9

REDUKCJA OBCIĄŻENIA TERMICZNEGO I SPOSOBY POPRAWY WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH W KOPALNIACH WĘGLA

9.1 BILANS CIEPLNY

Wymiana ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem w wyrobiskach kopalń głębokich

Wymiana ciepła między ustrojem a otoczeniem odbywa się przez: promieniowanie, przewodzenie, konwekcję i parowanie [5, 14, 19, 21]. Człowiek część swego ciepła „oddaje" do otoczenia na skutek wypromieniowania fal elektromagnetycznych podczerwonych. Ilość tego promieniowania zależy od warunków otoczenia, powierzchni i pozycji ciała. Utrata ciepła przez przewodzenie jest niewielka, ponieważ ciało człowieka zwykle izolowane jest przez odzież. Jeśli ciepło unoszone jest wraz z cząsteczkami materii, mówimy wówczas o konwekcji, czyli unoszeniu ciepła. Wymiana ciepła między powierzchnią ciała i otoczeniem przez konwekcję zależna jest od temperatury, ruchu powietrza i wilgotności. Przez konwekcję mogą odbywać się zarówno ogrzewanie, jak i utrata ciepła w ustroju. Utrata ciepła przez parowanie zachodzi wówczas, gdy prężność pary wodnej na powierzchni skóry jest wyższa niż w otaczającym powietrzu. U człowieka woda paruje ze skóry i błon śluzowych dróg oddechowych. Utrata ciepła tą drogą jest większa w środowisku o małej wilgotności (suche powietrze), a mniejsza przy większej wilgotności powietrza.

Równanie bilansu cieplnego, cooling power

Równanie bilansu cieplnego człowieka przedstawia sposoby i wartości wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem. Wytworzona w organizmie energia metabolizmu w bardzo małej ilości zużytkowana jest na wykonanie pracy, a w większości powinna być w postaci ciepła wydzielona do otoczenia w celu utrzymania stałej temperatury wewnętrznej. Od lat 60 dwudziestego wieku zagadnienia obciążenia termicznego i przebywania w danym miejscu pracy rozpatrywane są z punktu widzenia bilansu ciepła wywiązującego się w organizmie i wymienianego z otoczeniem. Bilans cieplny ciała człowieka w normach ISO, CEN oraz PN [22, 23, 24] zapisuje się w postaci znanej z prac O. Fangera:

$$M - W = E + C + R + C_{res} + E_{res} + K \cdot \quad \text{[illegible]} \quad \text{[illegible]}^2 \qquad (1)$$

gdzie:

M – gęstość strumienia ciepła metabolizmu, W/m^2,

W – gęstość strumienia pracy zewnętrznej, W/m^2,

E – gęstość strumienia entalpii odbierana z organizmu człowieka drogą parowania potu, W/m^2,

C – gęstość strumienia ciepła odbieranego z organizmu człowieka drogą konwekcji, W/m^2,
R – gęstość strumienia ciepła wymienianego drogą promieniowania, W/m^2,
C_{res} – gęstość strumienia ciepła wymienionego podczas oddychania drogą konwekcji, W/m^2,
E_{res} – gęstość strumienia ciepła wymienionego podczas oddychania drogą parowania, W/m^2,
K – gęstość strat ciepła wymienianych drogą przewodnictwa, W/m^2,
S – gęstość strumienia ciepła gromadzonego w organizmie człowieka, W/m^2.

W wielu rozważaniach pomija się pracę zewnętrzną i przewodnictwo jako procesy o małym znaczeniu w porównaniu z pozostałymi. Strumień cieplny odprowadzony w danym mikroklimacie z organizmu człowieka do otoczenia nazwano zdolnością chłodniczą otoczenia CP (Cooling Power). Jest ona równa sumie gęstości strumienia ciepła konwekcji, promieniowania oraz parowania potu:

$$CP = C + R + E, \ W/m^2 \qquad (2)$$

Przy korzystaniu z pojęcia zdolności chłodniczej środowiska CP w kopalniach rud złota w RPA przyjęto następującą interpretację:

- niebezpieczeństwo wynikające z przegrzania organizmu istnieje wtedy, gdy wydatek energetyczny M zaaklimatyzowanego górnika przewyższa zdolność chłodniczą otoczenia CP, czyli M > CP,
- gdy wydatek energetyczny M zrównuje się ze zdolnością chłodniczą otoczenia CP, istnieje pewne, chociaż małe, zagrożenie przekroczenia bezpiecznych parametrów fizjologicznych ciała,
- jeśli zdolność chłodnicza środowiska CP przekracza ciepło przemian metabolicznych M, to istnieje możliwość osiągnięcia ustalenia równowagi cieplnej organizmu na poziomie niestwarzającym stanu niebezpiecznego.

Kontynuacją tych badań były prace M. J. McPhersona, uwzględniające termoregulacyjne funkcje temperatury i stopnia zwilżenia skóry ciała, dostosowujące się do warunków panujących w otoczeniu. Temperatura ta ustala się na wysokości średniej równowagowej temperatury skóry ciała, przy której ma miejsce zrównanie strat i zysków ciepła. Jeśli wartość temperatury jest mniejsza od wartości granicznej, stan jest uznany za bezpieczny. Przy wyznaczaniu strumienia ciepła parowania potu M. J. McPherson wprowadził wzory na gęstość strumienia odparowania potu E, która zależy głównie od średniej równowagowej temperatury skóry ciała i od temperatury powietrza na termometrze wilgotnym.

9.2 KLASYCZNE SPOSOBY I METODY POPRAWY WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH

Klasyczne metody poprawy warunków klimatycznych w kopalniach to takie metody, które nie wymagają stosowania urządzeń chłodniczych. Wykorzystując znajomość tych metod [3, 7, 17, 21], poprawę warunków klimatycznych w wyrobiskach górniczych można uzyskać poprzez:

- ograniczenie nawilżania powietrza świeżego w szybach wdechowych i na głównych poziomach,
- upraszczanie sieci wentylacyjnej i w konsekwencji kierowanie do ścian i drążonych wyrobisk korytarzowych większej ilości świeżego powietrza,

- prawidłowe udostępnienie i rozcięcie złoża (wskazany szkielet kamienny, skrócenie dróg doprowadzania powietrza i odstawy urobku),
- stosowanie w rejonach eksploatacyjnych, w miarę możliwości, wentylacji schodzącej i homotropowej,
- wykonywanie robót przygotowawczych od strony świeżego powietrza doprowadzanego do wyrobisk ścianowych,
- dobranie optymalnego systemu przewietrzania ścian (preferowane systemy „Z" i „Y"),
- szczelna izolacja zrobów zawałowych (ograniczenie przepływu powietrza przez zroby),
- wypełnianie przestrzeni zrobowej ścian mieszaniną, na przykład pyłów dymnicowych i wody,
- lokalizowanie odstawy urobku ze ściany w zużytym prądzie powietrza,
- unikanie szeregowego przewietrzania ścian,
- projektowanie odpowiedniej długości ścian.

Aby poprawnie zaprojektować eksploatację w warunkach zagrożeń naturalnych niezbędne jest uwzględnienie wszystkich zagrożeń współwystępujących z zagrożeniem klimatycznym. Należy pamiętać, iż w celu zapewnienia optymalnego sposobu prowadzenia eksploatacji powinno się określić gradację występujących zagrożeń naturalnych. Dopiero na jej podstawie możemy zaprojektować optymalne rozwiązanie, pamiętając o dobraniu odpowiedniego sposobu odstawy urobku ze ścian, transportu materiałów i załogi oraz o odpowiednim utrzymaniu wyrobisk górniczych.

9.3 METODY POPRAWY WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH Z WYKORZYSTANIEM URZĄDZEŃ CHŁODNICZYCH

W miarę wzrostu głębokości eksploatacji oraz koncentracji produkcji klasyczne metody poprawy warunków klimatycznych, mogą okazać się niewystarczające. Zachodzi zatem konieczność zastosowania innych metod, polegających na stosowaniu urządzeń chłodniczych. W polskich kopalniach węgla kamiennego rozpoczęto stosowanie na szerszą skalę urządzeń chłodniczych dopiero w latach osiemdziesiątych dwudziestego wieku. Niewielkie maszyny klimatyzacyjne sprawdzają się w kopalniach, gdzie zapotrzebowanie na moc chłodniczą nie przekracza 2 MW (doświadczenia z niemieckich i polskich kopalń [4, 9]). W kopalniach o większym zapotrzebowaniu na moc chłodniczą (od 2 do 6 MW) konieczne staje się skorzystanie z nowszych technologii, a mianowicie z tak zwanej klimatyzacji grupowej (kopalnie niemieckie, niektóre polskie kopalnie węglowe oraz polskie kopalnie miedzi). W technologii klimatyzacji grupowej odbierane ciepło zrzucane jest do grupowych prądów powietrza zużytego lub do komory pomp głównego odwadniania i w ten sposób przesyłane na powierzchnię. Najczęściej wykorzystywanymi urządzeniami w klimatyzacji grupowej są wodne maszyny klimatyzacyjne. W kopalniach o zapotrzebowaniu na moc chłodniczą powyżej 6 MW zaleca się stosowanie tak zwanej klimatyzacji centralnej [10, 12], gdzie urządzenia chłodnicze z obiegiem wodnym połączone są w stacjonarnych punktach na powierzchni lub na dole, w celu zapewnienia klimatyzacji całych pól kopalnianych lub dużych ich powierzchni przy pomocy centralnej sieci wody chłodzącej. Oprócz wyrobisk korytarzowych, najtrudniejsze warunki klimatyczne w kopalniach węgla kamiennego występują w czynnych ścianach i komorach kopalń miedzi. W celu poprawy warunków

klimatycznych w ścianach stosuje się urządzenia chłodnicze. Najczęściej instalowane są one w wyrobiskach doprowadzających świeże powietrze do ściany. Schładzanie powietrza wyłącznie na wlocie do ściany (tak zwane głębokie schładzanie) często może okazać się niewystarczające. W trudnych warunkach klimatycznych (duża głębokość prowadzenia eksploatacji, wysoka koncentracja produkcji), a szczególnie w długich ścianach, następuje gwałtowny przyrost temperatury powietrza. W wielu pracach [1, 2, 11, 13, 18] stwierdzono, iż schładzanie powietrza w ścianach jest o wiele bardziej korzystne niż w wyrobisku doprowadzającym powietrze do ściany.

Wspomniane chłodzenie powietrza w ścianach można uzyskać poprzez:

- agregaty lodowe,
- chłodnice powietrza zasilane zimną wodą,
- nieszczelny lutniociąg dostarczający schładzane powietrze z chodnika wentylacyjnego,
- wykorzystanie instalacji hydraulicznej ścianowej obudowy zmechanizowanej [6].

Chłodzenie powietrza w ścianie chłodnicami powietrza zasilanymi zimną wodą polega na rozłożeniu w niej niezbędnej mocy chłodniczej (identycznie jest również w przypadku stosowania chłodnic lodowych). Chłodnice powietrza są najczęściej podwieszane na sekcjach obudowy zmechanizowanej lub przymocowywane do obudowy przenośnika zgrzebłowego. Liczba chłodnic oraz ich moc chłodnicza jest uzależniona od dobranego urządzenia wytwarzającego zimną wodę. Wyższość ścianowych chłodnic lodowych nad ścianowymi chłodnicami powietrza jest taka, iż mają one znacznie mniejsze rozmiary i nadają się do wykorzystania nawet w niskich pokładach. Za ścianowymi chłodnicami powietrza przemawia fakt, iż są one ponad dwukrotnie tańsze w eksploatacji od chłodnic lodowych. Wobec tego faktu w Polsce szersze zastosowanie znalazły ścianowe chłodnice powietrza. Alternatywnym rozwiązaniem do ścianowych chłodnic lodowych i ścianowych chłodnic powietrza może być rozwiązanie polegające na zabudowaniu przewoźnego urządzenia chłodniczego (np. DV-290) w chodniku wentylacyjnym i tłoczeniu chłodnego powietrza nieszczelnym lutniociągiem na odcinku kilku, kilkunastu lub wszystkich sekcji obudowy zmechanizowanej ściany. Ciekawym rozwiązaniem może być również koncepcja wykorzystania instalacji hydraulicznej ścianowej obudowy zmechanizowanej do regulacji warunków klimatycznych w ścianie [6].

9.4 KSZTAŁTOWANIE WYDATKU ENERGETYCZNEGO, ZESTAWU UBIORU I AKLIMATYZACJI PRACOWNIKÓW KOPALŃ WĘGLA W CELU POPRAWY WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH

Określenie wydatku energetycznego, zestawu ubioru (oporu cieplnego odzieży) i aklimatyzacji pracownika w środowisku gorącym może mieć istotny wpływ na działania podejmowane w ramach procedur zmniejszających obciążenie termiczne organizmu. Od nich, w głównej mierze, zależy czy pracownik w środowisku gorącym będzie narażony na wykonywanie pracy w warunkach dyskomfortu cieplnego bezpiecznego, lub też niebezpiecznego dla zdrowia i życia. Odpowiednie dobieranie wartości wydatku energetycznego, czyli rodzaju i intensywności pracy, ubioru oraz aklimatyzacji pracownika będzie miało wpływ na odczuwanie przez niego warunków klimatycznych na danym stanowisku pracy. Poniżej omówiono sposób określania wydatku energetycznego, oporu cieplnego odzieży oraz przedstawiono problem aklimatyzacji i adaptacji do środowisk

gorących. Pokazano jaki wpływ mają one na warunki klimatyczne w miejscu pracy. Posłużono się tutaj wskaźnikiem dyskomfortu cieplnego, który uwzględnia ich łączny wpływ. Wskaźnik ten nie jest wielkością przewidzianą obowiązującymi w polskim górnictwie przepisami, jednak za jego pomocą można w bardzo prosty sposób pokazać wszelkie przedsięwzięcia profilaktyczne.

Wydatek energetyczny (przerwy w pracy)

Tempo metabolizmu określa proces zamiany energii chemicznej w mechaniczną i cieplną, jest więc miarą kosztu energetycznego obciążenia mięśniowego i pozwala na uzyskanie liczbowego wskaźnika aktywności. Znajomość tempa metabolizmu pozwala na oszacowanie metabolicznej produkcji ciepła służącej do oceny regulacji ciepłoty ciała człowieka. Energia produkowana przez organizm jest przekształcana w energię cieplną i energię mechaniczną – zwaną „pracą użyteczną" (W), która może być pominięta, wobec tego metaboliczna produkcja ciepła staje się równa z tempem metabolizmu (norma ISO 7933 [23]). Mianem metabolizmu określa się wszystkie przemiany zachodzące w ciele człowieka, których rezultatem jest wytworzenie energii niezbędnej do funkcjonowania organizmu. Jednostkami opisującymi ilość ciepła metabolicznego jest W/m² oraz met (1 met równe jest ilości ciepła wytwarzanego w czasie odpoczynku, równe 58,2 W/m²).

Wpływ zmian wydatku energetycznego na obciążenie termiczne

Wielkość wydatku energetycznego możemy regulować, na przykład, poprzez stosowanie planowych przerw w pracy [5]. W zmechanizowanych przodkach ścianowych najczęściej występuje praca umiarkowana (kombajniści, operatorzy sekcji obudowy), w przodkach chodnikowych – praca umiarkowana i ciężka. Zmiana średniego wydatku energetycznego w czasie dniówki roboczej lub w czasie godziny wskutek wprowadzenia planowych przerw w pracy wiąże się z różnicami stosunku wielkości wydatku energetycznego dla odpoczynku i poszczególnych ciężkości pracy. Wykorzystując równanie (3) można obliczyć średni wydatek energetyczny w czasie godziny przy stosowaniu planowych przerw w pracy:

$$M_{br} = \frac{(60 - \tau_{br}) \cdot M_o + \tau_{br} \cdot M_{odp}}{60} \ \mathrm{W/m^2} \tag{3}$$

gdzie:

M_o – średni metabolizm początkowy określony dla godziny pracy, W/m^2,

M_{odp} – średni metabolizm dla odpoczynku, W/m^2, najczęściej 65W/m^2,

τ_{br} – ilość planowych minut przerwy w czasie godziny roboczej, min.

Aklimatyzacja pracownika

Człowiek ma znacznie większe możliwości rozpraszania ciepła przez wydzielanie i parowanie potu niż inne ssaki, a w związku z tym większe możliwości adaptacji do wysokiej niż do niskiej temperatury otoczenia. Badania [14, 15, 16, 20] dowodzą, że w okresie kilku pierwszych dni po zadziałaniu na człowieka gorącego środowiska następuje wiele zmian fizjologicznych, które zmniejszają stopień obciążenia warunkami tego środowiska. Przystosowania układu sercowo-naczyniowego, które zmniejszają częstość skurczów serca

wymaganą do utrzymania określonego poziomu aktywności w gorącym otoczeniu, pojawiają się szybko i osiągają swój pułap w ciągu jednego tygodnia. Zmiany w poceniu następują wolniej. Po aklimatyzacji pocenie rozpoczyna się wcześniej i przy niższej temperaturze wewnętrznej Takie zmiany zmniejszają poziomy temperatur – wewnętrznej i skóry – osiąganych podczas określonego wysiłku w gorącym otoczeniu, zwiększają pocenie i umożliwiają wykonywanie wysiłku przez czas dłuższy niż u osób niezaaklimatyzowanych. W procesie aklimatyzacji, najbardziej znaczące jest zwiększenie reabsorbcji jonów sodowych zarówno przez komórki kanalików nerkowych, jak i komórki gruczołów potowych. Skutkiem jest minimalizacja utraty sodu z polem oraz osmotyczna retencja wody przez nerki, co powoduje zwiększenie objętość krwi krążącej. Skutki aklimatyzacji do gorącego środowiska są takie, że osoby zaaklimatyzowane pocą się więcej i przy niższej temperaturze wewnętrznej oraz tracą mniej sodu niż osoby niezaaklimatyzowane. Te zmiany, w wyniku działania środowiska, obniżają przyrost temperatury wewnętrznej. Pełny skutek aklimatyzacji osiąga się po 10-14 dniach aktywnego narażenia na gorące środowisko i zanika po podobnym okresie czasu przebywania w chłodniejszym środowisku. Zmiany fizjologiczne mogą być również indukowane sztucznie w procesie aklimacji. Każde działanie, które powoduje zwiększenie temperatury wewnętrznej o 1°C na godzinę w ciągu 10-14 dni spowoduje podobne rezultaty, jak narażenie na gorące środowisko. Zasadnicze znaczenie dla tolerancji gorącego środowiska ma trening fizyczny. Podczas wysiłku, u osób niezaaklimatyzowanych, ale wytrenowanych, metaboliczna produkcja ciepła jest mniejsza przy danym poziomie wysiłku, mniejsza jest także częstość skurczów serca oraz mniejszy wzrost temperatury wewnętrznej niż u osób niewytrenowanych i niezaaklimatyzowanych. Adaptacja do nowych warunków klimatycznych rozpoczyna się już od drugiego dnia, ale potrzeba 10-14 dni na pełną aklimatyzację. Po 7 dniach aklimatyzacji pojawia się około 70% zmian adaptacyjnych, a więc nawet krótki okres aklimatyzacji już daje pewne korzyści. Wykazano, że korzystne efekty, będące wynikiem aklimatyzacji, utrzymują się przez pewien czas po powrocie do chłodniejszego środowiska, a do ponownej adaptacji dochodzi znacznie szybciej.

Opór cieplny odzieży – statyczna i dynamiczna charakterystyka odzieży [8, 24]

Całkowita statyczna oporność przekazywania ciepła jawnego osoby niewykonującej ruchu może być wyrażona przez:

$$C + R = \frac{T_{sk} - T_a}{I_{tot\,st}} \text{ W/m}^2 \tag{4}$$

gdzie:

C – gęstość strumienia ciepła konwekcji, W/m^2,

R – gęstość strumienia ciepła promieniowania, W/m^2,

T_{sk} – temperatura skóry, ^{o}K,

T_a – temperatura otoczenia, ^{o}K,

$I_{tot\,st}$ – całkowity statyczny opór cieplny odzieży, m^{2}K/W.

Statyczny opór cieplny osoby nieubranej, czyli opór warstwy przyściennej spokojnego powietrza przyjmuje się 0,111 (m^{2}K/W). Całkowity statyczny opór cieplny ubioru $I_{tot\,st}$, do którego zalicza się opór materiału odzieży, a także opór warstwy przyściennej powietrza wyznacza się ze wzoru:

$$I_{tot\,st} = I_{cl\,st} + \frac{I_{a\,st}}{f_{cl}} \text{ m}^2\text{K/W} \tag{5}$$

gdzie:

$I_{cl\,st}$ – statyczny opór cieplny odzieży, m^2K/W,

$I_{a\,st}$ – statyczny opór cieplny warstwy przyściennej powietrza, m^2K/W,

f_{cl} – stosunek powierzchni zewnętrznej osoby ubranej do nieubranej.

Aktywność i związany z nią ruch ciała oraz przepływ powietrza mają wpływ na ukształtowanie warstwy przyściennej powodując zmniejszenie oporu stawianego przenoszeniu ciepła. Wynika stąd konieczność wniesienia i uwzględnienia poprawek wartości oporności cieplnej odzieży i warstwy przyściennej powietrza. Przy obliczaniu oporu cieplnego odzieży wprowadza się ograniczenie na prędkość w_{ar}, która nie powinna być większa od 3 m/s. Jeśli $w_{ar} > 3$ m/s, to przyjmuje się $w_{ar} = 3$ m/s. Współczynnik izolacyjności cieplnej odzieży I_{cl} zwykle wyznacza się na podstawie tablic, w których najczęściej podany jest w clo. Założenia odnośnie przepuszczalności wilgoci ubioru pracownika zostały omówione w normie ISO 9920.

9.5 CHŁODZENIE INDYWIDUALNE PRACOWNIKA NA STANOWISKACH PRACY POD ZIEMIĄ

Na potrzeby ratownictwa górniczego została wykonana kamizelka chłodząca z wkładami żelowymi 3M. Na rynku dostępne są również inne konstrukcje kamizelek chłodzących (m.in. Draeger, Viking). Kamizelki tego rodzaju stanowią standardowe wyposażenie zastępów ratowniczych biorących udział w akcjach ratowniczych prowadzonych w trudnych warunkach mikroklimatu. Istnieje możliwość zastosowania tego rozwiązania do indywidualnego chłodzenia pracownika na stanowisku pracy. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że taka kamizelka chłodząca posiada swoją wagę (ok. 2 kg) i efektywnie działa tylko przez określony czas (w zależności od temperatury otoczenia od kilkudziesięciu minut do kilku godzin). Ostatnio, w laboratorium CSRG oraz w jednej z kopalń węgla kamiennego, badane są specjalne wkłady chłodzące zainstalowane w hełmie ochronnym. Sprawdza się tam między innymi zdolność chłodniczą wkładów, czas ich chłodzenia oraz wpływ dodatkowego obciążenia głowy zastosowanymi wkładami. Powyższe rozwiązanie jest jednak obarczone podobnymi wadami jak kamizelka ochronna i nie do końca określony jest wpływ chłodzenia samej tylko głowy pracownika na jego samopoczucie i stan zdrowia. Do tej pory nie były stosowane w polskich kopalniach urządzenia poprawiające komfort termiczny w bezpośrednim sąsiedztwie stanowisk pracy. Znane są rozwiązania teoretyczne zakładające zabudowę pod ziemią, w rejonie prowadzonych robót, klimatyzowanych kontenerów, w których mogliby w trakcie przerw w pracy przebywać górnicy. Są to jednak tylko rozwiązania teoretyczne, a ich zastosowanie w praktyce wiąże się z poważnymi problemami logistycznymi oraz pociąga za sobą znaczne nakłady finansowe. W ramach pracy BK-/RG-6/2010 zrealizowanej w Instytucie Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej wykonano między innymi koncepcję zastosowania nowego dwustopniowego systemu ucieczkowego w kopalni węgla kamiennego. Zaproponowano w nim wykorzystanie tzw. „mobilnych stacji wymiany aparatów ucieczkowych". Okazało się, że przedmiotowe stacje mogą również być wykorzystywane do poprawy komfortu cieplnego zatrudnionej pod ziemią załogi.

Wykorzystuje się wtedy jej dodatkową funkcję w postaci nawiewu chłodnego powietrza. Podczas przeprowadzonych prób i pomiarów wstępnych okazało się, że stacja MOBI TF w stopniu wystarczającym spełnia swoje zadanie, nawiewane powietrze jest chłodne i rzeczywiście powoduje zmniejszenie obciążenia termicznego działającego na organizm pracownika. Stacja ma kształt zewnętrzny zbliżony do stożka ściętego skierowanego węższą częścią ku górze. Stacja jest przymocowywana do obudowy za pomocą uchwytów. W górnej (węższej) części osłony zamontowany jest rezonator dźwiękowy, sygnalizujący działanie stacji, oraz realizowany jest nadmuch świeżego powietrza. Konstrukcja stacji umożliwia stały napływ świeżego powietrza do wnętrza konstrukcji, a przepływ powietrza jest kontrolowany poprzez sterownik powietrza, uruchamiany płytą naciskową. Do zaworu sterownika świeże powietrze dostarczane jest rurociągiem magistrali sprężonego powietrza lub butli ze sprężonym powietrzem. Pracownik wchodząc do wnętrza przestrzeni ograniczonej osłoną stacji i stojąc na spągu wyrobiska odcinkiem ciała poniżej strefy lędźwiowo-krzyżowej wywiera nacisk na płytę naciskową sterownika. Następuje wlot powietrza poprzez przewód zasilania powietrzem do króćca rezonatora dźwiękowego. Nadmuch powietrza jest sygnalizowany dźwiękowo. Po wejściu pod osłonę, uruchomieniu poprzez nacisk plecami lub inną częścią ciała płyty sterującej zaworem dopływowym, do przestrzeni wewnątrz osłony napływa ciągle powietrze, które chłodzi pracownika. Osoba przebywająca pod osłoną decyduje o czasie nawiewu powietrza (czasie regeneracji). Po schłodzeniu się pracownika, opuszczając przestrzeń pod osłoną, zawór dopływowy automatycznie zostaje zamknięty, tym samym zamykając dopływ świeżego powietrza, pozostając w gotowości do następnego użycia. Po wykonaniu prób, a następnie wdrożeniu przedmiotowego rozwiązania w KWK „Knurów-Szczygłowice", Ruch „Knurów", autorzy doszli do następujących wniosków:

- mobilność stacji została potwierdzona poprzez prostotę konstrukcji oraz bardzo szybki montaż oraz ewentualny demontaż i kolejny montaż (np. przy przebudowie wyrobiska),
- poprawność obsługi została sprawdzona także na kilkunastu górnikach, którym celowo nie udzielono specjalnego instruktażu korzystania ze stacji (nikt nie miał problemów ze korzystaniem ze stacji),
- stacja nie wymaga dużego ciśnienia sprężonego powietrza z rurociągu, aby uzyskać pożądany efekt (w zupełności wystarczy ciśnienie o wartości 2 bar),
- zainstalowanie stacji, której dodatkową funkcją jest poprawienie komfortu pracy, spotkało się z pozytywnym odzewem ze strony zatrudnionej w tym rejonie załogi.

Po uruchomieniu zaworu doprowadzającego powietrze pod osłonę stacji temperatura termometru suchego i wilgotnego spadła o 2°C. Zwiększyło się znacznie natężenie chłodzenia powietrza (o ponad 100%). Wartości wszystkich wskaźników mikroklimatu obniżyły się. Według wskaźnika dyskomfortu cieplnego warunki klimatyczne przed uruchomieniem stacji były bardzo trudne i niebezpieczne dla zdrowia. Po uruchomieniu stacji wskaźnik dyskomfortu cieplnego uległ obniżeniu od 0,23 do 0,30 (dla wartości 0,75 dla pracy umiarkowanej i 0,89 dla pracy ciężkiej), co świadczy o poprawie warunków klimatycznych i znacznym zmniejszeniu obciążenia termicznego działającego na organizm pracowników.

9.6 ZALECANA KOLEJNOŚĆ PRZY POPRAWIE WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH

Omówione czynniki, w głównej mierze decydują o obciążeniu termicznym pracownika. Wykonana analiza pozwoliła na następujące zhierarchizowanie toku postępowania:

- jeśli to możliwe, w rejony zagrożone klimatycznie kierujemy pracowników zaaklimatyzowanych,
- dla pracownika niezaaklimatyzowanego przewidujemy proces aklimatyzacji, kierując go do mniej zagrożonych klimatycznie rejonów lub do pracy o mniejszym wydatku energetycznym do czasu pełnej aklimatyzacji,
- o ile to możliwe, na danym stanowisku pracy, wyposażamy pracownika w odzież roboczą, zgodną z przepisami, o jak najmniejszym oporze cieplnym,
- jeśli nie spowoduje to zakłóceń w procesie produkcyjnym dokonujemy obniżenia wydatku energetycznego pracownika poprzez stosowanie planowych przerw w pracy.

Jeżeli działania podane powyżej nie przyniosą oczekiwanych rezultatów pozostaje nam jeszcze możliwość zastosowania rozwiązań wentylacyjnych i klimatycznych. Proponuje się następującą hierarchię działań:

- w ramach możliwości wentylacyjnych i technicznych zwiększyć prędkość przepływającego powietrza na stanowisku pracy, pamiętając o tym, że zwiększanie prędkości powietrza powyżej granicy 3,5 m/s będzie już miało niewielki wpływ na poprawę warunków klimatycznych,
- jako ostatni środek poprawy zastosować schładzanie powietrza, pamiętając, że obniżenie temperatury o każdy 1°C przynosi poprawę warunków klimatycznych, może się jednak wiązać ze znacznymi nakładami finansowymi i problemami technicznymi.

PODSUMOWANIE

W celu zapewnienia optymalnych warunków klimatycznych należy stosować klasyczne metody ich poprawy lub metody z wykorzystaniem urządzeń chłodniczych. Istnieją także metody organizacyjne lub metody chłodzenia indywidualnego, które odpowiednio dobrane mogą przyczynić się do zmniejszenia zagrożenia klimatycznego i poprawy warunków pracy. W artykule omówiono metody poprawy warunków klimatycznych. Wskazano proponowaną hierarchię działań poprawiających warunki klimatyczne. W trakcie badań i analiz ustalono, że w przypadku pracowników kopalń podziemnych, hierarchia działań powinna być następująca: poprawa poprzez aklimatyzację, zmianę rodzaju odzieży, stosowanie planowych przerw w pracy oraz zmianę parametrów powietrza na stanowisku pracy. Dobór odpowiednich środków poprawy zależy najczęściej od możliwości finansowych, technicznych i organizacyjnych kopalni. Przed zastosowaniem wybranych metod poprawy warunków klimatycznych analizie należy poddać bilans potrzebnych do uzyskania zadowalającego efektu środków w odniesieniu do spodziewanych korzyści. Nie można zapominać, że w tych działaniach najważniejszy jednak powinien być człowiek, jego zdrowie i dobre samopoczucie. Pracownik zatrudniony w warunkach komfortu cieplnego z pewnością będzie pracował bardziej wydajnie i efektywnie, niż pracownik poddawany znacznemu obciążeniu termicznemu.

Artykuł powstał w wyniku realizacji strategicznego projektu badawczego pt. „Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach" (Zadanie nr 5. Numer umowy SP/K/5/143275/11 – sfinansowane przez NCBR).

LITERATURA

1. Biernacki K., Gumiński A., Kolarczyk M.: Celowość zastosowania schładzania wielostopniowego w ścianach głębokich kopalń węglowych w Polsce. Materiały 9 Sesji Międzynarodowego Biura Termofizyki Górniczej. Wydawnictwo IEZ Politechniki Śląskiej, str. 257-268. Gliwice 2000.
2. Cygankiewicz J., Knechtel J., Wacławik J.: Czynniki kształtujące warunki klimatyczne w wyrobiskach eksploatacyjnych. Archiwum Górnictwa. Volume 39. Warszawa-Kraków 1994.
3. Czapliński A., Henting H.: Chłodzenie powietrza w wyrobisku ścianowym. Wiadomości Górnicze nr 7-8/1999. Katowice 1999.
4. Czapliński A., Henting H.: Urządzenia GFW do klimatyzacji kopalń. Materiały Konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej 1997, str. 227-254. Szczyrk 1997.
5. 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.
6. Frączek R.: Wykorzystanie instalacji hydraulicznej ścianowej obudowy zmechanizowanej do regulacji warunków klimatycznych w ścianie. Wiadomości Górnicze nr 9/2000. Katowice 2000.
7. Frycz A.: Klimatyzacja kopalń. Wydawnictwo „Śląsk". Katowice 1981.
8. Havenith G., Holmer I., Den Hartog E.A., Parsons K.C.: Clothing Evaporative Resistance – Proposal for Improved Representation in Standards and Models, Ann. Occup. Hyg, Vol. 43, No 5, str. 339, 1999.
9. Henting H.: Rozwój klimatyzacji w niemieckim górnictwie węgla kamiennego. Mulheim/Ruhr 1994.
10. 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.
11. Jakubów A., Obracaj D., Szlązak N.: 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.
12. Jakubów A., Tor A: Centralny system chłodzenia w Kopalni Węgla Kamiennego „Pniówek". Materiały Konferencji Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2001, str. 337-352. Kraków 2001.
13. Knechtel J.: Zwalczanie zagrożenia klimatycznego w ścianie eksploatacyjnej za pomocą lutniociągu z chłodnym powietrzem. SAG, Sekcja Aerologii Górniczej, Komitet Górnictwa PAN, Zakopane 1999.
14. Marszałek A., Sołtyński K.: Człowiek w warunkach obciążenia termicznego. CIOP, Warszawa 2001.

15. Marszałek A.: Osoby zatrudnione w środowisku gorącym. Bezpieczeństwo Pracy, nr 2, Warszawa 2003.
16. Marszałek A., Smolander J., Sołtyński, K., Sobolewski A.: Physiological strain of aluminized protective clothing at rest in young, middle-aged, and older men. International Journal of Industrial Ergonomics 25 (2): 195-202, 1999
17. Matuszewski K.: Uwagi do sposobu schładzania powietrza w ścianach w trudnych warunkach klimatycznych. Mat. Konf. Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2002, Szczyrk 2002.
18. Słota K.: Propozycja zastosowania nowych metod schładzania powietrza w ścianach na przykładzie KWK „Sośnica". Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Seria Górnictwo, zeszyt 254, str. 411-416. Gliwice 2002.
19. Słota Z: Określenie wpływu wydatku energetycznego, aklimatyzacji i ubioru na obciążenie termiczne organizmu pracowników w wyrobiskach kopalń podziemnych. Praca doktorska, Gliwice 2009.
20. Sudoł-Szopińska I., Łuczak A.: Wpływ temperatury środowiska zewnętrznego na sprawność działania człowieka. Bezpieczeństwo Pracy, nr 7-8, 2006.
21. Wacławik J.: Wentylacja kopalń. Tom I i II. Wyd. uczelniane AGH. Kraków 2010.
22. PN-EN 12515: Środowiska gorące. Analityczne określenie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczenia wymaganej ilości potu. 2002.
23. PN-EN ISO 7933: Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja stresu cieplnego z wykorzystaniem obliczeń przewidywanego obciążenia termicznego. 2005.
24. PN-EN ISO 9920: Ergonomia środowiska termicznego – Ocena izolacyjności cieplnej i oporu parowania zestawu odzieżowego. 2005.

REDUKCJA OBCIĄŻENIA TERMICZNEGO I SPOSOBY POPRAWY WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH W KOPALNIACH WĘGLA

Streszczenie: *Wymiana ciepła między ustrojem a otoczeniem odbywa się przez: promieniowanie, przewodzenie, konwekcję i parowanie. Równanie bilansu cieplnego człowieka przedstawia sposoby i wartości wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem. Miarą zagrożenia klimatycznego odniesioną do całej kopalni jest wartość temperatury pierwotnej skał na najgłębszym poziomie eksploatacyjnym. W zależności od tej temperatury kopalnie zostały podzielone na cztery grupy. W celu zapewnienia optymalnych warunków klimatycznych należy stosować klasyczne metody ich poprawy lub metody z wykorzystaniem urządzeń chłodniczych. Istnieją także metody organizacyjne, które odpowiednio dobrane mogą przyczynić się do zmniejszenia zagrożenia klimatycznego i poprawy warunków pracy. W artykule omówiono miedzy innymi bilans cieplny organizmu człowieka, wpływ poszczególnych czynników na obciążenie termiczne, metody poprawy warunków klimatycznych oraz zaproponowano hierarchię działań poprawiających warunki klimatyczne.*

Słowa kluczowe: *Bezpieczeństwo termiczne, obciążenie termiczne, zagrożenie cieplne, bilans cieplny*

Zbigniew SŁOTA, Krzysztof SŁOTA, Anna MORCINEK-SŁOTA
Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Eksploatacji Złóż
ul. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice
tel. +4832 2371450; +4832 2371136
e-mail: krzysztof.slota@polsl.pl; zbigniew.slota@polsl.pl; anna.morcinek-slota@polsl.pl