

mgr inż. KRZYSZTOF ŁĘŻAK (ORCID: 0000-0002-5538-6276)  
 dr inż. GRAŻYNA BARTKOWIAK (ORCID: 0000-0002-9292-0538)  
 mgr inż. AGNIESZKA GRESZTA (ORCID: 0000-0003-0183-5301)  
 dr inż. ANNA DĄBROWSKA (ORCID: 0000-0003-4295-3005)  
 dr inż. SYLWIA KRZEMIŃSKA (ORCID: 0000-0002-3313-5898)  
 mgr KRZYSZTOF MAKOWSKI (ORCID: 0000-0001-9947-8693)  
 dr inż. MAGDALENA MŁYNARCZYK (ORCID: 0000-0002-9218-9781)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: [krlez@ciop.lodz.pl](mailto:krlez@ciop.lodz.pl)

DOI: 10.5604/01.3001.0013.2788

# Zestawy odzieżowe z funkcją termoregulacji dla ratowników górniczych



Fot. Vitalalp/Bigstockphoto

Praca ratowników górniczych wiąże się z wieloma zagrożeniami o charakterze ekstremalnym, w tym trudnymi warunkami klimatycznymi. Jednocześnie stosowana przez nich odzież i układy chłodzące wciąż są zbyt mało efektywne w odprowadzaniu nadmiaru ciepła z organizmu, co niekiedy prowadzi do przegrzania, a w konsekwencji śmierci ratownika na skutek udaru cieplnego. Czynniki te stanowiły impuls do podjęcia prac w kierunku opracowania nowych, efektywnych pod względem chłodzenia i właściwości ochronnych, zestawów odzieżowych dla ratowników górniczych.

W publikacji zaprezentowano dwa alternatywne zestawy odzieżowe opracowane w ramach projektu RESCLO, złożone z wierzchniej odzieży ochronnej, stosowanej z jednym z dwóch wariantów bielizny, tj. z wkładkami z materiałów przemiany fazowej (PCM) lub z układem chłodzenia zasilanym powietrzem z butli sprężonego powietrza. Rozwiązania te zapewniają kompatybilność z wyposażeniem dodatkowym ratownika oraz dają możliwość doraźnego konfigurowania zestawów odzieżowych w zależności od warunków prowadzenia akcji i występujących zagrożeń. Badania laboratoryjne wykazały, iż w zależności od badanego wariantu zastosowane rozwiązania termoregulacyjne umożliwiają odprowadzanie ciepła z ciała ratownika na poziomie nawet ok. 30 W/m<sup>2</sup>, co korzystnie wpływa na bezpieczeństwo ratowników górniczych podczas akcji oraz wydłuża bezpieczny czas ich pracy w podziemnym środowisku gorącym.

*Słowa kluczowe: odzież ochronna, ratownictwo górnicze, ratownik górniczy, komfort, bielizna chłodząca, materiały przemiany fazowej*

## Clothing sets with thermoregulation function for mine rescuers

Mine rescuers' work is associated with many extreme hazards, including difficult climatic conditions. At the same time, the clothing and cooling systems that they use are still too ineffective in terms of dissipating excess heat from the body, which sometimes leads to overheating and consequent death of a rescuer due to heat stroke. These factors constituted an impulse to undertake work towards the development of new, effective in terms of cooling and protective properties, clothing sets for mine rescuers.

This publication presents two alternative clothing sets developed in the RESCLO project, made up of outer protective clothing, used along with one of the two underwear variants, i.e. underwear with inserts with phase change material (PCM) or underwear with air-fed cooling system from the air receiver. These solutions ensure compatibility with the additional equipment of the rescuer and provide the possibility of ad hoc configuration of clothing sets depending on the conditions of the action and the threats. Laboratory tests have shown that depending on the tested variant, the thermoregulatory solutions used allow for heat dissipation from the rescuer's body at the level of up to 30 W/m<sup>2</sup>, which will have a positive effect on the safety of mine rescuers during the operation and extend their safe working time in the underground hot environment.

*Keywords: protective clothing, mining rescue, mine rescuer, comfort, cooling underwear, phase change materials*

## Wstęp

Zgodnie z danymi GUS, dotyczącymi wypadków przy pracy w Polsce w 2017 r. [1], górnictwo i wydobywanie należą do sekcji gospodarki o drugim z kolei wskaźniku wypadkowości na poziomie blisko 16 (tj. liczbie osób poszkodowanych na 1000 pracujących, ogółem w Polsce). Oznacza to, że jest to do jedna z najmniejbezpiecznych sekcji gospodarki w kraju ze względu na trudne warunki geologiczne oraz

ryzyko wystąpienia wielu zagrożeń naturalnych, tj. tąpnięć, zawałów i wybuchów pyłu węglowego, wyrzutów gazów i skał, pożarów endogenicznych (samozapłon) i egzogenicznych, zapaleń i wybuchów metanu, zawodnień wyrobisk itp. Stanowią one bezpośrednie przyczyny utraty życia i zdrowia zarówno pracowników wydobywczych kopalni, jak też niosących im pomoc ratowników górniczych<sup>1</sup>.

<sup>1</sup><http://www.gornictwo.ugu.pl/tag/zagrozenia-naturalne/>

Polska plasuje się na 8. miejscu pod względem wydobycia (produkcji) węgla kamiennego na świecie<sup>2,3</sup>. Poziomy ryzyka zawodowego, identyfikowane w krajowych kopalniach niestety rosną, co wynika ze wzrostu koncentracji wydobycia oraz prowa-

<sup>2</sup> <http://www.instytutpe.pl/wp-content/uploads/2017/05/Renata-Maczuga-Rynek-w%C4%99gla-kamiennego-na-%C5%9Bwiecie.pdf>

<sup>3</sup> [http://geografia.opracowania.pl/g%C5%82%C3%B3wne-miejsca\\_wydobycia\\_w%C4%99gla\\_na\\_%C5%9Bwiecie/](http://geografia.opracowania.pl/g%C5%82%C3%B3wne-miejsca_wydobycia_w%C4%99gla_na_%C5%9Bwiecie/)

dzienia coraz głębiej prac górniczych, a w związku z tym w coraz wyższej temperaturze, często też przy wysokiej wilgotności względnej powietrza [2, 3]. Takie warunki środowiskowe sprawiają, że nawet odpowiednio przeszkoleni ratownicy górniczy ulegają wypadkom, w tym również śmiertelnym. Jako główne przyczyny zgonów wskazuje się oparzenia znacznej powierzchni ciała i dróg oddechowych oraz przegrzanie organizmu (ze skutkiem śmiertelnym w wyniku udaru cieplnego).

Do odprowadzania nadmiaru ciepła z organizmu ratownicy górniczy stosują najczęściej dodatkowe elementy ubioru, czyli kamizelki chłodzące z wkładami żelowymi o łącznej masie ok. 4-5 kg. Charakteryzują się one dość krótkim czasem chłodzenia, który rozpoczyna się już w momencie założenia kamizelki, często jeszcze przed przystąpieniem do praktycznych czynności akcji ratowniczej. Już po kilkudziesięciu minutach kamizelki takie przestają chłodzić i stanowią jedynie dodatkowe obciążenie dla ratownika. Co gorsze, nie spełniają one jednocześnie wymagań w zakresie ochrony przed czynnikami gorącymi (płomień, promieniowanie ciepłe itp.) oraz elektrycznością statyczną.

Celem artykułu jest przedstawienie zestawów odzieżowych, składających się z bielizny i wierzchniej odzieży ochronnej z funkcją termoregulacji, przeznaczonych dla ratowników górniczych, opracowanych w ramach projektu o akronimie RESCLO. Zestawy te zaprojektowano uwzględniając wymagania i potrzeby noszących je, a także warunki prowadzenia akcji ratowniczych. W stosunku do obecnie stosowanych zestawów odzieżowych mogą one w istotny sposób zmniejszyć niedogodności oraz poprawić bezpieczeństwo ratowników górniczych.

### Indywidualne układy chłodzące – stan wiedzy

Do chłodzenia organizmu w warunkach pracy charakteryzujących się wysoką temperaturą otoczenia, stosowane są tzw. układy bierne (tzn. takie, które efekt chłodzenia uzyskują z pewnego potencjału przemiany fazowej, np. lodu w ciecz) lub tzw. układy aktywne, czyli wymagające stałej cyrkulacji czynnika chłodzącego (np. cieczy lub powietrza) [4]. W literaturze naukowej, dotyczącej tego zagadnienia, przedstawione są wyniki badań, prowadzonych w wielu ośrodkach światowych, dotyczące różnego rodzaju układów chłodzących, ich efektywności oraz wpływu chłodzenia na fizjologię organizmu, efektywności i bezpieczeństwa pracy. Należy jednak podkreślić, że charakter czynności podejmowanych podczas akcji ratunkowych wy-

maga od ratowników dużej mobilności. Dlatego na szczególną uwagę zasługują układy chłodzące, wykorzystujące materiały przemiany fazowej, umieszczone w odzieży ochronnej, oraz powietrze, w szczególności z aparatów powietrznych-butlowych, dostarczane do przestrzeni pododzieżowej.

### Układy chłodzące z wykorzystaniem materiałów przemiany fazowej

Układy chłodzące z materiałami przemiany fazowej, wykazującymi zdolność do odbierania ciepła należą do najnowszych rozwiązań, wykorzystujących endotermiczny proces przemiany z ciała stałego w ciecz (ang. *Phase Change Materials* – PCM). Wprowadzenie w strukturę odzieży PCM, charakteryzujących się temperaturą przemiany fazowej na poziomie zbliżonym do temperatury skóry w stanie komfortu, sprawia, że w wyniku akumulacji ciepła w organizmie i wzrostu temperatury skóry pracownika, wzrasta temperatura PCM zawartych w wyrobie, co powoduje, że zaczynają się one topić, odbierając przy tym ciepło wydzielane przez organizm użytkownika odzieży [5]. Układy chłodzące z PCM, określane są mianem pasywnych układów chłodzących, ze względu na to, że pozwalają na odbieranie ciepła z organizmu człowieka bez jakichkolwiek źródeł zasilania czynnikiem chłodzącym. W pracach prowadzonych nad takimi układami, jako czynnik chłodzący stosowano najczęściej żele w zestalonej postaci, sole oraz woski, wprowadzone do kamizelki lub odzieży ochronnej [4]. Z jednej strony układy te są elastyczne (zaimplementowane w odzieży nie powodują ograniczenia ruchów czy mobilności), więc są wygodne. Z drugiej strony zapewniają one realizację funkcji chłodzenia tylko w ograniczonym czasie, a następnie wymagają wymiany w odzieży.

Prowadzone badania wykazały, że PCM stosowane w wyrobach odzieżowych w postaci mikrokapsulek, charakteryzują się bardzo małą zdolnością do odbierania nadmiaru ciepła i są niewystarczające do zapewnienia ograniczenia dyskomfortu cieplnego w gorącym środowisku pracy [5-8]. Większą zdolność w tym zakresie wykazują wyroby włókiennicze, w których umieszczono PCM w kapsułkach o większym rozmiarach – makrokapsułkach [9]. Przy projektowaniu układów chłodzących z wykorzystaniem materiałów przemiany fazowej należy odpowiednio dobrać parametry PCM do warunków panujących w danym środowisku. Prace, w których analizowano skuteczność zaprojektowanych wyrobów z PCM w redukcji obciążenia cieplnego w warunkach mikroklimatu gorącego, a nawet ekstremalnie gorącego (odpowiadającego pożaro-

wi) wykazały, że bardzo duże znaczenie ma dobór właściwej entalpii (czyli potencjału termodynamicznego) oraz temperatury przemiany fazowej, charakterystycznej dla danego PCM [5, 9].

### Układy chłodzące wykorzystujące powietrze

Innym sposobem chłodzenia organizmu jest zastosowanie w odzieży otwartego systemu chłodzenia powietrzem. Chociaż pojemność cieplna powietrza jest znacząco niższa od pojemności cieplnej lodu, tego typu układy uważane są za skuteczne w ograniczaniu dyskomfortu cieplnego podczas pracy o wysokiej intensywności w umiarkowanie gorącym środowisku [10].

Zaletą metody chłodzenia powietrzem wynika z faktu, że powietrze o mniejszej wilgotności względnej, przepływające nad powierzchnią skóry, zwiększa jej chłodzenie dzięki parowaniu potu. Taki sposób chłodzenia pozwala potencjalnie obniżyć wilgotność powierzchni skóry, bardziej niż w przypadku innych układów chłodzących. Jednakże, w wymianie ciepła przez parowanie istotną jest różnica ciśnienia cząstkowego pary wodnej pomiędzy powierzchnią skóry, a przylegającą do niej warstwą powietrza, wdmuchiwanego z urządzenia chłodzącego, stąd ważne są parametry: ciśnienie, temperatura i prędkości przepływu powietrza [11]. W tym kontekście do układów chłodzących najlepiej zatem zastosować przefiltrowane powietrze skompresowane. Badania prowadzone w tym zakresie wykazały, że w ten sposób można obniżyć temperaturę wewnętrzną ciała i zmniejszyć częstość skurczów serca organizmu użytkownika systemów do poziomu bezpiecznego, w sytuacji, w której bez dodatkowego chłodzenia fizjologiczny mechanizm tego procesu byłby niewydolny [12].

Możliwa jest również wentylacja innymi gazami niż powietrze. Wśród nich bardzo wysoką przewodnością cieplną, wyższym ciepłem właściwym i bardzo niską gęstością charakteryzuje się hel, który jest idealnym gazem do wentylacji. Jest to jednak w praktyce ciągle zbyt droga opcja chłodzenia w zestawie odzieżowym.

Na podstawie przedstawionego wcześniej stanu wiedzy, dotyczącego indywidualnych układów chłodzących, można stwierdzić, że przy projektowaniu odzieży ochronnej z takimi systemami niezwykle istotna jest ergonomiczność całego układu i jego funkcjonalność. Podkreśla się, że systemy chłodzenia powinny być modelowane metodą eksperymentalną przy uwzględnieniu istotnych czynników związanych z ich zastosowaniem [12]. Jednak wiele produkowanych systemów nie zo-

Rys. 1.-3., 6., 7. Krzysztof Łęzak



Rys. 1. Wierzchnia odzież ochronna  
Fig. 1. Outerwear protective clothing

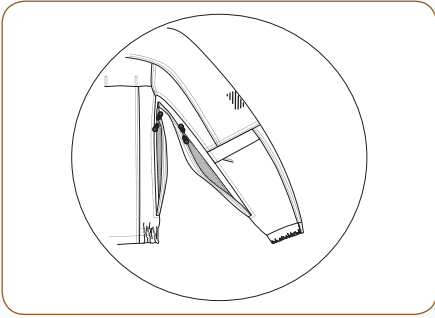


Rys. 2. Bielizna z elementami chłodzącymi  
Fig. 2. Underwear with cooling elements



Rys. 3. Bielizna z systemem wentylacji  
Fig. 3. Underwear with ventilation system





Rys. 4. Widok otworów wentylacyjnych z boku bluzy i w rękawach

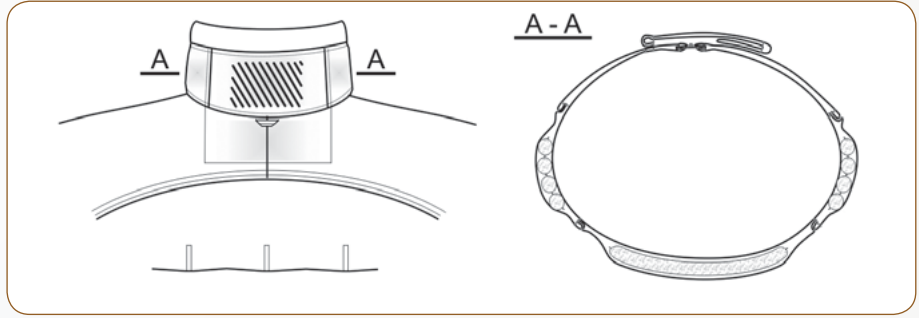
Fig. 4. A view of ventilation holes on the side of jacket and inside the sleeves

stało zweryfikowanych pod tym względem obiektywnymi metodami badawczymi. Istnieją układy chłodzące, które spełniają swoją rolę w zakresie odbierania z organizmu nadmiaru ciepła, są jednak często niezadowalające ze względu na swoją masę, ograniczania swobody ruchów i mobilności pracowników. Niezwykle ważne jest również takie projektowanie układu chłodzącego, aby uwzględnić warunki środowiska pracy oraz charakter czynności wykonywanych przez ratowników.

### Charakterystyka zestawów odzieżowych dla ratowników górniczych

Biorąc pod uwagę zagrożenia powodowane przez warunki klimatyczne (wysoka temperatura i wilgotność), panujące podczas akcji ratunkowych w kopalniach węgla kamiennego, odzież ochronna dla ratowników górniczych powinna charakteryzować się dużą paroprzepuszczalnością. W przypadku gdy akcje prowadzone są przy bardzo wysokiej wilgotności powietrza (powyżej 95%), odparowanie potu jest ograniczone, to konieczne staje się zatem stosowanie dodatkowych elementów chłodzących w odzieży lub warstw odzieży o właściwościach chłodzących. Konstrukcja elementów chłodzących nie powinna ograniczać możliwości odprowadzenia i odparowania potu, gdyż przy niższych wartościach wilgotności względnej i ekstremalnie wysokich temperaturach jest to bardzo efektywny sposób oddawania ciepła [13].

W związku z tym, w ramach projektu RESCLO opracowano dla ratowników górniczych dwa alternatywne zestawy odzieżowe złożone z wierzchniej odzieży ochronnej (rys. 1.), stosowanej z jednym



Rys. 5. Widok stójki i jej przekroju poprzecznego obrazujący umiejscowienie wkładów PCM

Fig. 5. A view of stand-up collar and its cross-section illustrating the location of PCM inserts

z dwóch wariantów bielizny z funkcją termoregulacji:

- bielizny z elementami chłodzącymi – w formie wkładów chłodzących (bielizna typu A) – rys. 2.,
- bielizny z zainstalowanym systemem wentylacji, zasilanej sprężonym powietrzem (bielizna typu B) – rys. 3.

W celu uniknięcia blokowania funkcji bielizny w zakresie odprowadzania ciepła i potu z przestrzeni pododzieżowej do otoczenia, przeznaczona do użytku z opisanymi zestawami bielizny odzież wierzchnia wyposażona została w rozpinane otwory wentylacyjne, zarówno w bluzy jak i spodniach.

Wszystkie składowe części zestawów odzieżowych z funkcją termoregulacji (rys. 1.) same, jak i w komplecie (z bielizną chłodzącą rys. 2. lub rys. 3.) spełniają wymagania norm zharmonizowanych: PN-EN 11612:2015-11 [14] w zakresie ochrony przed czynnikami gorącymi i płomieniem oraz PN-EN 1149-5:2009 [15] w zakresie ochrony przed elektrycznością statyczną.

### Wierzchnia odzież ochronna

Wierzchnia odzież ochronna dla ratowników górniczych ma formę ubrania, składającego się z bluzy i spodni do pasa (fot. 1.). Zapewnia to bardzo ważne dla bezpieczeństwa ratownika, a niedoceniane cechy – łatwość szybkiego zakładania i zdejmowania odzieży oraz wygodę jej użytkowania.

Zgodnie z wymaganiami ratowników górniczych, w celu zmniejszenia dyskomfortu cieplnego, w odzieży zastosowano zamykane otwory wentylacyjne: w bluzy w bocznych szwach rękawów i wzdłuż tułowia (rys. 4.) oraz na zewnętrznych bokach nogawek spodni. Kieszonka na przodzie bluzy, a także boczne kieszenie na spodniach, zapewniają założoną pojemność i dostęp podczas użytkowania odzieży łącznie z nałożonym na sylwetkę ratownika wyposażeniem dodatkowym (np. aparatami regeneracyjnymi, aparatami powietrznymi-butlowymi). Zgodnie z postulatami ratowników w tylnych częściach bluzy, tj. na wysokości karku w miejscu złączenia rękawów oraz w bocznych częściach stójki umieszczono 4-kanalowe, wymienne wkłady, wypełnione makrokapsułkami PCM (rys. 5.). W celu polepszenia widzialności ratownika w ciemności, na rękawach, na tyle stójki i na nogawkach spodni naniesiono (metodą laminowania termicznego) taśmy odbłaskowe. Do ubrania dołączony jest składany kaptur. W wyniku kompleksowych badań porównawczych właściwości ochronnych i użytkowych różnych materiałów przewidzianych do zastosowania w konstrukcji odzieży wierzchniej, wytypowano tkaninę składającą się z włókien meta-

-aramidowych (93%), włókien para-aramidowych typu Kevlar (5%) i włókien antystatycznych (2%), o masie powierzchniowej 155 g/m<sup>2</sup>. Tkanina ta spełnia wymagania w zakresie ochrony przed czynnikami gorącymi i płomieniem oraz elektrycznością statyczną. Ponadto biorąc pod uwagę masę powierzchniową, charakteryzuje się dobrymi właściwościami mechanicznymi (siła zrywająca powyżej 880 N, wytrzymałość na rozdzielanie powyżej 35 N, odporność na ścieranie – ponad 100 000 cykli ścierania), bardzo niskim oporem pary wodnej (na poziomie 4 m<sup>2</sup>Pa/W) oraz wysoką przepuszczalnością powietrza (ok. 200 mm/s). Co ważne, wszystkie dodatki zastosowane w odzieży (np. zamki błyskawiczne w zapięciach) spełniają wymagania wymienionych wcześniej norm przemiotowych [16].

### Bielizna z funkcją termoregulacji

Opracowana bielizna to zestaw składający się z koszulki z krótkim rękawem i z bokserek. Została wykonana z dzianiny (wskazanej na podstawie wyników badań laboratoryjnych) o składzie surowcowym 90% włókna sztuczne celulozowe trudnopalne typu Lenzing FR, 8% p-aramid, 2% włókno antystatyczne, o masie powierzchniowej 193,5 g/m<sup>2</sup> i grubości 0,78 mm. Dzianina ta spełnia wymagania w zakresie ochrony przed czynnikami gorącymi (w tym: płomieniem) oraz elektrycznością statyczną. Ponadto charakteryzuje się bardzo korzystnymi wartościami parametrów biofizycznych (opór pary wodnej 2,89 m<sup>2</sup>Pa/W, przepuszczalność powietrza 1967 mm/s) i mechanicznych (odporność na wypychanie 138 kPa).

#### Bielizna z wkładami PCM (bielizna typu A)

W bieliźnie z elementami chłodzącymi do odprowadzania nadmiaru ciepła z ciała ratowników górniczych wykorzystano PCM w formie makrokapsułek (fot. 2.). Są one umieszczone w specjalnych wkładach, które nie usztywniają wyrobu i nie ograniczają możliwości odparowania potu do otoczenia. W celu wydłużenia efektu skutecznego działania PCM (chłodzenia), zastosowano dwa rodzaje PCM, różniące się temperaturą przemiany fazowej, tj. 32 i 37 °C. Dzięki temu wzrasta efektywność wkładów pod względem czasu schładzania i stymulowania warunków mikroklimatu pododzieżowego przez cały czas trwania akcji ratowniczej. Do bielizny wprowadzono ok. 860 g makrokapsułek, co pozwala na odprowadzenie z przestrzeni pododzieżowej ok. 110 kJ ciepła. Charakterystykę dwóch rodzajów makrokapsułek przedstawiono w tabeli.



Fot. 1. Ratownik górniczy ubrany w kompletny zestaw odzieży ochronnej i bielizny

Photo 1. Mine rescuer wearing a complete set of protective clothing and underwear



Fot. Anna Dąbrowska

Tabela. Specyfikacja wybranych makrokapsulek PCM  
Table. Specification of selected PCM macrocapsules

Rodzaj makrokapsulek	Temperatura topnienia, °C	Entalpia, J/g	Średnica, mm	Udział procentowy PCM
MacroPCM 32	32 ± 2	160 ÷ 190	3 ÷ 5	80% PCM, 20% otoczka polimerowa
MacroPCM 37	37 ± 2			

Fot. 2. Makrokapsulki PCM oraz wypełniony nimi wkład do bielizny typu A  
Photo 2. PCM macrocapsules and insert filled with them for underwear type A

Ważną częścią opracowania bielizny jest również sposób rozmieszczenia elementów chłodzących w jej konstrukcji, umożliwiający odprowadzanie ciepła z części ciała, które ulegają największemu nagrzewaniu podczas wysiłku. Elementy chłodzące nie powinny przeszkadzać (rys. 6.) w użytkowaniu innego wyposażenia ratowniczego, wykorzystywanego w trakcie akcji (np. aparatów powietrznych-butlowych).

*Bielizna z systemem wentylacji (bielizna typu B)*

W bieliźnie z systemem wentylacji powietrzem, w jej tylnej części znajduje się pięć pionowych kanałów, utworzonych przez odpowiednie ukształtowanie dzianiny. W kanałach tych umieszczone są na stałe poliuretanowe rurki o stopniowanej wysokości. (rys. 7.) Rurki te połączone są trójdrożnymi złączkami z rurką wyprowadzoną na zewnątrz bielizny, która służy do podłączenia źródła powietrza chłodzącego. Bielizna wyposażona jest w oryginalne rozwiązanie do podpinania jej do układu sprężonego powietrza, alternatywnie z nadciśnieniowych aparatów powietrznych – butlowych, wykorzystywanych przez ratowników górniczych do oddychania lub z osobnej butli sprężonego powietrza. Rozmieszczenie układu rozprowadzania powietrza w bieliźnie zaprojektowano tak, aby wyposażenie ratownika nie ograniczało drożności układu.

Układ doprowadzenia powietrza do bielizny został zamontowany w nadciśnieniowych aparatach powietrznych – butlowych, przystosowanych do połączenia z dwiema butlami kompozytowymi o pojemności 6,8 dm<sup>3</sup> lub 9,0 dm<sup>3</sup>. Wymienione aparaty powietrzne – butlowe jako sprzęt ochrony układu oddechowego (umożliwiają oddychanie przy niedostatku tlenu), przeznaczone są do specjalnych zastosowań podczas prowadzenia akcji ratowniczych w podziemnych zakładach górniczych i mogą jednocześnie, po redukcji ciśnienia, być podłączane do bielizny chłodzącej i dostarczać powietrze w dwóch zakresach szybkości przepływu. Na rys. 8. przedstawiono schemat układu zasilania powietrzem bielizny chłodzącej.

Dwie butle kompozytowe ze sprężonym powietrzem połączone są z reduktorem ciśnienia poprzez łącznik międzybutlowy. Po otwarciu zaworu butli, uwalniane z niej sprężone powietrze przepływa do reduktora, skąd pod obniżonym ciśnieniem, przepływa do automatu oddechowego połączonego z maską twarząwą. Powietrze z butli służy jednocześnie do zasilania systemu wentylacji, zimplementowanego w bieliźnie. Dlatego też do reduktora ciśnienia podłączony jest dodatkowy przewód, który poprzez system dawkujący i trójstopniowy zawór regulacyjny doprowadza powietrze o zredukowanym ciśnieniu do układu rurek, zamontowanych w koszulce. Dostarczanie powietrza do przestrzeni pododzieżowej odbywa się w dwóch zakresach prędkości przepływu, tj. 8 l/min lub 15 l/min, co można zmieniać przez odpowiednie ustawienie zaworu regulacyjnego. Pozwala to na regulację wydajności i czasu chłodzenia.

Do pomiaru ciśnienia w butlach służy manometr, który połączony jest poprzez przewód z reduktorem ciśnienia. W przypadku gdy ciśnienie w butlach spadnie do wartości (5,5±0,5) MPa, następuje uruchomienie alarmu dźwiękowego (z gwizdka) i jednocześnie odcięcie dopływu powietrza do bielizny po to, aby zapewnić ratownikowi wystarczającą ilość powietrza do oddychania. W takim przypadku ratownik powinien jak najszybciej wycofać się ze strefy zagrożonej. Jeżeli natomiast konieczne jest stosowanie przez ratownika aparatu regeneracyjnego, jako środka ochrony układu oddechowego, źródłem zasilania systemu wentylacji w bieliźnie może być autonomiczna butla sprężonego powietrza o pojemności 2 l do zamocowania na specjalnym pasie, na wysokości uda.

**Urządzenie do pomiaru częstości skurczów serca**

W bieliźnie umieszczony jest również miernik do pomiaru częstości skurczów serca – pulsometr (fot. 3.). Częstość skurczów serca mierzona jest za pomocą elektrod, zintegrowanych z elastycznym pasem montowanym w bieliźnie na wysokości klatki piersiowej. Informacje uzyskane z miernika są transmitowane drogą radiową, do będącego na wyposażeniu ratownika osobistego komunikatora, mocowanego na kasku.

Pulsometr składa się z 3 modułów:

– niskoszumowego wzmacniacza sygnału, zintegrowanego z przetwornikiem analogowo-cyfrowym oraz mikrokontrolera do przetwarzania sygnałów,

– transmitera sygnału – nadajnik radiowy w paśmie nielicencjonowanym 2,4 GHz,

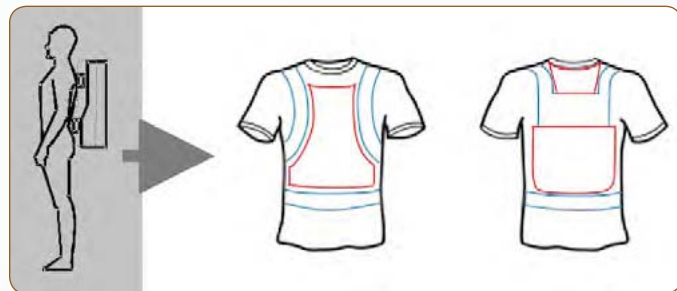
– akumulatorowego układu zasilania.

W pamięci komunikatora zapisywane są dane, otrzymane z pulsometru. Użytkownik jest informowany dźwiękowo o przekroczeniu dopuszczalnych wartości częstości skurczów serca – poprzez komunikaty głosowe, odtwarzane przez komunikator (dodatkowo zapewnia on użytkownikowi informacje o aktualnym czasie i stanie naładowania baterii). Informacja o przekroczeniu dopuszczalnych wartości częstości skurczów jest transmitowana do dowódcy zastępu oraz do bazy. Informacja o częstości skurczów serca może być przekazywana do bazy także na każde jej żądanie.

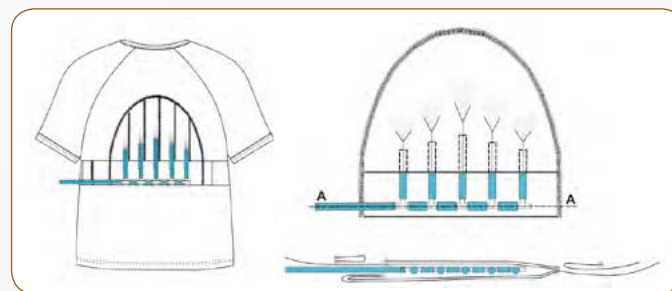
Właściwości ergonomiczne oraz termoregulacyjne opracowanego zestawu bielizny i odzieży ochronnej zostały potwierdzone podczas licznych badań laboratoryjnych z wykorzystaniem manekina termicznego, jak również badań laboratoryjnych i poligonowych z udziałem ratowników górniczych [17]. Badania te wykazały, że, zastosowane rozwiązania termoregulacyjne umożliwiają odprowadzanie ciepła z ciała ratownika na poziomie nawet 30 W/m<sup>2</sup>, dzięki czemu bezpieczny czas przebywania ratownika górniczego w akcji ratowniczej będzie mógł być odpowiednio wydłużony w zależności od warunków jej prowadzenia. Przykładowe wyniki badań (w postaci termogramów) opracowanej bielizny, przeprowadzone w Zakładzie Ergonomii CIOP-PIB na manekinie termicznej z wykorzystaniem kamery termowizyjnej w temperaturze otoczenia 32 °C przedstawiono na rys. 9 i 10.

**Podsumowanie**

Opracowany w ramach projektu RESCLO zestaw bielizny i odzieży ochronnej dla ratowników górniczych wyróżnia się kompatybilnością ze stosowanym przez ratowników wyposażeniem, w tym w szczególności – sprzętem ochrony układu oddechowego. Zarówno bielizna, jak i odzież wierzchnia zostały specjalnie zaprojektowane tak, aby zastosowane rozwiązania konstrukcyjne były funkcjonalne i dostosowane do potrzeb i warunków pracy ratowników



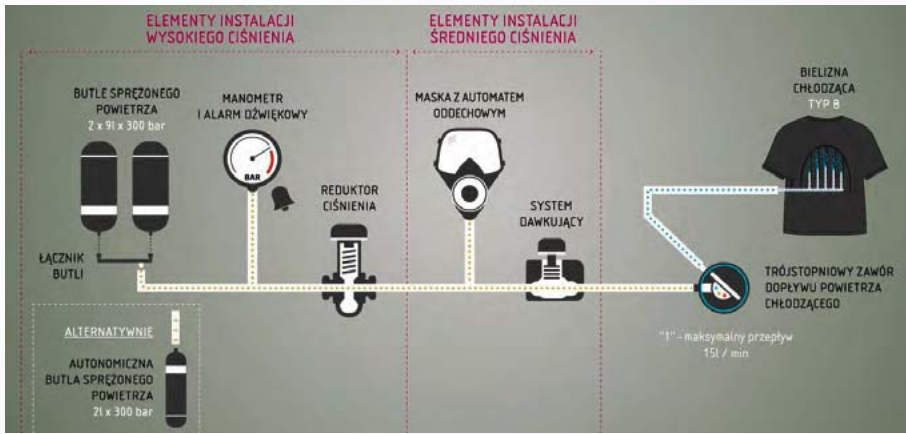
Rys. 6. Widok miejsc ucisku elementów nośnych sprzętu ochrony układu oddechowego (obszary ograniczone liniami niebieskimi) i „obszarów wolnych” (ograniczenia liniami czerwonymi)  
Fig. 6. A view of the places pressed by the support elements of respiratory protection equipment (areas limited by blue lines) and “free areas” (limitations by red lines)



Rys. 7. Widok systemu wentylacji zaimplementowanego w tylnej części bielizny oraz jego przekrój poprzeczny  
Fig. 7. A view of ventilation system implemented in the back of underwear and its cross-section

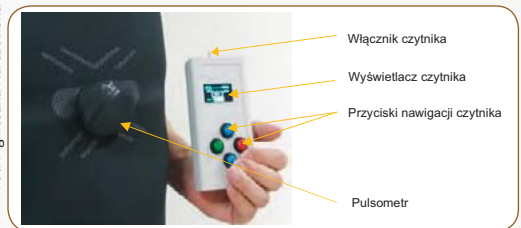


Rys. Krzysztof Makowski



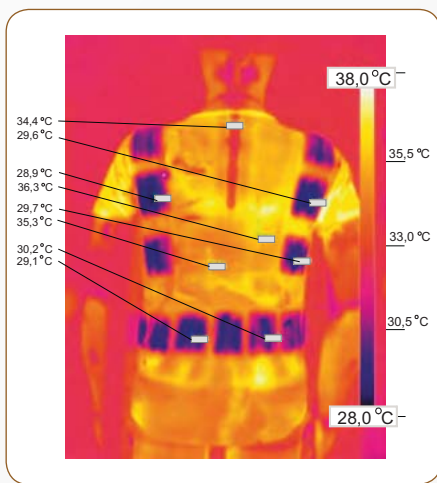
Rys. 8. Schemat układu zasilania powietrzem bielejny chłodzącej  
Fig. 8. A scheme of air support system in cooling underwear

Fot. Agnieszka Kurczewska

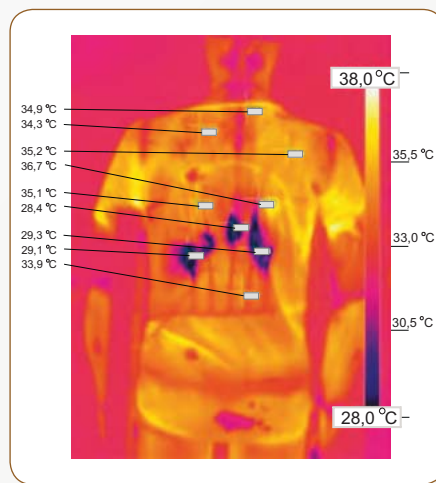


Fot. 3. Widok pulsometru zapiętego w bielejny i czytnika danych  
Photo 3. A view of heart rate monitor plugged into the underwear and the data reader

Rys. Magdalena Włynarczyk



Rys. 9. Termogram bielejny z elementami chłodzącymi  
Fig. 9. Thermogram of underwear with cooling elements



Rys. 10. Termogram bielejny z systemem wentylacji  
Fig. 10. Thermogram of underwear with ventilation system

górnicych. Szczególną uwagę zwrócono na konfigurację rozmieszczenia elementów aktywnie chłodzących – PCM i układu rozprowadzania powietrza, tak, aby nie były uciskane przez dodatkowe wyposażenie ratownika oraz nie kolidowały z obciążonymi powierzchniami ciała. W zakresie funkcji chłodzenia w bielejny ze strukturami PCM zastosowano specjalnie opracowane wkłady z materiałami przemiany fazowej o zróżnicowanym składzie, dzięki czemu uzyskano stopniowy efekt chłodzenia.

Z kolei bielejny z układem chłodzenia powietrzem wyposażona została w system przewodów rozprowadzających powietrze w przestrzeni pododzieżowej, które pozyskiwane jest dzięki oryginalnemu rozwiązaniu podpinania bielejny do układu sprężonego powietrza z nadciśnieniowych aparatów powietrznych-butłowych, lub z innych źródeł sprężonego powietrza wykorzystywanych przez ratowników górniczych do oddychania. Opracowany zestaw bielejny i odzieży ochronnej dla ratowników górniczych z funkcją termoregulacji mikroklimatu pododzieżowego i monitorowania stanu fizjologicznego ratownika pozwala na poprawę bezpieczeństwa ratowników górniczych podczas akcji oraz wydłużenie bezpiecznego czasu ich pracy w środowisku gorącym.

BIBLIOGRAFIA

[1] Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, Główny Urząd Statystyczny, 2018.

[2] DRENDĄ, J. Ocena bezpieczeństwa klimatycznego górników w gorących środowiskach kopalń głębszych [Evaluation of the climatic safety of miners working in hot environments in deep mines]. Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko, Kwartalnik nr II, Wydanie Specjalne, 2007, 101-109.

[3] DRENDĄ, J. Ocena klimatycznych warunków pracy górników w polskich kopalniach węgla kamiennego i rudy miedzi [Evaluation of the climatic safety of miners working in the Polish coal and copper mines]. Górnictwo i Geologia 2012, 7, 3:19-35.

[4] BARTKOWIAK, G., DĄBROWSKA, A. Indywidualne układy chłodzące organizm podczas pracy w gorącym środowisku [Individual cooling systems reducing body heat during work in a hot environment]. Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka 2013, 3:12-15.

[5] GAO, C., KUKLANE, K. and HOLMER, I. Effects of temperature gradient on cooling effectiveness of PCM vests in an extremely hot climate. The 13th International Conference on Environmental Ergonomics, Boston, USA, 2009.

[6] BENNETT, B.L. et al. Comparison of two cool vests on heat-strain reduction while wearing a firefighting ensemble. European Journal of Applied Physiology 1995, 70:322-328.

[7] REINERTSEN, R.E. et al. Optimizing the performance of phase change material in personal protective clothing systems. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics 2008, 14:43-53.

[8] CHOI, J.W., KIM, M.J. and LEE J.Y. Alleviation of heat strain by cooling different body areas during red pepper harvest work at WBGT 33 °C. Industrial Health 2008, 46:620-628.

[9] BARTKOWIAK, G., DĄBROWSKA, A. and MARSZAŁEK, A. Analysis of the thermoregulation properties of PCM garments on the basis of ergonomic test. Textile Research Journal 2011, 83, 2:148-159.

[10] CALDWELL, J.N. The interaction of the thermal environment, clothing and auxiliary body cooling in the workplace, Msc-Res thesis, School of Health Science, University of Wollongong, 2008, <http://ro.uow.edu.au./theses/765>.

[11] SMITH, D.L. and PETRUZZELLO, S.J. Selected Physiological and Physiological responses to live-fire drills in different configuration of firefighting gear. Ergonomics 1998, 41:1141-1154.

[12] VALLERAND, A.L. et al. Heat balance of subjects wearing protective clothing with liquid or air cooled vest. Aviation, Space and Environmental Medicine 1991, 63, 5:383-391.

[13] BARTKOWIAK, G. i inni. Odzież ochronna i bielejny dla ratowników górniczych – wymagania ochronne [Protective clothing and underwear for mine rescuers – safety requirements]. [w:] MUSIOŁ, D., PIERZYNA, P. (red.). Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach. Teoria i praktyka. Gliwice: Politechnika Śląska, 2014.

[14] PN-EN 11612:2015-11 Odzież ochronna – Odzież do ochrony przed czynnikami gorącymi i płomieniem – Minimalne wymagania dotyczące skuteczności.

[15] PN-EN 1149-5:2009 Odzież ochronna – Właściwości elektrostatyczne – Część 5: Wymagania materiałowe i konstrukcyjne.

[16] KRZEMIŃSKA, S. i inni. Odzież ochronna dla ratowników górniczych. Przegląd Włókienniczy – Włókno, Odzież, Skóra 2018, 4: 27-34.

[17] MARSZAŁEK, A., BARTKOWIAK, G., DĄBROWSKA, A., KRZEMIŃSKA, S., ŁĘŻAK, K., MAKOWSKI, K., BUGAJSKA, J. 2017. Mine rescuers' heat load during the expenditure of physical effort in a hot environment. Rusing ventilated underwear and selected breathing apparatus. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics 2017, 24, 1:1-11.

W publikacji wykorzystano wyniki projektu nr 11 pt. „Opracowanie odzieży ochronnej dla ratowników górniczych” (akronim RESCLO) realizowanego w ramach strategicznego projektu badawczego pt. „Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach”, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Konsorcjum:

- Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy/Lider/,
- Centralna Stacja Ratownictwa Górniczego SA,
- Związek Ochotniczych Straży Pożarnych Rzeczypospolitej Polskiej/Wytwórnia Umundurowania Strażackiego.