego z zagrożeniem klimatycznym dla stanowisk pracy zidentyfikowanych w rejonie likwidowanej przecznicy materiałowej kopalni X na podstawie parametrów fizjologicznych.....	212