

Anna Rabajczyk^{a)*}, Robert Wolański^{b)}

^{a)} *Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute / Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy*

^{b)} *The Fire Service College of the State Fire Service in Cracow / Szkoła Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie*

* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: arabajczyk@cnbop.pl*

Analysis of the Issue of Special Clothing in the Operation of Fire Protection Units

Analiza problematyki ubrań specjalnych w zakresie ich eksploatacji przez jednostki ochrony przeciwpożarowej

ABSTRACT

Aim: The paper is aimed at presenting selected problems of the impact of the incident environment on the body of a firefighter-rescuer who is protected with standard personal protective equipment (PPE). The article is an overview and presents the hazards associated with working in harsh environmental conditions, followed by the characteristics of firefighters' PPE (in particular, special clothing) that play a key role in such conditions.

Introduction: The safety of those involved in a fire incident is a very important issue – both in terms of proper management of human resources and the organization of activities in the situation of the incident and after it. The article presents content related to the impact of selected environments on firefighter-rescuers and the importance of firefighters' "special clothing" during operations. The information on the influence of hot and cold microclimate environments and chemical activity as a consequence of processes occurring during a fire is presented. The issue of the operation of the complex environment of the tactical field and its impact on those involved in incidents was addressed.

Methodology: The article is based on a review of selected literature on the addressed subject.

Conclusions: During an incident involving not only operations during a fire, but also after the fire is extinguished, a firefighter-rescuer is simultaneously exposed to many factors. In addition to the stress that accompanies such activities, physical and chemical factors that occur side by side should also be considered, often broadening and intensifying the negative impact. The analysis should cover the fullest possible range of factors to which a person is subjected and allow him/her to be equipped with the appropriate protective tools, which are the firefighter's PPE. The introduced innovations should be multidirectional and include minimizing the risk of high or low temperatures, inhalation poisoning, or skin contact with toxins. In doing so, it should be kept in mind that changes in the structure and properties of clothing must correspond to both the trends observed in the market, the economy and the dynamics of the course of fire. Therefore, it is necessary to work in parallel in many areas, taking into account the properties of the used materials, the spread and nature of incidents, and the tools at the disposal of the firefighter-rescuer.

Keywords: hazard factors, firefighter's personal protective equipment, firefighter's special clothing, innovations

Type of article: review article

Received: 22.11.2022; **Reviewed:** 19.12.2022; **Accepted:** 19.12.2022;

Authors' ORCID IDs: A. Rabajczyk – 0000-0003-4476-8428; R. Wolański – 0000-0002-5625-0936;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 61 Issue 1, 2023, pp. 64–84, <https://doi.org/10.12845/sft.61.1.2023.4>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRAKT

Cel: Opracowanie ukierunkowane jest na przedstawienie wybranych problemów oddziaływania środowiska zdarzenia na organizm strażaka-ratownika, który chroniony jest z zastosowaniem standardowych środków ochrony indywidualnej (ŚOI). Artykuł ma charakter przeglądowy i prezentuje zagrożenia związane z pracą w trudnych warunkach środowiskowych, a następnie właściwości ochronne ŚOI, które odgrywają kluczową rolę w takich warunkach.

Wprowadzenie: Bezpieczeństwo osób biorących udział w zdarzeniach pożarowych jest bardzo istotnym zagadnieniem – zarówno w kontekście prawidłowego zarządzania zasobami ludzkimi, jak i organizacji działań podczas samego zdarzenia i po jego zakończeniu. Artykuł prezentuje treści związane z oddziaływaniem wybranych środowisk na strażaków-ratowników oraz znaczenia „ubrań specjalnych” strażaków w czasie podejmowanych działań. Przedstawiono informacje o wpływie środowisk mikroklimatu gorącego i zimnego oraz aktywności chemicznej będącej konsekwencją procesów zachodzących podczas pożaru. Zwrócono uwagę na problem działania złożonego środowiska pola taktycznego i jego wpływu na osoby biorące udział w zdarzeniach.

Metodologia: Artykuł został opracowany na podstawie przeglądu wybranej literatury z zakresu poruszanej tematyki.

Wnioski: Podczas zdarzenia obejmującego nie tylko działania podczas pożaru, ale także po ugaszeniu ognia, strażak-ratownik jest narażony na wiele czynników jednocześnie. Obok stresu, który towarzyszy tego typu akcjom, należy wziąć pod uwagę także czynniki fizyczne i chemiczne, które występują obok siebie, często poszerzając i wzmagając negatywne oddziaływanie. Analiza powinna obejmować możliwie pełny zakres czynników, którym poddana jest dana osoba i pozwalać na wyposażenie jej w odpowiednie narzędzia ochronne, jakimi są ŚOI strażaka. Wprowadzane innowacje powinny być wielokierunkowe i obejmować minimalizację zagrożenia wysoką lub niską temperaturą, zatruciem drogą oddechową, czy kontaktu skóry z toksynami. Należy przy tym pamiętać, że zmiany w strukturze i właściwościach odzieży muszą odpowiadać zarówno tendencjom obserwowanym na rynku, w gospodarce, jak i dynamice przebiegu pożaru. Niezbędne jest zatem prowadzenie prac równolegle w wielu obszarach, uwzględniając właściwości stosowanych materiałów, rozprzestrzenianie się i charakter zdarzeń oraz narzędzia będące na wyposażeniu strażaka-ratownika.

Słowa kluczowe: czynniki zagrożeń, środki ochrony indywidualnej strażaka, ubrania specjalne straży pożarnej, innowacje

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 22.11.2022; **Zrecenzowany:** 19.12.2022; **Zaakceptowany:** 19.12.2022;

Identyfikatory ORCID autorów: A. Rabajczyk – 0000-0003-4476-8428; R. Wolański – 0000-0002-5625-0936;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 61 Issue 1, 2023, pp. 64–84, <https://doi.org/10.12845/sft.61.1.2023.4>;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Introduction

A variety of adverse events can endanger both people and their property. The situations in question are defined in a number of national and international documents. The applicable document in this regard in the countries of the European Union is European Commission Directive 2019/1832 of 24 October 2019. [1], and in national law, a regulation of the Minister of Family and Social Policy of 4 November 2021 [2]. In Annex I of Commission Directive (EU) 2019/1832 [1] amending Annexes I, II and III to Council Directive 89/656/EEC [3] with regard to adjustments of a purely technical nature, risks are presented:

- physical: mechanical, noise, thermal (high temperature, low temperature), electrical (electric shock, electrostatic charge), radiation (non-ionizing, ionizing),
- chemical: aerosols (solid particles, liquid particles), liquids (immersion, splash, spray, jets), gases and vapours,
- biological substances: aerosols (solid and liquid particles), liquids (indirect contact, direct contact, splashes, sprays, jets), materials, persons, animals (indirect contact and direct contact) [3].

Contemporary operations of fire protection units are rich in a wide range of scenarios for the course of rescue intervention in the event of a given emergency. These range from long-established and defined solutions using tactical developments [4–5] to new ones introduced by line commanders [6], linked directly to the characteristics of the threat being eliminated. In a vast majority of interventions recorded in SWD PSP [7–8], there is a complex array of risk factors in relation to the firefighter-rescuer intervening directly. A profession and service widely recognised as high risk [9] is fraught with situations that represent exposure to a range of risk factors present, as a result of contact with an incident environment that is random in nature. In a vast majority of situations, the possibility of fire risk, which is one of the most destructive events, must be taken into account. The system of

Wprowadzenie

Różnorodne zdarzenia niepożądane mogą zagrażać zarówno ludziom, jak i ich mieniu. Sytuacje, o których mowa, zostały określone w wielu krajowych i międzynarodowych dokumentach. Obowiązującym aktem ustawodawczym w tym zakresie w krajach Unii Europejskiej jest dyrektywa Komisji Europejskiej 2019/1832 z 24 października 2019 r. [1], a w prawie krajowym rozporządzenie Ministra Rodziny i Polityki Społecznej z 4 listopada 2021 r. [2]. W załączniku I Dyrektywy Komisji (UE) 2019/1832 [1] zmieniającej załączniki I, II i III do dyrektywy Rady 89/656/EWG [3] w odniesieniu do dostosowań o charakterze czysto technicznym przedstawione zostały zagrożenia:

- fizyczne: mechaniczne, hałas, termiczne (wysoka temperatura, niska temperatura), elektryczne (porażenie prądem, ładunki elektrostatyczne), promieniowaniem (niejonizującym, jonizującym),
- chemiczne: aerozole (cząstki stałe, cząstki ciekłe), płyny (zanurzenie, rozpryski, spryskanie, strumienie), gazy i opary,
- substancje biologiczne: aerozole (cząstki stałe i cząstki ciekłe), płyny (kontakt pośredni, kontakt bezpośredni, rozpryski, spryskanie, strumienie), materiały, osoby, zwierzęta (kontakt pośredni i kontakt bezpośredni) [3].

Współcześnie jednostki ochrony przeciwpożarowej muszą być przygotowane na różnorodne scenariusze przebiegu interwencji ratowniczej w sytuacji wystąpienia konkretnego zagrożenia. Istnieją od dawna uznane i zdefiniowane rozwiązania z wykorzystaniem rozwiązań taktycznych [4–5] oraz nowe, wprowadzane przez dowódców liniowych [6], związane bezpośrednio z właściwościami likwidowanego zagrożenia. W zdecydowanej większości interwencji rejestrowanych w systemie SWD PSP [7–8] występuje złożony układ czynników zagrażających bezpośrednio strażakowi-ratownikowi. Zawód i służba – uznane powszechnie za obarczone wysokim ryzykiem [9] – obfitują w sytuacje stanowiące

qualifying an incident and its registration by the entities of the national rescue and firefighting system [5] following an alarm and rescue intervention allows the type of intervention, i.e. fire, local emergency or natural disaster, to be indicated in a simplified manner. In the rescue operations characteristic of a local emergency intervention, there are elements of firefighting, protection against fire initiation and dynamic development. Therefore, optimum methods for fighting fire and reducing the risk of hazards to the firefighter-rescuer are constantly being sought. This search concerns both ways of inhibiting or limiting the development of physicochemical phenomena occurring in the incident environment and their effects on the environment and the people exposed to them, including clothing. Therefore, the clothing must not only allow the firefighter to carry out his or her tasks, but also have a protective function, ensuring the safety of those involved in the incident.

Impact of hazard factors of the rescue environment on the rescuer

Firefighter-rescuers carry out their primary tasks in accordance with the departmental jurisdiction arising from formal regulations, i.e. laws and regulations and a whole range of directional guidelines. Undertaking these tasks is inherently random, just as the risks resulting from adverse events are random. The very general typology of incidents (in terms of: fires, local threats, natural disasters) included in the formal regulations indicates a very wide range of possible situational options.

The working and intervention environment of firefighter-rescuers is characterised by the impact of external factors resulting from the specific nature of the incident. A proper assessment of potential hazards is crucial if these factors are fully identified [10] during rescue operations, i.e., activities including firefighting, local hazards and natural disasters. In addition to the specificity of the intervention itself, resulting from the performed operations and the stress generating psycho-physical exhaustion, the destructive impact causing a risk to health and life is the physical and chemical impact of the environment.

The commonly recognised man – technology – environment system C-T-O [11] (in some sources man – technology – environment C-T-W, man – machine – environment C-M-W [11–12]) in the case of a rescue intervention involving a firefighter-rescuer acting as part of a rota includes his/her person, the rescue equipment and his/her place of operation (see Figure 1).

narażenie na szereg występujących czynników zagrożeń, będących efektem kontaktu ze środowiskiem zdarzenia, które ma charakter losowy. W zdecydowanej większości sytuacji należy brać pod uwagę możliwość wystąpienia zagrożenia pożarem, który jest jednym z najbardziej destrukcyjnych zdarzeń. System kwalifikacji zdarzenia i jego rejestracji przez podmioty krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego [5] po zaalarmowaniu i przeprowadzeniu interwencji ratowniczej pozwala w uproszczony sposób wskazać na rodzaj interwencji, tj. pożar, miejscowe zagrożenie lub też klęskę żywiołową. W działaniach ratowniczych charakterystycznych dla interwencji związanej z miejscowym zagrożeniem występują elementy zwalczania pożaru, zabezpieczenia przed jego inicjacją oraz dynamicznym rozwojem. Dlatego też stale poszukuje się optymalnych metod zwalczania pożaru i minimalizacji ryzyka zagrożeń dla strażaka-ratownika. Poszukiwania te dotyczą zarówno sposobów hamowania czy ograniczania rozwoju zjawisk fizykochemicznych występujących w środowisku zdarzenia, jak i ich oddziaływania na środowisko i osoby na nie narażone, w tym w zakresie odzieży. Ubrania muszą zatem nie tylko pozwolić na realizację zadań przez strażaka, ale także spełniać funkcje ochronne, gwarantujące bezpieczeństwo osób biorących udział w zdarzeniu.

Oddziaływanie czynników zagrożenia środowiska działań ratowniczych na ratownika

Strażacy-ratownicy realizują swoje podstawowe zadania zgodnie z właściwością służbową wynikającą z regulacji formalnych, tj. ustaw i rozporządzeń oraz całego szeregu wytycznych kierunkowych. Podejmowanie realizacji tych zadań jest z natury rzeczy losowe, jak losowy charakter mają zagrożenia będące rezultatem zdarzeń niepożądanych. Bardzo ogólna typologia zdarzeń (w ujęciu: pożary, miejscowe zagrożenia, klęski żywiołowe) ujęta w regulacjach formalnych wskazuje na niezwykle szeroki wachlarz możliwych wariantów sytuacyjnych.

Środowisko pracy i interwencji strażaków-ratowników charakteryzuje się oddziaływaniem czynników zewnętrznych wynikających ze specyfiki zdarzenia. Na właściwą ocenę potencjalnych zagrożeń kluczowy wpływ ma pełna identyfikacja tych czynników [10] w czasie prowadzenia czynności ratowniczych, tj. działań obejmujących zwalczanie pożarów, miejscowych zagrożeń i klęsk żywiołowych. Poza specyfiką samej interwencji związanej z wykonywanymi operacjami oraz stresem, które generują wyczerpanie psychofizyczne, destrukcyjny wpływ powodujący zagrożenie zdrowia i życia ma oddziaływanie fizykochemiczne otaczającego ratowników środowiska.

Powszechnie uznawany system człowiek – technika – otoczenie C-T-O [11] (w niektórych źródłach człowiek – technika – środowisko C-T-Ś, człowiek – maszyny – środowisko C-M-Ś [11–12]) w przypadku interwencji ratowniczej z udziałem strażaka-ratownika działającego w ramach rotacji obejmuje jego osobę, sprzęt do działań ratowniczych oraz miejsce jego działania (zob. ryc. 1).

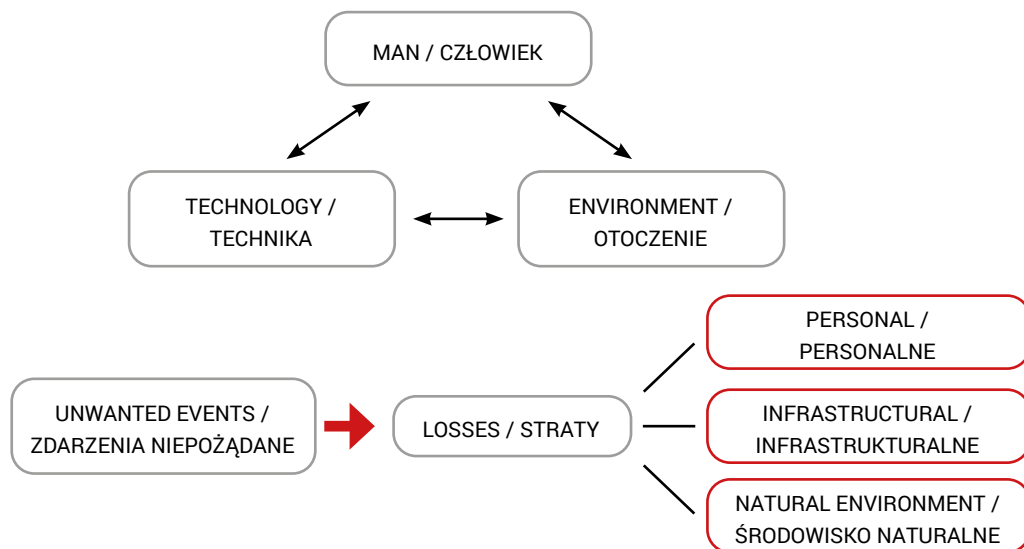


Figure 1. C-T-O system: man – technology – environment
Rycina 1. System C-T-O: człowiek – technika – otoczenie
Source: Own elaboration based on [11].
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [11].

There are a number of models for the burden of risk factors on the rescuer. They arise from the carried out tasks, the range of which expands with the specificity of the threats. According to the list of general characteristics of the Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, these tasks include [13]:

- carrying out the instructions of superiors,
- alarm ride to the rescue and firefighting operation,
- participation in rescue and firefighting operations,
- participation in a technical rescue operation,
- participation in chemical and environmental rescue operations
- participation in chemical and environmental rescue operations,
- participation in a water rescue operation,
- participation in high-altitude rescue operations,
- direct communication with colleagues, either through personal contact or by means of office and radio technology,
- working at height, in excavations, silos, caves, adits, moving on flat surfaces and on stairs,
- participation in training and drills,
- maintenance and repair of rescue equipment [13].

From the occupational risk chart covering hazards that may occur in the position of a firefighter taking direct part in rescue and firefighting actions, developed by the Central Institute for Labour Protection – National Research Institute (CIOP-PIB, Poland) [14], out of a wide range of hazard factors, for the purposes of this study, hazardous factors were selected for analysis, focusing on those related to the hot microclimate environment, i.e. fire, local hazards involving fire hazards, natural disasters involving fire hazards, cold microclimate environments, environments with elevated chemical activity, environments with complex hazard factor activity.

Istnieje wiele modeli obciążeń czynnikami zagrożeń ratownika. Wynikają one z realizowanych zadań, których wachlarz rozszerza się wraz ze specyfiką zagrożeń. Według wykazu ogólnie ujętych charakterystyk Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego, zadania te obejmują [13]:

- wykonywanie poleceń przełożonych,
- jazda alarmowa do akcji ratowniczo-gaśniczej,
- udział w akcji ratowniczo-gaśniczej,
- udział w akcji ratownictwa technicznego,
- udział w akcji ratownictwa chemiczno-ekologicznego,
- udział w akcji ratownictwa wodnego,
- udział w akcji ratownictwa wysokościowego,
- komunikacja bezpośrednia ze współpracownikami, poprzez kontakt osobisty lub za pomocą środków techniki biurowej i radiowej,
- praca na wysokości, w wykopach, silosach, grotach, sztolniach, przemieszczanie się po powierzchniach płaskich oraz po schodach,
- udział w szkoleniach i ćwiczeniach,
- konserwacja i naprawa sprzętu ratowniczego [13].

Z karty ryzyka zawodowego, obejmującego zagrożenia, jakie mogą wystąpić na stanowisku strażaka biorącego bezpośredni udział w akcjach ratowniczo-gaśniczych, opracowanej przez Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB, Polska) [14], spośród szerokiego spektrum czynników zagrożeń, na cele niniejszego opracowania wybrano do analizy czynniki niebezpieczne, skupiając się na tych, które związane są z działaniem środowiska mikroklimatu gorącego, tj. pożar, miejscowe zagrożenia z udziałem zagrożenia pożarowego, klęski żywiołowe z udziałem zagrożenia pożarowego. Uwagę poświęcono również środowisku mikroklimatu zimnego, środowisku o podniesionej aktywności chemicznej oraz środowisku o złożonej aktywności czynników zagrożeń.

The intensity of the heat exchange between the human body and the environment depends on the metabolic rate depending on the work-related activity of the human being and the thermal insulation properties of the clothing, the microclimate of the room or the small area in which the human being resides. The ambient microclimate (operating environment) is the composition of its physical quantities that determine the ability of the human body to receive heat. Two characteristic magnitudes play a key role in human operability under varying thermal conditions: cold stress and heat stress [15].

The possibility of heat stress is significantly dominant in the working conditions of a firefighter-rescuer [15]. It refers to climatic conditions in which heat exchange in the body is approximately equal to or too low for thermal equilibrium, the consequence of which may be physiological stress resulting in heat accumulation. Therefore, one of the main issues to be analysed in the context of the possible use of PPE is protection against the occurrence of heat stress. It translates into ensuring comfort at work, including thermal comfort [16]. A firefighter's operations require protection whose universal design makes it possible to perform physical task-related activities in a variety of environments in terms of physical, chemical or biological activity.

Intensywność wymiany ciepła między ciałem człowieka a otoczeniem jest uzależniona od tempa metabolizmu uwarunkowanego aktywnością człowieka (związaną m.in. z wykonywaną pracą), właściwościami termoizolacyjnych odzieży, mikroklimatu pomieszczenia lub niewielkiej obszarowo przestrzeni, w której przebywa dana osoba. Mikroklimat otoczenia (środowisko funkcjonowania) to kompozycja związanych z tym otoczeniem wielkości fizycznych decydujących o zdolności odbioru ciepła z organizmu człowieka. Dwie charakterystyczne wielkości odgrywają kluczową rolę w możliwościach operacyjnych człowieka w zróżnicowanych warunkach termicznych: stres zimna oraz stres gorąca [15].

W warunkach pracy strażaka-ratownika znacząco dominuje możliwość wystąpienia stresu gorąca [15]. Dotyczy on warunków klimatycznych, w których wymiana ciepła w organizmie jest w przybliżeniu równa lub zbyt mała dla zapewnienia równowagi cieplnej, czego konsekwencją może być obciążenie fizjologiczne powodujące akumulację ciepła. Dlatego też jedną z podstawowych kwestii, która podlega analizie w kontekście możliwości wykorzystania jest ochrona przed wystąpieniem stresu gorąca. Przekłada się ona na zapewnienie komfortu pracy, w tym komfortu cieplnego [16]. Działania strażaka wymagają zabezpieczeń, których uniwersalna konstrukcja umożliwia wykonywanie czynności fizycznych związanych z zadaniami w zróżnicowanych środowiskach pod względem aktywności fizycznej, chemicznej czy biologicznej.

Risks of operating in a hot microclimate

The fire brigade's activities are geared towards rescue response in dealing with the aftermath of a fire (firefighting rescue operations) and are carried out in an environment of not fully predictable hot microclimates. Its properties, despite the widely held belief that they are recognised, are still areas that generate the risk of serious threats, including personal ones. A diagram of the thermal impact of the fire environment is shown in Figure 2.

Zagrożenia wynikające z działania w mikroklimacie gorącym

Działania straży pożarnej ukierunkowane są na reagowanie ratownicze przy likwidacji skutków pożaru (działania ratownicze zwalczania pożarów) i prowadzone są w środowisku nie w pełni przewidywalnego mikroklimatu gorącego. Jego właściwości, mimo panującego powszechnie przekonania o ich rozpoznaniu, wciąż są obszarami generującymi ryzyko poważnych zagrożeń, również personalnych. Schemat oddziaływania termicznego środowiska pożaru przedstawia rycina 2.

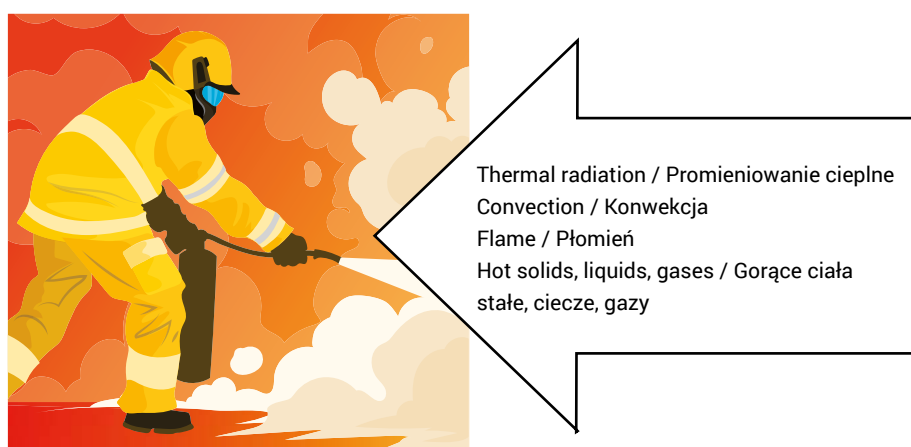


Figure 2. Model of the personal load of a rescue firefighter with thermal hazard factors
Rycina 2. Model obciążenia personalnego strażaka-ratownika czynnikami zagrożeń termicznymi

Source: INNOS project (O ROB/0011/03/001 *Development of an innovative test stand system for personal protective equipment*) [17].
Źródło: Projekt INNOS (O ROB/0011/03/001 *Opracowanie innowacyjnego systemu stanowisk do badań ochron osobistych*) [17].

Under fire conditions, the temperatures of the flames and the immediate surrounding environment not infrequently oscillate between 600–1,000°C or higher, and the emitted heat flux reaches values of between 1.5 kW/m² and even 200 kW/m² [18–0]. Wisniewski [21] indicated that the parameters of the firefighter's environment can be characterised by even higher temperatures, around 100–1200°C, and heat flux densities ranging from 0.8 to 210 kW/m². In standardised studies [21], a range of 80–84 kW/m² is taken as a representative value of flux density to correspond to the fire [22]. The range of flux values 84–125 kW/m² corresponds, according to Veghte [23], to the statistical radiation value of an open flame. The range of values 8–25 kW/m² is the characteristic range for the impact of radiation on firefighters operating in the thermal radiation exposure zone. The adopted temperature values (see Table 1), as well as the permissible safe working time for the rescuer, are to be regarded as approximate. The presented values represent average determinants defined by experiments and fire survey data.

W warunkach pożaru temperatury płomieni i środowiska z nimi bezpośrednio sąsiadującego nierzadko oscylują w granicach 600–1000°C albo i wyższych, a emitowany strumień ciepły osiąga wartości od 1,5 kW/m² do nawet 200 kW/m² [18–20]. Wiśniewski [21] wskazał, że parametry środowiska, w którym przebywa strażak, mogą charakteryzować się nawet wyższą temperaturą, rzędu 100–1200°C, oraz gęstością strumienia ciepła sięgającą od 0,8 do 210 kW/m². W badaniach normowych [21] przyjmuje się jako reprezentatywną wartość gęstości strumienia zakres 80–84 kW/m², który ma odpowiadać rozgorzeniu [22]. Przedział wartości strumienia 84–125 kW/m² odpowiada, według Veghte [23], wartości statystycznego promieniowania otwartego płomienia. Przedział wartości 8–25 kW/m² to zakres charakterystyczny dla oddziaływania promieniowania na strażaków pracujących w strefie oddziaływania promieniowania termicznego. Przyjęte wartości temperatur (zob. tabela 1), jak również dopuszczalny czas bezpiecznej pracy ratownika, traktować należy w sposób przybliżony. Przedstawione dane liczbowe stanowią przeciętne wyznaczniki określone w drodze eksperymentów i informacji uzyskanych z badań pożarów.

Table 1. Thermal determinants of the fire environment
Tabela 1. Uwarunkowania termiczne środowiska pożaru

No. / Lp.	Conditions in the fire environment / Warunki w środowisku pożaru	Air temperature [°C] / Temperatura powietrza [°C]	Density of radiation heat flux [kW/m ²] / Gęstość radiacyjnego strumienia ciepła [kW/m ²]	Permissible (safe) standby time for firefighter-rescuers / Dopuszczalny (bezpieczny) czas przebywania strażaka-ratownika
1	Standard (routine) / Standardowe (rutynowe)	100	0.8	25 minutes / 25 minut
2	Dangerous / Niebezpieczne	100–140	1–4	-
3	Extreme / Ekstremalne	140–170	4–11	-
4	Critical / Krytyczne	Over 170 / Powyżej 170	Over 11 / Powyżej 11	-

Source: Own elaboration based on [19, 21, 24–26].
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [19, 21, 24–26].

In literature there are several significant approaches to the typology of heat transfer conditions in fire. The differences generally relate to the recognition of three or four areas of firefighter-rescuer action and the definition of the level of danger. However, in all cases it is considered unacceptable for a second degree of burn to occur. From the point of view of safety in carrying out rescue operations, it is therefore essential to identify the conditions, the risk factors, especially for health and life, and the possible outcomes in as much detail as possible. Often, however, a minimalist trend prevails in optimising the equipping of firefighter-rescuers, driven not only by budgetary constraints but by the belief that critical situations are unlikely to occur.

W literaturze funkcjonuje kilka znaczących podejść do typologii warunków wymiany ciepła w pożarze. Różnice na ogół dotyczą uznania trzech lub czterech obszarów działania strażaka-ratownika oraz określenia poziomu zagrożenia. Jednakże we wszystkich przypadkach uznaje się za niedopuszczalną sytuację, w której pojawia się drugi stopień oparzenia. Z punktu widzenia bezpieczeństwa prowadzenia działań ratowniczych niezbędne jest zatem jak najbardziej szczegółowe określenie ich warunków, czynników zagrożeń, zwłaszcza dla zdrowia i życia oraz możliwych skutków. Często jednak w optymalizacji wyposażania strażaków-ratowników przeważa trend minimalistyczny, wynikający nie tylko z ograniczeń budżetowych, ale z przekonania o małym prawdopodobieństwie występowania sytuacji krytycznych.

The results show that contact of human skin with a 44°C environment for 6 hours is neutral to it. When the contact temperature reaches 49°C, the absence of interaction effects manages to last for only 9 minutes, and in case of a 70°C environment, contact is only safe for 1 second. It should be noted that contact with an environment of 60°C is not only the so-called pain threshold, but the beginning of second-degree burns signalled by the appearance of blisters on the skin (see Table 2). The third stage, which marks the thermal destruction of the skin through and through, is the effect of contact with a 70°C environment. Skin reconstruction requires surgical intervention. According to Ali [20], when the temperature reaches 45°C and the heat flux density is 2.68 J/cm², the exposed person will feel a burning sensation. However, if the temperature is 72°C and the heat flux density is 5.02 J/cm², a second-degree skin burn will occur [20, 27].

Wyniki badań wskazują, że kontakt skóry ludzkiej ze środowiskiem o temperaturze 44°C przez 6 godzin jest dla niej neutralny. Gdy temperatura kontaktu sięga 49°C, to brak efektów oddziaływania udaje się utrzymać zaledwie 9 minut, a w przypadku środowiska o temperaturze 70°C kontakt jest bezpieczny tylko przez 1 sekundę. Należy zaznaczyć, że kontakt ze środowiskiem o temperaturze 60°C to nie tylko tzw. próg bólu, ale początek drugiego stopnia poparzeń, sygnalizowany pojawieniem się na skórze bąbli (zob. tabela 2). Trzeci stopień, który oznacza termiczną destrukcję skóry na wskroś, to efekt kontaktu ze środowiskiem 70°C. Rekonstrukcja skóry wymaga interwencji chirurgicznej. Według Ali [20], kiedy temperatura osiągnie wartość 45°C, a gęstość strumienia ciepła będzie wynosiła 2,68 J/cm², osoba narażona na ten czynnik odczuwać będzie pieczenie. Natomiast w przypadku gdy temperatura będzie równa 72°C, a gęstość strumienia ciepła 5,02 J/cm², wystąpi poparzenie skóry drugiego stopnia [20, 27].

Table 2. Skin reactions to the effects of the thermal environment
Tabela 2. Reakcje skóry na działanie termiczne środowiska

No. / Lp.	Contact temperature [°C] / Temperatura kontaktu [°C]	Time [s] / Czas [s]	Burn degree / Stopień oparzenia
1	44	21,600	
2	49	720	
3	51	120–360	I degree / I stopień
4	52	120	
5	55	20–30	
6	60	5–6	II degree / II stopień
7	66	2	
8	70	1	III degree / III stopień

Source: Own elaboration based on [20], [27].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [20], [27].

Given the classification of the rescue intervention as a fire-fighting rescue operation, the random and complex nature of the occurrence of the factors [28] of the hazard is an undeniable fact. The complexity of the possible physical phenomena, while at the same time sufficiently predictable in a real-life situation, affects the personal risk of the rescuers. It should be noted that staying safe in these conditions is time-limited and requires not only adequate training, but being equipped with the necessary and adequate equipment, including appropriate clothing. The design of the thermal environment protectors is such that, in extreme cases, the third degree of burns is prevented. Standard systems were based on this model. Parameter choices are derived from the so-called Stoll and Chiant curve [29] (see Figure 3).

Biorąc pod uwagę klasyfikowanie interwencji ratowniczej jako działania ratownicze zwalczania pożaru, faktem niezaprzeczalnym jest losowy i złożony charakter występowania czynników zagrożenia [28]. Złożoność możliwych zjawisk fizycznych, a zarazem możliwość ich wcześniejszego przewidzenia w realnej sytuacji determinuje ryzyko personalne ratowników. Należy zaznaczyć, iż bezpieczne przebywanie w tych warunkach jest ograniczone w czasie i wymaga nie tylko odpowiedniego wyszkolenia, ale wyposażenia w niezbędny i adekwatny sprzęt, w tym także w odpowiednią odzież. Konstrukcja zabezpieczeń przed działaniem środowiska termicznego zakłada taką ochronę, by w skrajnych przypadkach nie dopuścić do trzeciego stopnia poparzenia. Na tym modelu oparto systemy normowe. Dobory parametrów wynikają z tzw. krzywej Stoll i Chianta [29] (zob. ryc. 3).

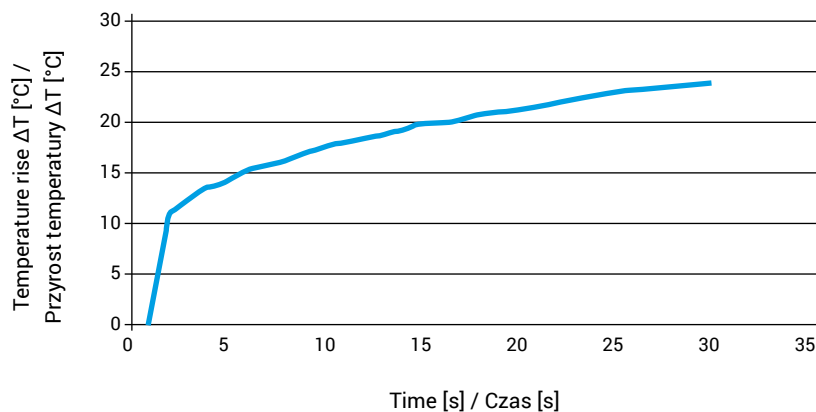


Figure 3. Chart of human tissue tolerance to second-degree burns [29].
Rycina 3. Wykres tolerancji ludzkiej tkanki na drugi stopień oparzenia [29]

Source/Źródło: R. Wolański, *Technologia i materiały do produkcji ochron termicznych przed promieniowaniem podczerwonym i mikrofalowym*, Rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2008 [29].

The National Fire Protection Association (NFPA) has developed the Thermal Protective Performance (TPP) index to assess thermal protection performance [30–31]:

$$TPP = t \times q_0 \quad (1)$$

where:

t – duration of radiation exposure [s],
 q_0 – radiation flux [kW/m^2].

It should be indicated that, according to the guidelines, the TPP value must not be less than $1,450 \text{ kJ}/\text{m}^2$.

Another criterion, indicated in ASTM F 2731-11, is the so-called Henriques condition [21, 32]. It is based on the use of pig skin to determine the timing of a response to an external agent. According to this criterion, the key issue is the reference to the rate of chemical reaction defined by the so-called Arrhenius equation:

$$k(T)k = d(\Omega)/dt = P \exp\left[\frac{\Delta E}{RT}\right] \quad (2)$$

where

k – reaction rate constant, i.e., the rate of damage to the skin [s^{-1}],
 Ω – measure of skin damage (burns),
 P – pre-exponent, frequency factor [s^{-1}],
 R – universal gas constant, $R = 8.314 \text{ [kJ}/(\text{kmol} \times \text{K})]$,
 ΔE – activation energy [J/kmol],
 T – temperature [K].

Equation (2) after transformation takes the form of:

$$\Omega = \int_0^t P \exp\left[\frac{-\Delta E}{RT(x, t)}\right] dt \quad (3)$$

This is the so-called Henriques integral.

By assuming that $\Omega = 1$, it is possible to determine the time of occurrence of second-degree burns, as this is the type of burn that occurs with this relationship [20], [32]. Knowing the values of

National Fire Protection Association (NFPA) opracował wskaźnik TPP (Thermal Protective Performance) pozwalający na ocenę skuteczności termicznej ochrony [30–31]:

$$TPP = t \times q_0 \quad (1)$$

gdzie:

t – czas oddziaływania promieniowania [s],
 q_0 – strumień promieniowania [kW/m^2].

Należy zaznaczyć, że zgodnie z wytycznymi wartość współczynnika TPP nie może być mniejsza niż $1450 \text{ kJ}/\text{m}^2$.

Innym kryterium, wskazanym w normie ASTM F 2731-11, jest tzw. warunek Henriquesa [21, 32]. Opiera się on na wykorzystaniu skóry trzody chlewnej celem określenia czasu wystąpienia reakcji na czynnik zewnętrzny. Według tego kryterium kluczową kwestią jest odniesienie do szybkości reakcji chemicznej określonej tzw. równaniem Arrheniusa:

$$k(T)k = d(\Omega)/dt = P \exp\left[\frac{\Delta E}{RT}\right] \quad (2)$$

gdzie

k – stała szybkości reakcji, tj. szybkości uszkodzenia skóry [s^{-1}],
 Ω – miara uszkodzenia skóry (oparzenia),
 P – czynnik częstotliwościowy (*pre-exponent, frequency factor*) [s^{-1}],
 R – uniwersalna stała gazowa, $R = 8,314 \text{ [kJ}/(\text{kmol} \times \text{K})]$,
 ΔE – energia aktywacji [J/kmol],
 T – temperatura [K].

Równanie (2) po przekształceniu przyjmuje postać:

$$\Omega = \int_0^t P \exp\left[\frac{-\Delta E}{RT(x, t)}\right] dt \quad (3)$$

Jest to tzw. całka Henriquesa.

Przy założeniu $\Omega = 1$, który zachodzi przy pojawieniu się drugiego stopnia oparzeń, możliwe jest określenie czasu pojawienia się tego rodzaju poparzenia [20], [32]. Znając wartości

the frequency factor P for different temperature-time exposures, it becomes possible to determine the time that can lead to a second-degree skin burn. The results also indicate that the value of the Henriques integral for $\Omega = 0.53$ can be used to predict time for first-degree burns. It is also possible to specify consecutive times for the respective degrees of burn.

Impact of cold microclimate

Task-related considerations in interventions in cold microclimate environments are much less frequently taken into account in the work of the firefighter-rescuer. Perhaps the significantly shorter period per year of conditions considered to be winter is the deciding factor in this case. However, it is noteworthy that there is an increase in the total number of firefighter interventions to deal with the consequences of the so-called local threats. Among these, rescue operations related to road transport incidents are predominant. Incidents involving vehicles transporting low-temperature substances, including cryogenic substances, are becoming increasingly frequent. In addition, in cold seasons, there are incidents that often require long enough interventions that a situation may arise that results in a large leakage of heat from the firefighter-rescuer's body. Cold stress can occur under these conditions. This situation occurs when the heat exchange through the human body is equal to or too great in relation to the exchange providing thermal equilibrium. This can lead to a significant physiological load that cannot be compensated for (heat debt).

A cold microclimate for human work occurs when the environmental temperature is below 10°C , with air velocity above 0.1 m/s and relative humidity above 5%. The harmful effects of a cold microclimate environment are determined by the so-called Wind-Chill-Index (WCI), i.e. the degree of risk of frostbite to various parts of the body [33–34] or, in other words, the cooling power index of the air. The WCI index provides an assessment of local body cooling. Low risk occurs for $\text{WCI} \leq 1,200$, medium risk when the index is between $1,200$ – $2,000$, and high risk when $\text{WCI} \geq 2000$. According to the regulation of the Minister of Family, Labour and Social Policy of 12 June 2018 on the maximum permissible concentrations and intensities of factors harmful to health in the working environment [34], in a high-risk situation, human work is prohibited.

Intense exposure to a cold environment can lead to general body or local hypothermia. Successful implementation can therefore only take place if the right heat balance is ensured. Determining the magnitude of the impact of microclimate parameters on the health and safety of task performers is done by indicators for assessing the thermal environment. These include:

- predicted median value (PMV),
- Predicted Percentage Dissatisfied (PPD),
- Wet Bulb Globe Temperature (WBGT),
- required clothing insulation (IREQ),
- t_{wc} permissible local cooling indicator [$^{\circ}\text{C}$].

czynnika częstotliwościowego P dla różnych ekspozycji temperaturowo-czasowych, można określić czas, który może doprowadzić do wystąpienia drugiego stopnia oparzenia skóry. Wyniki badań wskazują także, że wartość całki Henriqueasa dla $\Omega = 0,53$ może służyć do przewidywania czasu pojawienia się oparzenia pierwszego stopnia. Możliwe jest również określanie kolejnych czasów dla odpowiednich stopni oparzenia.

Oddziaływanie mikroklimatu zimnego

Uwarunkowania związane z realizacją zadań w interwencjach w środowisku mikroklimatu zimnego są znacznie rzadziej brane pod uwagę w pracy strażaka-ratownika. Być może w tym przypadku decyduje znacznie krótszy okres w skali roku występowania warunków uznanych za zimowe. Na uwagę zasługuje jednak fakt, iż rośnie w ogólnej liczbie interwencji strażaków udział w likwidacji skutków tzw. miejscowych zagrożeń. Wśród nich przeważają działania ratownicze związane ze zdarzeniami w transporcie drogowym. Coraz częściej pojawiają się interwencje, w których biorą udział pojazdy przewożące substancje o niskich temperaturach, w tym substancje kriogeniczne. Ponadto w zimnych porach roku występują zdarzenia na tyle długotrwałe, że może dojść do sytuacji skutkującej dużym wpływem ciepła z organizmu strażaka-ratownika. W tych warunkach może wystąpić stres zimna. Sytuacja taka ma miejsce, gdy wymiana ciepła przez organizm człowieka jest równa lub za duża w stosunku do wymiany zapewniającej równowagę cieplną. Może to doprowadzić do znacznego obciążenia fizjologicznego, niemożliwego do skompensowania (dług cieplny).

Mikroklimat zimny pracy człowieka występuje, gdy temperatura środowiska wynosi poniżej 10°C , przy prędkości przepływu powietrza powyżej $0,1\text{ m/s}$ oraz wilgotności względnej powyżej 5%. Szkodliwe działanie środowiska mikroklimatu zimnego określa tzw. Wind-Chill-Index (WCI), tj. stopień ryzyka zagrożenia odmrożeniem różnych części ciała [33–34] lub inaczej wskaźnik siły chłodzącej powietrza. Wskaźnik WCI umożliwia ocenę miejscowego chłodzenia ciała. Ryzyko małe ma miejsce dla $\text{WCI} \leq 1200$, średnie gdy wskaźnik ten jest w granicach 1200 – 2000 , natomiast duże, gdy $\text{WCI} \geq 2000$. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [34] w sytuacji ryzyka dużego pracą człowieka jest wzbroniona.

Intensywne działanie środowiska zimnego prowadzić może do wychłodzenia ogólnego organizmu lub do wychłodzenia miejscowego. Skuteczna realizacja zadań może mieć zatem miejsce tylko wówczas, kiedy zapewniony zostanie właściwy bilans cieplny. Określanie wielkości wpływu parametrów mikroklimatu na zdrowie i bezpieczeństwo wykonawców zadań następuje przez wskaźniki oceny środowiska termicznego. Należą do nich:

- przewidywana ocena średnia (PMV),
- procentowy udział niezadowolonych (PPD),
- wskaźnik obciążenia termicznego (WBGT),
- wskaźnik wychłodzenia ogólnego organizmu (IREQ),
- t_{wc} wskaźnik wychłodzenia miejscowego organizmu [$^{\circ}\text{C}$].

It should be noted that the t_{wc} [°C] indicator characterises the permissible local cooling of the body in relation to the exposure time (see Table 3).

Należy zaznaczyć, iż wskaźnik t_{wc} [°C] charakteryzuje dopuszczalne wychłodzenie miejscowe organizmu w odniesieniu do czasu narażenia (zob. tabela 3).

Table 3. Permissible local cooling as characterised by the t_{wc} indicator [°C]
Tabela 3. Dopuszczalne wychłodzenie miejscowe organizmu, które charakteryzuje wskaźnik t_{wc} [°C]

No. / Lp.	Permissible local cooling indicator t_{wc} / Wskaźnik wychłodzenia miejscowego organizmu t_{wc}	Operating time [min] / Czas działania [min]
1	$t_{wc} > -24$	Continuous exposure / Ekspozycja ciągła
2	$-24 \geq t_{wc} > -34$	Abbreviated exposure, determined according to the equation: Exposure time = $50 t_{wc} + 1,730$ / Ekspozycja skrócona, określana zgodnie z równaniem: Czas ekspozycji = $50 t_{wc} + 1730$
3	$-34 \geq t_{wc} > -59$	Abbreviated exposure, determined according to the equation: Exposure time = $0.8 t_{wc} + 57.2$ / Ekspozycja skrócona, określana zgodnie z równaniem: Czas ekspozycji = $0,8 t_{wc} + 57,2$
4	$t_{wc} \leq -59$	Prohibited exposure / Ekspozycja zabroniona

Source: Own elaboration based on [34].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [34].

At certain physiological load levels, it is the task of clothing as part of personal protective equipment (PPE) to ensure the body's thermal balance [35], the thermal insulation of which is defined by the IREQ (required clothing insulation) index. Studies of general hypothermia in the context of the use of PPE focus on the heat exchange between the body and the environment and the required thermal insulation IREQ to ensure that the thermal equilibrium of the clothing ensemble is maintained.

In case of local hypothermia, which most often involves the skin and limbs, an important role is played by:

- cooling by convection (resulting from air movement),
- cooling by conduction,
- hypothermia of the limbs,
- cooling of the respiratory tract.

The assessment of the risk of working and functioning in a cold environment is based on PN-EN ISO 11079:2008: *Ergonomics of the thermal environment. Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects* [36–37]. According to the standard, a key role is played by measurements of the physical quantities of the environment, the severity of the work and the insulation of clothing (PPE).

The relationship between and use of thermal load evaluation indicators is defined in EN ISO 11399:2005 *Ergonomics of the thermal environment. Principles and application of relevant International standards*. Basic guidelines for their assessment are presented in Table 4.

Przy określonych poziomach obciążenia fizjologicznego zapewnienie właściwego bilansu cieplnego organizmu jest zadaniem odzieży stanowiącej element środków ochrony indywidualnej [35], której izolacyjność cieplną określa się wskaźnikiem IREQ (ang. *required clothing insulation* – wymagana ciepłochronność odzieży). Badania wychłodzenia ogólnego w kontekście stosowania ŚOI koncentrują się na wymianie ciepła pomiędzy organizmem a otoczeniem oraz wymaganej izolacyjności cieplnej IREQ zapewniającej utrzymanie równowagi cieplnej zestawu odzieżowego.

W przypadku wychłodzenia miejscowego, które najczęściej obejmuje skórę i kończyny, istotną rolę odgrywają:

- wychłodzenie przez konwekcję (wynikające z ruchu powietrza),
- wychłodzenie przez przewodzenie,
- wychłodzenie kończyn,
- wychłodzenie dróg oddechowych.

Ocena ryzyka pracy i funkcjonowania w środowisku zimnym następuje w oparciu o PN-EN ISO 11079:2008: *Ergonomia środowiska termicznego – Wyznaczanie i interpretacja stresu termicznego wynikającego z ekspozycji na środowisko zimne z uwzględnieniem wymaganej izolacyjności cieplnej odzieży (IREQ) oraz wpływu wychłodzenia miejscowego* [36–37]. Zgodnie z normą bardzo ważne znaczenie mają pomiary wielkości fizycznych środowiska, ciężkości pracy oraz izolacyjności odzieży (środków ochrony indywidualnej).

Table 4. Relationship between indicators for assessing thermal load
Tabela 4. Relacje pomiędzy wskaźnikami oceny obciążenia termicznego

No. / Lp.	Assessed size / Oceniana wielkość	Type of environment / Rodzaj środowiska		
		Hot / Gorące	Moderate / Umiarkowane	Cold / Zimne
1	Comfort and stress / Komfort i stres	WBGT index / Wskaźnik WBGT	Predicted median value (PMV) / Przewidywana ocena średnia PMV	
			Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) / Przewidywany odsetek niezadowolonych PPD	
		SWreq required sweating rate / Wymagane tempo pocenia się SWreq / Wymagane tempo pocenia się SW _{req}		Required clothing insulation (IREQ) / Wymagana izolacyjność odzieży IREQ
2	Physiological load / Obciążenie fizjologiczne	Internal body temperature and skin temperature, heart rate, weight loss by sweating and respiration / Temperatura wewnętrzna ciała i temperatura skóry, częstość skurczów serca, utrata masy ciała przez pocenie i oddychanie		
3	Mental load / Obciążenie Psychiczne	Subjective evaluation methods / Metody oceny subiektywnej		

Source: Own elaboration based on PN-EN ISO 11399:2005.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 11399:2005.

Relacje pomiędzy wskaźnikami oceny obciążenia termicznego i ich stosowanie określa PN-EN ISO 11399:2005 *Ergonomia środowiska termicznego. Zasady i stosowanie związanych norm międzynarodowych*. Podstawowe wytyczne w zakresie ich oceny przedstawiono w tabeli 4.

Environments with complex risk factors

The phenomenon of fire is one of the environmental emergencies. It refers to the process of combustion of various substances, uncontrolled in time and space, during which not only thermal energy but also thermal decomposition and combustion products and smoke are emitted. A variety of complex chemical reactions take place during the event, occurring in both the gaseous and solid phases. This causes an abrupt change in the environment and poses a risk to health and life as well as property.

Depending on the location of the fire, combustion can involve a variety of organic and inorganic substances, of a more or less complex structure, based on natural or artificial compounds deliberately produced by man. Due to the increasing demands on performance characteristics, such as strength, resistance to contamination or temperature resistance, the used components are subject to constant modification.

Therefore, the used materials emit a variety of compounds into the environment during the burning process, the composition of which is determined by the type and chemical composition of the material, the used additives. One of the important materials found in our environment and commonly used by humans

Środowiska o złożonej aktywności czynników zagrożeń

Zjawisko pożaru jest jednym z nadzwyczajnych zagrożeń środowiska. Odnosi się do procesu spalania różnych substancji, niekontrolowanego w czasie i przestrzeni, podczas którego następuje emisja nie tylko energii cieplnej, ale także produktów rozkładu termicznego i spalania oraz dymu. Podczas zdarzenia mają miejsce różnorodnie złożone reakcje chemiczne, zachodzące zarówno w fazie gazowej, jak i stałej. Powoduje to gwałtowną zmianę środowiska i stanowi zagrożenie dla zdrowia i życia oraz mienia.

W zależności od miejsca wystąpienia pożaru spalanie może objąć różnorodnie substancje organiczne i nieorganiczne, o bardziej lub mniej skomplikowanej budowie, oparte o związki naturalne lub sztuczne, celowo wytworzone przez człowieka. Ze względu na rosnące wymagania w zakresie cech użytkowych, jak i wytrzymałości, odporności na zanieczyszczenia czy też odporności na temperaturę, stosowane przez straż pożarną elementy podlegają stałej modyfikacji.

Stosowane materiały w trakcie procesu palenia emitują zatem do środowiska różnorodnie związki, których skład uwarunkowany jest rodzajem i składem chemicznym materiału, stosowanymi

is wood or wood-based materials, which is an organic material exposed to many harmful biotic and abiotic agents, such as fungi, insects, termites, external conditions, including water damage, UV radiation, and fire [38–39]. The most common way to protect wood is to treat it with protective chemicals that penetrate the wood. The wood preservatives used for this purpose belong to a group of 23 different types of biocides as defined in The Biocidal Products Directive [40], which was replaced in 2013 by the Biocidal Products Regulation [41]. Among the group of active substances permitted are among others 4,5-dichloro-2-octyl-2H-isothiazol-3-one (DCOIT), alkyl(C12-16)dimethylbenzyl ammonium chloride – C12-16 ADBAC, basic copper carbonate, boric acid, boric oxide, didecylidimethylammonium carbonate (DDACarbonate), hydrogen cyanide, disodium tetraborate, copper(II) oxide, copper hydroxide, creosote. To improve fire resistance, boron compounds, for example, are used, while to protect wood against fungi, insects and termites, active substances such as copper or chromium are used. Many of these substances have been shown to have carcinogenic, reproductive toxicity or endocrine disrupting properties [38]. As a result of the combustion process, inorganic compounds such as heavy metals, partial decomposition products of organic compounds, particles of varying sizes, including ultra-particles, can therefore be released from this group of materials. Importantly, dust can burn flammably, flamelessly and, if agitated, explosively.

The combustion process is also determined by external factors, including temperature, access to oxygen, the presence of other substances such as radicals, catalysts. All of these elements determine the type of combustion process, which can consist of processes such as smouldering (flameless combustion) or combustion with flame generation (flame combustion). Oxygen is one of the slow, low-temperature processes. It is also the most durable type of combustion phenomenon, characterised by the absence of a flame. One of the most important issues concerning the smouldering process relates to the direction of the spread of smouldering in solids in terms of oxidant migration. During forward propagation, fresh oxidant flows through the char substance and reacts in the ignition zone, and then the oxidant-depleted flow passes through the primary fuel, resulting in oxidation reactions occurring at the rear of the ignition zone and pyrolysis at the front. In the reverse situation, the oxidant moves through the primary fuel and reacts in the smouldering zone. This ensures that both oxidation and pyrolysis reactions occur at approximately the same location [42].

Understanding the mechanisms and products of combustion plays an important role in the development of new solutions for improving firefighter safety. Both smouldering and burning with flame generation have their genesis from the same process, which is pyrolysis. However, smouldering is a heterogeneous reaction of a combustible material with an oxidant, whereas flaming is a homogeneous reaction of a gaseous fuel with an oxidant that releases more heat. It is important to remember that both smouldering and burning can occur with any material, plus one process can lead to the other [43–44]. Under specific conditions, there can also be rapid oxidation that occurs in a very short time, i.e. an explosion. Flameless combustion refers to

dotatkami. Jednym z istotnych materiałów, występujących w naszym środowisku i powszechnie wykorzystywanym przez człowieka, jest drewno czy też materiały drewnopochodne, będące materiałem organicznym, narażonym na wiele szkodliwych czynników biotycznych i abiotycznych, takich jak grzyby, owady, termyty, warunki zewnętrzne, w tym uszkodzenie przez wodę, promieniowanie UV, i ogień [38–39]. Najczęstszym sposobem ochrony drewna jest obróbka ochronnymi chemikaliami, które wnikają w jego strukturę. Stosowane w tym celu środki konserwujące drewno należą do grupy 23 różnych rodzajów biocydów określonych w The Biocidal Products Directive [40], która w 2013 r. została zastąpiona rozporządzeniem w sprawie produktów biobójczych [41]. W grupie substancji aktywnych dopuszczone są m.in. 4,5-dichloro-2-oktylo-2H-izotiazol-3-on (DCOIT), chlorek alkilo(C12-16)dimetylobenzylu-amoniowy – C12-16 ADBAC, zasadowy węgiel miedzi, kwas borowy, tlenek boru, węgiel didecylodimetyloamoniowy (DDACarbonate), cyjanowódz, tetraboran disodowy, tlenek miedzi(II), wodorotlenek miedzi, kreozot. W celu poprawy ognioodporności stosuje się np. związki boru, natomiast do zabezpieczenia drewna przed grzybami, owadami, termitami, substancje aktywne, takie jak np. miedź lub chrom. Wiele z tych substancji wykazuje właściwości rakotwórcze, toksyczne dla reprodukcji lub zaburzające funkcjonowanie układu hormonalnego [38]. W wyniku procesu spalania mogą zatem z tej grupy materiałów być uwalniane związki nieorganiczne, takie jak metale ciężkie, częściowe produkty rozkładu związków organicznych, cząstki o zróżnicowanej wielkości, w tym także ultracząstki. Co jest istotne, pyły mogą spalać się płomieniowo, bezpłomieniowo oraz, w przypadku wzburzenia, także wybuchowo.

Proces spalania uwarunkowany jest także czynnikami zewnętrznymi, w tym temperaturą, dostępem tlenu, obecnością innych substancji, takich jak rodniki, katalizatory. Wszystkie te elementy determinują rodzaj procesu spalania, na który mogą składać się takie zjawiska jak tlenie (spalanie bezpłomieniowe) czy też spalanie z wytworzeniem płomienia (spalanie płomieniowe). Tlenie należy do procesów powolnych, zachodzących w warunkach niskiej temperatury. Jest też najbardziej trwałym rodzajem spalania, charakteryzującym się brakiem płomienia. Jedno z ważniejszych zagadnień dotyczących procesu tlenia odnosi się do kierunku rozprzestrzeniania się tlenia w ciałach stałych w odniesieniu do migracji utleniacza. Podczas propagacji do przodu świeży utleniacz przepływa przez substancję zwęglającą i reaguje w strefie zapłonu, a następnie zubożony w utleniacz przechodzi przez pierwotne paliwo, co powoduje, że reakcje utleniania zachodzą z tyłu strefy zapłonu, a piroliza z przodu. W odwrotnej sytuacji, utleniacz przemieszcza się przez pierwotne paliwo i reaguje w strefie tlenia. Dzięki temu zarówno reakcje utleniania, jak i pirolizy zachodzą w przybliżeniu w tym samym miejscu [42].

Poznanie mechanizmów i produktów spalania odgrywa ważną rolę w procesie opracowywania nowych rozwiązań w zakresie poprawy bezpieczeństwa strażaków. Zarówno tlenie, jak i palenie z generowaniem płomienia mają genezę z tego samego procesu, jakim jest piroliza. Jednakże tlenie jest heterogeniczną reakcją materiału palnego z utleniaczem, podczas gdy płomieniowanie jest homogeniczną reakcją paliwa gazowego z utleniaczem, która uwalnia więcej ciepła. Należy pamiętać, że w przypadku każdego

a combustible material in a solid state of matter, such as wood, and generally takes place at lower temperatures and at lower speeds. Partial oxidation products of carbon are quantitatively predominant compared to the composition of flame combustion products. On the other hand, flame combustion refers to the combustion process of the flammable vapour phase and takes place during the combustion of substances that change to a volatile state when heated. This phenomenon is mainly characteristic of organic materials, which decompose and produce flammable vapours and gases due to an increase in temperature. The burning gases and vapours above the surface of the combustible material create a flame. The fusion of combustible material with oxygen is preceded by the thermal decomposition of molecules into atoms that react more easily.

All materials that contain a minimum of 40% carbon will burn, and depending on the conditions, the process must be initiated by suitable external ignition sources – e.g. an open flame, a spark, a hot surface or spontaneous ignition of the material. Ignition refers to the uniform heating of a combustible material to such a temperature that it spontaneously ignites throughout its mass without the contribution of a so-called point energy stimulus. In case of ignition, it refers to the ignition of a combustible mixture by a point energy stimulus. This process takes place in a confined space, with the flame front continuing to move spontaneously over the entire residue of material and this applies to flammable liquids. The last type of determinant of the burning process is spontaneous combustion, which refers to an exothermic process occurring due to biological, physical or chemical changes. The generated heat then ignites the material.

Depending on the composition of the material, a different amount of heat is emitted, which affects the stage of the combustion process. Various products may also be formed, determining the subsequent combustion process. Depending on the presence of the compounds, melting, evaporation, decomposition, oxidation, ignition and burning can take place. Depending on the stage, compounds are emitted that have different chemical nature, biological activity, and thus a variety of impacts on humans and the environment. The dispersed small gaseous and solid particles resulting from the combustion of organic materials, giving them their characteristic colour, odour, taste, density and toxicity, their ability to penetrate and move through the environment, form smoke. It should be noted that blue, white and yellow smoke, with a bitter and sweet taste, indicates the presence of poisonous substances. Products of combustion include volatile combustion products such as carbon oxides, methane, hydrogen, hydrogen sulphide, sulphur dioxide, and solid combustion products such as soot, ash or slag, which vary in composition and properties [38]. Therefore, it is essential to include a full analysis of the environment in which the firefighter-rescuer carries out his or her tasks, putting his or her safety and health at risk. Identifying the elements and how they interact is important for developing the tools needed to protect those involved in an incident.

materiału może wystąpić zarówno tlenie, jak i płonienie, dodatkowo jeden proces może prowadzić do drugiego [43–44]. W specyficznych warunkach może także dojść do gwałtownego utleniania, które zachodzi w bardzo krótkim czasie, czyli wybuchu. Spalanie bezpłomieniowe dotyczy materiału palnego znajdującego się w stałym stanie skupienia, jakim jest np. drewno i przebiega na ogół w niższych temperaturach, z mniejszą prędkością. Wśród produktów spalania w porównaniu do spalania płomieniowego – przeważają ilościowo produkty częściowego utleniania węgla. Spalanie płomieniowe natomiast odnosi się do procesu spalania palnej fazy lotnej i ma miejsce podczas spalania substancji, które podczas ogrzewania przechodzą w stan lotny. Zjawisko to jest charakterystyczne głównie dla materiałów organicznych, które na skutek wzrostu temperatury rozkładają się i wytwarzają pary i gazy palne. Spalające się gazy i pary nad powierzchnią palnego materiału tworzą płomień. Łączenie się materiału palnego z tlenem jest poprzedzone termicznym rozpadem cząsteczek na atomy, które łatwiej wchodzi w reakcje.

Spalaniu ulegają wszystkie materiały, które zawierają minimum 40% węgla, przy czym w zależności od warunków proces ten musi zostać zapoczątkowany przez odpowiednie zewnętrzne źródła zapłonu – np. otwarty płomień, iskrę, gorącą powierzchnię czy też samorzutne zapalenie się materiału. Zapalenie dotyczy równomiernego ogrzania materiału palnego do takiej temperatury, w której zapali się on samorzutnie w całej masie bez udziału tzw. punktowego bodźca energetycznego. W przypadku zapłonu mowa jest o zapaleniu mieszaniny palnej punktowym bodźcem energetycznym. Proces ten ma miejsce w ograniczonej przestrzeni, przy czym czoło płomienia przemieszcza się dalej samoczynnie na całą pozostałość materiału i dotyczy to cieczy palnych. Ostatni rodzaj czynnika warunkującego proces palenia to samozapalenie, które odnosi się do egzotermicznego procesu zachodzącego na skutek zmian biologicznych, fizycznych lub chemicznych. Wytworzone wówczas ciepło powoduje zapalenie się materiału.

W zależności od składu materiału emitowana jest różna ilość ciepła, która wpływa na etapowość procesu spalania. Mogą także powstawać różne produkty, determinujące dalszy przebieg tego procesu. W zależności od obecności związków miejsce mogą mieć topnienie, parowanie, rozkład, utlenienie, zapalenie i palenie. Na poszczególnych etapach emitowane są związki, które mają różny charakter chemiczny, aktywność biologiczną, i tym samym różnorodne oddziaływanie na człowieka i środowisko. Rozproszone małe cząstki gazowe i stałe, powstałe wskutek spalania materiałów organicznych, nadające charakterystyczną barwę, zapach, smak, gęstość i toksyczność, zdolność przenikania i przemieszczania się w otoczeniu, tworzą dym. Należy zaznaczyć, że dym o barwie niebieskiej, białej i żółtej, o smaku gorzkawym i słodkawym, wskazuje na obecność substancji trujących. Produktami spalania są m.in. lotne produkty spalania, takie jak tlenki węgla, metan, wodór, siarkowodór, ditlenek siarki, oraz stałe produkty spalania jak sadza, popiół czy żużel, różniące się składem i właściwościami [38]. Niezbędne jest zatem objęcie pełną analizą środowisko, w którym strażak-ratownik realizuje swoje zadania, narażając swoje bezpieczeństwo i zdrowie. Określenie elementów i ich współoddziaływanie ma istotne znaczenie dla opracowania narzędzi niezbędnych do ochrony osób biorących udział w zdarzeniu.

Personal protective equipment in the rescuer's main protection composition for standard rescue operations

The main protection for the rescuer consists of personal protective equipment [34] designed for the so-called basic activities [6] in rescue operations. Formally, the guidelines in this respect can be found in the regulation of the Minister of Internal Affairs and Administration on detailed conditions of safety and hygiene of service of firefighters of the State Fire Service [45]. These measures are covered by the so-called duties under the regulation of the Minister of Internal Affairs and Administration of 29 September 2021 on the uniforms of firefighters of the State Fire Service [46] as basic individual protection measures. These include special clothing, special gloves, a chimney sweep, firefighters' boots: rubber and leather and a firefighter's helmet, which are among the firefighter's main protective equipment, and special lightweight clothing, technical gloves. The requirements for personal protective equipment are included in the regulation of the Minister of Internal Affairs and Administration of 20 June 2007 on the list of products used to ensure public safety or protection of health and life and property, as well as the rules for issuing admittance of these products for use [47].

In view of the relatively many combination solutions, it should be noted that the term 'main protection' has been used without the so-called 'lightweight special clothing', bearing in mind the kit necessary for use by firefighter-rescuers in almost every intervention. Without the indicated measures, it is practically impossible for a firefighter-rescuer to be admitted to any operations. Waivers in favour of limited protection (lightweight special clothing) can be made after full identification of personal hazards in the incident environment. There may be reservations about the term "special clothing", which is only used in Poland and sometimes it is necessary to use additional explanations in communication with foreign centres, most often by quoting the number of the standard whose requirements it is supposed to meet. A certain explanation can be found in the fact that in the interim period of its introduction, so-called 'moro' clothing was used, and a little later, so-called 'popular clothing', i.e. clothing with a layered construction in which impregnated natural fibre fabrics were used instead of fabrics structurally resistant to the high-temperature environment. It was in clear contrast that special clothing was intended to fulfil the full protective functions for the firefighter covered by EN 469 [48].

The requirement to use harmonised standards for all personal protective equipment was articulated by the introduction of Council Directive 89/686/EEC [49]. Its key message in the context of the creation of the internal market was the integration of health and safety requirements for personal protective equipment (PPE) in all Member States. Analogous to clothing, gloves were named. In accordance with scientific nomenclature and practical use in the world, the authors are of the opinion that personal protective equipment should be called firefighter's clothing or gloves. It is difficult to find references to equipment units described as 'non-special'.

Środki ochrony indywidualnej w składzie ochrony głównej ratownika przeznaczone do standardowych działań ratowniczych

Ochronę główną ratownika stanowią środki ochrony indywidualnej [34] przeznaczone do tzw. czynności podstawowych [6] w działaniach ratowniczych. Formalnie wytyczne w tym zakresie znajdują się w rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie szczegółowych warunków bezpieczeństwa i higieny służby strażaków Państwowej Straży Pożarnej [45]. Środki te objęte są tzw. należnościami wynikającymi z rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 29 września 2021 r. w sprawie umundurowania strażaków Państwowej Straży Pożarnej [46] jako środki ochrony indywidualnej podstawowe. Należą do nich ubranie specjalne, rękawice specjalne, kominiarka, buty strażackie: gumowe i skórzane oraz hełm strażacki, które zaliczają się do środków ochrony głównej strażaka, oraz ubranie specjalne lekkie, rękawice techniczne. Wymagania w zakresie środków ochrony indywidualnej ujęto w rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania [47].

Należy zaznaczyć, że wobec relatywnie wielu kombinacji określenie „ochrona główna” zostało zastosowane bez tzw. ubrania specjalnego lekkiego, mając na uwadze zestaw niezbędny do użytkowania przez strażaków-ratowników w każdej niemal interwencji. Bez wskazanych środków praktycznie nie można dopuścić strażaka-ratownika do jakichkolwiek działań. Odstąpić na rzecz ograniczonej ochrony (ubranie specjalne lekkie) można po pełnym rozpoznaniu zagrożeń personalnych w środowisku zdarzenia. Zastrzeżenia może budzić określenie „ubranie specjalne”, które stosowane jest tylko w Polsce i zdarza się, że w komunikacji z ośrodkami zagranicznymi konieczne jest udzielenie dodatkowych wyjaśnień, najczęściej poprzez przytoczenie numeru normy, której wymagania to ubranie ma spełniać. Pewną podpowiedzią może być fakt, iż w okresie przejściowym jego wprowadzenia używano tzw. odzieży „moro”, a nieco później tzw. „ubrań popularnych”, czyli ubrań o konstrukcji warstwowej, w których stosowano zamiast tkanin strukturalnie odpornych na działanie środowiska wysokich temperatur, impregnowane tkaniny z włókien naturalnych.

To właśnie w wyraźnym odróżnieniu od nich ubrania specjalne miały spełniać na potrzeby strażaka pełne funkcje ochronne objęte normą EN 469 [48]. Wymóg stosowania norm harmonizowanych w odniesieniu do wszelkich środków ochrony osobistej wyartykułowany został przez wprowadzenie do stosowania dyrektywy Rady 89/686/EWG [49]. Jej kluczowym przesłaniem w kontekście powstawania rynku wewnętrznego była integracja wymagań dotyczących zdrowia i bezpieczeństwa w zakresie środków ochrony indywidualnej we wszystkich państwach członkowskich. Analogicznie do ubrań nazwano rękawice. Autorzy stoją na stanowisku, iż środki ochrony indywidualnej powinny, zgodnie z nomenklaturą naukową oraz praktycznym zastosowaniem w świecie, nosić nazwę ubrań czy też rękawic strażackich. Trudno jest znaleźć

PPE is currently defined in Regulation (EU) 2016/425 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2016 on personal protective equipment and repealing Council Directive 89/686/EEC [35], Article 3 p.1) "personal protective equipment" (PPE) means: "a means designed and manufactured to be worn or held by a person for protection against one or more risks to that person's health or safety". The same Article 3 indicates that, formally, all interchangeable elements of the indicated measures and connection systems are to be treated as PPE. These provisions can be applied to all applications, even though the Regulation mentioned above indicates that the definitions in Article 3 are developed for the purposes of this document.

Due to the situation of threats to peace and the construction of rescue structures with these in mind, it is worth emphasising that a line of separation between the requirements for individual protection equipment for civilian units and those for military rescue units is still being maintained in fire protection units – despite the rise of military rescue structures in the world and in the country. Explicit provisions highlighting this fact are included in both documents. Despite such formal regulations, military structures (Military Fire Protection and others) use solutions, including requirements for equipment and their admittance system, that apply universally in civilian fire protection.

The requirements and test methods are contained in the relevant standards operating respectively in all systems. In addition, requirements taking into account the additional characteristics of equipment units and the detailing necessary under national conditions appear in the regulations developed accordingly, on the basis of which items of equipment are admitted for use in fire protection. Organisational systems for testing and the resulting certificates of admittance are developed for this implementation.

Not only because of the role of covering a relatively large body surface and the associated environmental exposure, but also to reduce personal risk, special clothing is important. Their characteristics are defined by the provisions set out in the relevant standards (see Table 5).

The standard requirements are the threshold parameter values necessary to achieve in the admittance system [50]. Meeting the requirements of the standard is a necessary, but not necessarily sufficient, condition. Often, admittance for the market and in fire protection unit (JOP) applications [51] requires additional conditions. It is becoming increasingly common practice for JOP firefighter-rescuers to reach for garments with significantly higher specifications than those posted in the standard. In addition, attention is drawn to performance capabilities and characteristics not included in the admittance documents. The quality of workmanship and level of technological sophistication are playing an increasingly important role.

wzmianki na temat jednostek sprzętowych określanych jako „nie specjalne”.

Obecnie środki ochrony indywidualnej definiowane są w rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 z dnia 9 marca 2016 r. w sprawie środków ochrony indywidualnej oraz uchylecia dyrektywy Rady 89/686/EWG [35], artykule 3 p.1). Oznaczają: „środki zaprojektowane i wyprodukowane do noszenia lub trzymania przez osobę w celu ochrony przed jednym lub większą liczbą zagrożeń dla zdrowia lub bezpieczeństwa tej osoby”. W tym samym artykule 3 wskazano, iż formalnie wszystkie elementy wymienne wskazanych środków oraz systemy przyłączy należy traktować jak środki ochrony indywidualnej. Zapisy te można odnosić do wszelkich zastosowań, mimo iż w ww. rozporządzeniu wskazuje się, że definicje ujęte w artykule 3 opracowane są na potrzeby tego dokumentu.

Ze względu na sytuację zagrożeń pokoju i konstruowaniu z ich uwzględnieniem struktur ratowniczych warto podkreślić, iż w dalszym ciągu w jednostkach ochrony przeciwpożarowej – mimo rosnących w świecie i w kraju struktur ratowniczych militarnych – utrzymana jest linia oddzielenia wymagań środków ochrony indywidualnej wobec jednostek cywilnych od wymagań dla jednostek ratowniczych wojskowych. Wyraźne zapisy podkreślające ten fakt zawarte są w obu dokumentach. Mimo takich formalnych regulacji w strukturach wojskowych (Wojskowa Ochrona Przeciwpożarowa i inne) używa się rozwiązań, w tym wymagań wobec wyposażenia i systemu ich dopuszczania, mających zastosowanie powszechne w cywilnej ochronie przeciwpożarowej.

Wymagania oraz metody badań zawarte są w odpowiednich normach funkcjonujących odpowiednio we wszystkich systemach. Ponadto wymagania uwzględniające dodatkowe właściwości jednostek sprzętowych oraz niezbędne w warunkach krajowych uszczegółowienia pojawiają się w opracowanych odpowiednio przepisach, na podstawie których elementy wyposażenia dopuszczane są do eksploatacji w ochronie przeciwpożarowej. W tym celu wypracowane są systemy organizacyjne badań i wydawanych na ich podstawie świadectw dopuszczenia.

Istotne nie tylko ze względu na rolę okrywania relatywnie dużej powierzchni ciała i z nim związanej ekspozycji na działania czynników środowiska, ale również ograniczanie ryzyka personalnego, są ubrania specjalne. Ich właściwości określają zapisy przedstawione w odpowiednich normach (zob. tabela 5).

Wymagania normowe stanowią progowe wartości parametrów niezbędne do osiągnięcia w systemie dopuszczenia [50]. Warunkiem koniecznym, ale niekoniecznie wystarczającym, jest spełnienie wymagań normy. Często dopuszczenie do rynku i zastosowań w jednostkach ochrony przeciwpożarowej (JOP) [51] wymaga spełnienia dodatkowych warunków. Coraz szerszą praktyką wyposażania strażaków-ratowników JOP jest sięganie po ubrania o znacznie wyższych parametrach niż zamieszczone w normie. Ponadto zwraca się uwagę na możliwości eksploatacyjne i właściwości nieujęte w dokumentach dopuszczenia. Coraz większą rolę odgrywają jakość wykonania i poziom zaawansowania technologicznego.

Table 5. Standard requirements for special clothing. Overview of the requirements and standards to which firefighter's clothing is tested
Tabela 5. Wymagania normowe ubrań specjalnych. Zestawienie wymagań oraz norm, według których wykonuje się badania ubrań strażackich

Test parameter / Badany parametr	Value of the parameter / Wartość parametru	Test method / Metoda badania
	Special clothing in accordance with EN 469. Performance level 2 / Ubranie specjalne zgodne z PN-EN 469. Poziom wykonania 2	
Resistance to heat transfer from the flame / Odporność na przenikanie ciepła od płomienia	HTI24 \geq 13.0 HTI24 – HTI12 \geq 4.0	PN-EN 15025
Resistance to radiative heat transfer / Odporność na przenikanie ciepła od promieniowania	RHTI24 \geq 18.0 RHTI24 – RHTI12 \geq 4.0 Radiation density 40 KW/m ² / Gęstość promieniowania 40 KW/m ²	PN-EN ISO 6942
Flame propagation / Rozprzestrzenianie płomienia	Index 3 / Wskaźnik 3	PN-EN 15025 PN-EN 533
Tensile strength / Wytrzymałość na rozciąganie	\geq 450 N Seams \geq 225 N / Szwy \geq 225 N	PN-EN 13934-1 method 1 PN-EN 13935-2
Resistance to tearing / Wytrzymałość na rozerwanie	\geq 25	
Resistance to heat / Odporność na ciepło	No melting, no dripping, shrinkage \leq 5% / Brak topienia, kroplenia, kurczliwość \leq 5%	PN-EN 17493
Resistance to penetration of liquid chemicals / Odporność na przesiąkanie płynnych chemikaliów	Wettability \leq 80% / Zwilżalność \leq 80%	PN-EN 6530
Resistance to water penetration / Odporność na przesiąkanie wody	$2 \geq$ 20 kPa	PN-EN 20811
Water vapour resistance / Opór pary wodnej	$2 \leq$ 30 m2 Pa/W	PN-EN 31092
Visibility / Widzialność	Reflective strips \geq 0.13 m ² Fluorescent stripes \geq 0.20 m ² / Pasy odbłaskowe \geq 0.13 m ² Pasy fluorescencyjne \geq 0.20 m ²	PN-EN 471
Thermal resistance / Opór cieplny	Not tested / Nie bada się	PN-EN 31092
Change in dimensions after washing, cleaning / Zmiana wymiarów po praniu czyszczeniu	\leq 3%	PN-EN ISO 5077 1

Source: Own elaboration based on PN-EN ISO 11399:2005.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 11399:2005.

The vast majority of operations are carried out by the rescuers in the kit defined by EN 469 [52], EN 15614 [53] changed in 2020 to EN 15384 [54]. The clothing, with a construction based on EN 469 [52], is a multilayer fabric system dedicated to all rescue operations with a key role in fighting fires with wide emissions in the area of external fires as well as internal fires. The complete special clothing consists of two parts, i.e. a ¾ length jacket and trousers with a multi-layer construction. The garments are made of materials that provide the firefighter with protection when their life or health is at risk. Their main function is to provide the firefighter-rescuer with effective protection against hot steam and flames, among other things. A high level of resistance to the

Zdecydowana większość działań wykonywana jest przez ratowników w zestawie określonym normami PN-EN 469 [52], PN-EN 15614 [53] zmienionej w 2020 roku na EN 15384 [54]. Ubranie o konstrukcji opartej o PN-EN 469 [52] stanowi układ tkaninowy wielowarstwowy przeznaczony do wszystkich działań ratowniczych z kluczową rolą zwalczania pożarów o szerokiej emisji w zakresie pożarów zewnętrznych oraz do pożarów wewnętrznych. Kompletne ubranie specjalne składa się z dwóch części, tj. z kurtki długości ¾ i spodni o konstrukcji wielowarstwowej. Ubrania wykonywane są z materiałów, które zapewniają strażakowi ochronę w chwili zagrożenia jego życia lub zdrowia. Główną ich funkcją jest zapewnienie strażakowi-ratownikowi

effects of heat before burns, as well as against acids, alkalis and fuels, is also required. At the same time, it protects the rescuer from wetness and wind, enabling thermoregulation of the human body through its ability to wick away sweat and heat generated from exertion and stress. A key role in the protective mechanism is played by the thermoregulation system based on the properties of the individual fabrics. Assuming that hot microclimates have the most destructive effect on the body, the main focus is on protection against them. The thermal energy flux from the environment passes through the outer material, moisture barrier, insulation layer and lining towards the surface to the rescuer's body (assuming the rescuer is wearing underwear) (see Figure 4).

skutecznej ochrony między innymi przed gorącą parą wodną i płomieniami. Wymagana jest także wysoka odporność na działanie czynników gorących (ochrona przez poparzeniami), jak również przed działaniem kwasów, zasad i paliw. Jednocześnie zabezpiecza ratownika przed przemoczeniem i wiatrem, umożliwiając termoregulację ludzkiego organizmu poprzez zdolność odprowadzenia na zewnątrz potu i ciepła wytwarzanego w wyniku wysiłku i stresu. Kluczową rolę w mechanizmie ochronnym pełni system termoregulacji oparty na właściwościach poszczególnych tkanin. Zakładając że najbardziej destrukcyjny wpływ na organizm ma działanie mikroklimatu gorącego, główny nacisk położony jest na ochronę przed nim. Strumień energii cieplnej z otoczenia przechodzi przez materiał zewnętrzny, barierę przeciwwilgociową, warstwę izolacji i podszewkę w kierunku powierzchni do ciała ratownika (w założeniu ratownik nosi na sobie bieliznę) (zob. ryc. 4).

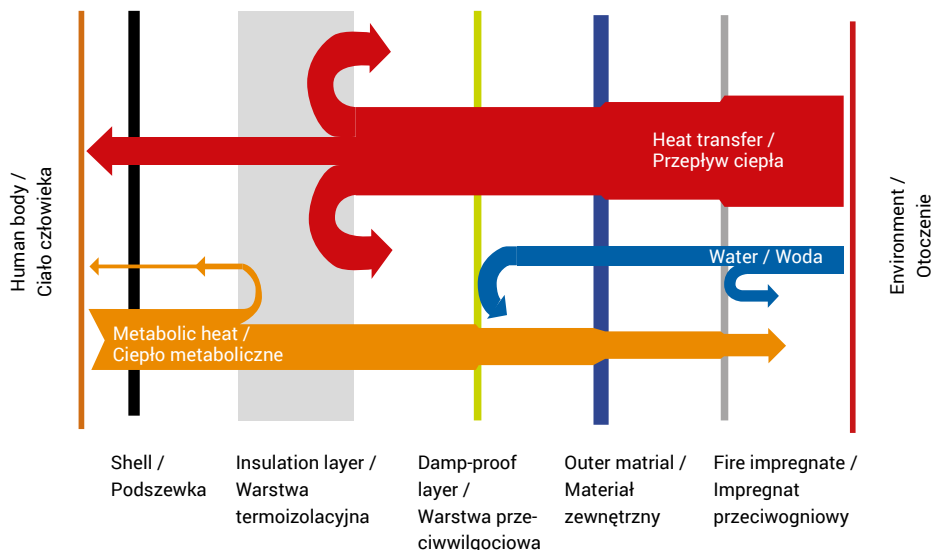


Figure 4. Distribution of energy exchange during the impact of heat streams on a rescuer in a special firefighter's suit
Rycina 4. Rozkład wymiany energii w trakcie oddziaływania strumieni ciepłych na ratownika w ubraniu specjalnym strażackim

Source / Źródło: R. Wolański., *Technologia i materiały do produkcji ochron termicznych przed promieniowaniem podczerwym i mikrofalowym*, rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza. Kraków 2008 [29].

When working in a hot environment, sweat is secreted from the rescuer's body surface to maintain thermal balance. In cases of no or limited sweat secretion, there is a risk of heat stress. Sweat, as it evaporates from the underwear, from the space between the body and the underwear, the underwear and the lining and the lining and the insulating layer, passes through the membrane towards the outer layer. In the mechanism of transporting moisture from the body towards the outside, the membrane plays a key role. Its pores on the side of the body expand so that the particles can pass towards the outside. In this way, excess moisture generated during the firefighter's work is removed. In the reverse direction, i.e. on the side of the operating environment, in many cases a hot environment, moisture

W trakcie pracy wykonywanej w środowisku gorącym, w celu zachowania równowagi termicznej, z powierzchni ciała ratownika wydzielany jest pot. Gdy pot nie występuje lub jego ilość jest ograniczona, pojawia się zagrożenie stresem gorącym. Pot, gdy odparowuje z bielizny, z przestrzeni pomiędzy ciałem a bielizną, bielizną a podszewką oraz podszewką a warstwę izolacyjną, przechodzi przez membranę w kierunku warstwy zewnętrznej. W mechanizmie transportu wilgoci od strony ciała w kierunku zewnętrznym, kluczową rolę pełni membrana. Jej pory od strony ciała rozszerzają się tak, by cząstki mogły przedostać się w kierunku zewnętrznym. W ten sposób nadmiar wilgoci generowany w trakcie pracy strażaka jest usuwany. W kierunku odwrotnym, tj. od strony środowiska działania, w wielu przypadkach środowiska gorącego, wilgoć nie

does not pass towards the insulating layer, because the shape of the membrane pore geometry blocks this tendency.

The most recent standard EN 469:2021 [52] and its earlier equivalents, specifying the performance requirements for firefighter's clothing, has, since its first edition in 1995, set very high requirements in terms of, among other things, insulation, resistance to heat and heat transmission from flame and radiation, resistance to liquid chemical seepage or water seepage, flame spread, tensile and tear strength, water vapour resistance or visibility. Parameters such as flame heat transfer [55] and radiant heat transfer [56] are also covered by normative requirements (see Table 5).

Summary and conclusions

The work of a firefighter-rescuer involves many risks, including, but not limited to, health risks as a result of being in difficult, often extreme conditions. The analysis of the present risks has to be multifaceted, as psychological pressure, high unnatural temperatures, high concentrations of pollutants, often with high toxic and even carcinogenic potential, can all occur at any one time. Therefore, it is necessary to prepare tools to minimise the negative effects of such exposures. The used clothing must meet the relevant requirements for resistance to external agents. One of the key elements of a rescue firefighter's main protection is the so-called 'special clothing'. Its basic variant is clothing known as heavy (as opposed to 'light' – wildland fire suit). Its optimal design, taking into account the versatility of the application, is the focus of attention from the operations, scientific and industrial communities. Today's tactical field conditions, abounding in a wide range of microclimate environments, with a virtually infinite set of performed activities, stimulate an imperative for innovation in reducing health and life hazards for firefighter-rescuers. The issues identified in the article in terms of guidelines and the conditions to which firefighters are exposed set the scene for innovation and modification so as to enable the best possible protection and personal safety in rescue interventions.

Literature / Literatura

- [1] Dyrektywa Komisji (UE) 2019/1832 z dnia 24 października 2019 r. zmieniająca załączniki I, II i III do dyrektywy Rady 89/656/EWG w odniesieniu do dostosowań o charakterze czysto technicznym (Dz.Urz. UE L 279/35, 31.10.2019).
- [2] Rozporządzenie Ministra Rodziny i Polityki Społecznej z dnia 4 listopada 2021 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz.U. 2021 poz. 2088).
- [3] Załącznik I Dyrektywy Komisji (UE) 2019/1832 z dnia 24 października 2019 r. zmieniająca załączniki I, II i III do dyrektywy Rady 89/656/EWG.
- [4] Stankiewicz G., Wardak D., Krasowski T., Kołodziejczak M., Banasiak A., Kuśmirek J., Kokot-Góra S., Rozwadowska Ł., Przewoźniak D., *Regulamin rozwinięć samochodów ratowniczo-gaśniczych*, Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej, Warszawa 2016.

przechodzi w kierunku warstwy izolacyjnej, ponieważ ukształtowanie geometrii porów membrany blokuje tę tendencję.

Najnowsza norma PN-EN 469:2021 [52] oraz wcześniejsze jej odpowiedniki, określające wymagania użytkowe dla ubrań strażackich, od pierwszego wydania w 1995 r. stawia bardzo wysokie wymogi pod względem m.in. izolacyjności, odporności na ciepło i przenikanie ciepła od płomienia i promieniowania, odporności na przesiąkanie płynnych chemikaliów czy też przesiąkanie wody, rozprzestrzenianie płomienia, wytrzymałość na rozciąganie i rozerwanie, opór pary wodnej czy też widzialność. Również takie parametry, jak przenikanie ciepła od płomienia [55] czy przenikania ciepła od promieniowania [56], objęte są wymaganiami normatywnymi (zob. tabela 5).

Podsumowanie i wnioski

Praca strażaka-ratownika związana jest z wieloma zagrożeniami, w tym m.in. zdrowotnymi, będącymi efektem przebywania w trudnych, często ekstremalnych warunkach. Analiza występujących zagrożeń musi być wieloaspektowa, gdyż w jednej chwili zaistnieć mogą: presja psychiczna, wysoka nienaturalna temperatura, wysokie stężenia zanieczyszczeń, niejednokrotnie o wysokim potencjale toksycznym, a nawet rakotwórczym. Niezbędne jest zatem przygotowanie narzędzi, które pozwolą na minimalizację negatywnych skutków takich ekspozycji. Stosowane ubrania muszą spełniać odpowiednie wymagania w zakresie odporności na czynniki zewnętrzne. Jednym z kluczowych elementów ochrony głównej strażaka ratownika jest tzw. „ubranie specjalne”. Podstawową jego odmianą jest ubranie nazywane ciężkim (w odróżnieniu od „lekkiego” – ang. *wildland fire suit*). Wokół jego optymalnej konstrukcji, uwzględniającej uniwersalizm zastosowania, skupia się uwaga środowisk eksploatacji, nauki i przemysłu. Współczesne warunki pola taktycznego, obfitując w szeroki wachlarz mikroklimatu środowisk, przy praktycznie nieskończonym zbiorze wykonywanych czynności, stymulują imperatyw innowacji w ograniczaniu zagrożeń zdrowia i życia strażaków-ratowników. Wskazane w artykule zagadnienia w zakresie wytycznych oraz warunków, na które strażak jest narażony, wyznaczają kierunki innowacji i modyfikacji tak, aby umożliwić jak najlepszą ochronę i bezpieczeństwo personalne w interwencjach ratowniczych.

- [5] Wolański R.M., Chwała W., Giełzecki J., Kupicz W., Luzar A., *Znaczenie taktyczne samochodów ratowniczo-gaśniczych, w: Wybrane aspekty bezpieczeństwa i ergonomii użytkownika sprzętu na samochodach pożarniczych*, D. Miedzińska, P. Rybak (red.), Wyd. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2022.
- [6] Rozporządzenie Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 września 2021 r. w sprawie szczegółowej organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz.U. 2021 poz. 869).
- [7] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz.U. 1991 Nr 81, poz. 351).
- [8] SWD-PSP-Podręcznik użytkownika Systemu SWD-ST Abakus Systemy Teleinformatyczne Sp. z o.o. 2014.
- [9] Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej, <https://www.gov.pl/web/kgpsp/karty-oceny-ryzyka-zawodowego> [dostęp: 10.09.2022].
- [10] Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 9 czerwca 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Kodeks pracy (Dz.U. 2022 poz. 1510).
- [11] Szopa T., *Niezawodność i bezpieczeństwo*, Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2016.
- [12] Wykowska M., *Ergonomia*, Wyd. AGH, Kraków 2016, http://www.ergonomia.agh.edu.pl/Skrypt_Ergonomia-M.Wykowska/ergonomia/index.htm-24.10.22 [dostęp: 09.10.2022].
- [13] Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy <http://archiwum.ciop.pl/27580> [dostęp: 09.10.2022].
- [14] Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy. Międzynarodowa karta charakterystyki zagrożeń zawodowych. Strażak. https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?_nfpb=true&pageLabel=P7200142851340545953779&html_tresc_root_id=19019&html_tresc_id=18999&html_klucz=19019&html_klucz_spis= [dostęp: 09.10.2022].
- [15] PN-EN-ISO-11079:2008-Ergonomia środowiska termicznego – Wyznaczanie i interpretacja stresu termicznego wynikającego z ekspozycji na środowisko zimne z uwzględnieniem wymaganej izolacyjności cieplnej odzieży (IREQ) oraz wpływu wychłodzenia miejscowego.
- [16] Sudoł-Szopinska M., Chojnacka A., *Określanie warunków komfortu termicznego w pomieszczeniach za pomocą wskaźników PMV i PPD*, „Bezpieczeństwo Pracy” 2007, 5, 19–23.
- [17] Projekt INNOS: O ROB/0011/03/001 Opracowanie innowacyjnego systemu stanowisk do badań ochron osobistych.
- [18] Butler B.W., Cohien J.D., *Firefighter Safety Zones: a Theoretical Model Based on Radiative Heating*, “International Journal of Wildland Fire” 1998, 8(2), 73–77.
- [19] Barker R.L., *A Review of Gaps and Limitations in Test Methods for First Responder Protective Clothing And Equipment. Final report presented to the National Personal Protection Technology Laboratory at the National Institute for Occupational Safety and Health*, January 31, 2005, 37.
- [20] Ali H.M.A., Mohammed R., *A review of the firefighting fabrics for flashover temperature*, “International Journal of Engineering Sciences & Research Technology” 2015, 4(3), 247–257.
- [21] Wiśniewski T.S., *Wymiana ciepła w ochronach osobistych strażaków*, Wyd. Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Warszawska, Warszawa 2016.
- [22] Behnke W.P., *Predicting Flash Protection of Clothing from Laboratory Test Using Second-Degree Burn to Rate Performance*, “Fire and Materials” 1984, 8, 6–12.
- [23] Veghte J.H., Ph.D., *Physiologic Response of Fire Fighters Wearing Structural and Hazmat Protective Clothing*, *Second Annual Conference on Protective Clothing*, Clemson University, May 1988.
- [24] Abbott N.J., Shulman S., *Protection from Fire: Nonflammable Clothing – A Review*, “Fire Technology” 1976, 12, 204–218.
- [25] Foster J.A.: Roberts G.V., *Measurements of the Firefighter Environment-Summary Report*, “Fire Engineers Journal” 1995, 55, 30–34.
- [26] Hoschke B.N. *Standards and Specificants for Firefighters*, “Fire Safety Journal” 1981, 4, 125–137.
- [27] Kutlu B., Cireli A.A., *Thermal Analysis and Performance Properties of thermal protective clothing*, “Fibers & Textiles in Eastern Europe” 2005, 13, 3(51), 58–62.
- [28] Guzewski P., Wróblewski D., Małozieć D., *Czerwona Księga Pożarów, T 1 i 2*, Wyd. CNBOP-PIB, Józefów, <https://doi.org/10.17381/2016.4.2>.
- [29] Wolański R., *Technologia i materiały do produkcji ochron termicznych przed promieniowaniem podczerwonym i mikrofalowym*, Rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2008.
- [30] Gagnon B. D., Dembsey N. A., Keltner N. R., Lucht D. A., *Evaluation of New test Methods for Fire Fighting Clothing*, Worcester Polytechnic Institute, May 2000.
- [31] Horn P.G., Kerber S., Andrews J., Kesler R.M., Newman H., Stewart J.W., Fent K.W., Smith D.L., *Impact of Repeated Exposure and Cleaning on Protective Properties of Structural Firefighting Turnout Gear*, “Fire Technology” 2021, 57, 791–813. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01021-w>.
- [32] Zhang H., Song G., Gu Y., Ren H., Cao J., *Effect of moisture content on thermal protective performance of fabric assemblies by a stored energy approach under flash exposure*. “Textile Research Journal” 2017, 88(16), <https://doi.org/10.1177/0040517517712097>.
- [33] Zieliński L., *Wskaźnik siły chłodzącej powietrza (WCI). Warunki pracy. BHP w środowisku pracy*, <https://www.portalbhp.pl/bhp-w-srodowisku-pracy/wskaznik-sily-chlodzacej-powietrza-wci-2644.html> [dostęp: 09.10.2022].
- [34] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286).
- [35] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady 2016/425/UE z dnia 9 marca 2016 r. w sprawie środków ochrony indywidualnej oraz uchylecia dyrektywy Rady 89/686/EWG.
- [36] Wroński J., *Warunki pracy: Jak chronić pracowników przed zimnem*, w: *BHP w firmie*, 2021, 47–56.
- [37] Rozporządzenie ministra rodziny, pracy i polityki społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych

- dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018, poz. 1286).
- [38] Rabajczyk A., Zielecka M., Małozieć D., *Hazards Resulting from the Burning Wood Impregnated with Selected Chemical Compounds*, "Applied Sciences" 2020, 10, 6093, <https://doi.org/10.3390/app10176093>.
- [39] Baysal E., Deveci I., Turkoglu T., Tokar H., *Thermal analysis of oriental beech sawdust treated with some commercial wood preservatives*, "Maderas. Ciencia y Tecnología" 2017, 19, 329–338.
- [40] Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council of 16 February 1998 concerning the placing of biocidal products on the market.
- [41] Regulation (Eu) No 528/2012 Of The European Parliament And Of The Council Of 22 May 2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products (Dz. Urz. UE L 167/1, 27.6.2012).
- [42] Shrivastava P., Baweja C., Nalawade H., Kumar A.V., Ramanan V., Malhotra V., *An Experimental Insight into the Smoldering-Flaming Transition Phenomenon*, "Journal of Combustion" 2017, 2017, <https://doi.org/10.1155/2017/4062945>.
- [43] Rein G., *Smoldering combustion*, w: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, M.J. Hurley, D. Gottuk, J.R. Hall i in., Wyd. Springer, New York 2016, 581–603.
- [44] Santoso M.A., Huang X., Prat-Guitart N. i in., *Smouldering fires and soils*, w: *Fire Effects in Soil Properties*, P. Pereira, J. Mataix-Solera, X. Úbeda i in., Wyd. CSIRO Clayton, Canberra 2019, 203–216.
- [45] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 31 sierpnia 2021 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpieczeństwa i higieny służby strażaków Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U. 2021 r., poz. 1681).
- [46] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 29 września 2021 r. w sprawie umundurowania strażaków Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U. 2021, poz. 179).
- [47] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (Dz.U. 2007 Nr 143, poz. 1002).
- [48] EN 469 Protective clothing for firefighters – Performance requirements for protective clothing for firefighting activities. 2020. CSN EN Standard.
- [49] Dyrektywa Rady 89/686/EWG (PPE) – Środki ochrony indywidualnej.
- [50] Wróblewski D. (red), *Czerwona księga świadectw dopuszczenia*, Wyd. CNBOP-PIB, Józefów 2016, <https://doi.org/10.17381/2016.5>.
- [51] Ustawa o ochronie przeciwpożarowej z dn. 24 sierpnia 1991 r. (Dz.U. 2022, poz. 2057).
- [52] PN-EN 469. Odzież ochronna dla strażaków – Wymagania użytkowe dotyczące odzieży ochronnej przeznaczonej do akcji przeciwpożarowych.
- [53] PN-EN 15614 Odzież ochronna dla strażaków – Metody badań laboratoryjnych oraz wymagania dla odzieży ochronnej używanej przy pożarach w przestrzeni otwartej.
- [54] EN ISO 15384 Protective clothing for firefighters – Laboratory test methods and performance requirements for wildland firefighting clothing. CSN EN Standard. 2018.
- [55] PN-EN-367 Odzież ochronna – Ochrona przed ciepłem i płomieniem – Metoda wyznaczania przenikania ciepła przy działaniu płomienia.
- [56] PN-EN ISO 6942 Odzież ochronna – Ochrona przed gorącym i ogniem – Metoda badania: Ocena materiałów i zestawów materiałów poddanych działaniu promieniowania cieplnego.

PROF. ANNA RABAJCZYK, D.SC. – graduate of the Institute of Chemistry at the Higher School of Pedagogy in Kielce (now: Jan Kochanowski University in Kielce). She received her PhD in chemistry from the Department of Chemistry at the University of Opole in 2000 and her habilitation degree from the Wrocław University of Technology in 2011. She was awarded a professorship in 2022 in the area of environmental engineering, mining and energy. She specialises in environmental engineering. Expert in carbon and water footprint calculations. Ecomediator on sustainability. Research interests are related to the areas of environmental chemistry, nanotechnology, biotechnology and their application in environmental engineering, including neutralisation and removal of pollutants, clean-up of contaminated areas. Manager and member of teams implementing projects and grants funded from national (NCN, NCBR, MNiSW) and foreign (USA, EU) sources, both scientific, implementation, teaching and investment. She has received foreign scholarships (USA, Norway, Ireland). She has been and is a member of expert panels, organising committees and scientific committees of national and international

PROF. DR HAB. ANNA RABAJCZYK – absolwentka Instytutu Chemii Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Kielcach (obecnie: Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach). W 2000 r. uzyskała stopień doktora nauk chemicznych na Wydziale Chemii Uniwersytetu Opolskiego, a w 2011 r. stopień doktora habilitowanego na Politechnice Wrocławskiej. W 2022 r. otrzymała tytuł profesora w dziedzinie: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Specjalność – inżynieria środowiska. Ekspert w zakresie kalkulacji śladu węglowego i wodnego. Ekmediator w zakresie zrównoważonego rozwoju. Zainteresowania badawcze związane są z obszarem chemii środowiska, nanotechnologii, biotechnologii i ich zastosowania w inżynierii środowiska, w tym neutralizacji i usuwaniu zanieczyszczeń, oczyszczaniu obszarów skażonych. Kierownik oraz członek zespołów realizujących projekty i granty finansowane ze źródeł krajowych (NCN, NCBR, MNiSW) i zagranicznych (USA, EU), zarówno naukowych, wdrożeniowych, dydaktycznych, jak i inwestycyjnych. Otrzymała stypendia zagraniczne (USA, Norwegia, Irlandia). Była i jest członkiem zespołów eksperckich, komitetów organizacyjnych oraz komitetów naukowych konferencji i kongresów krajowych i zagranicznych.

conferences and congresses. The results of the research have been published in more than eighty publications (mostly in journals on the Philadelphia List) and monographs, studies commissioned by external bodies, and presented in lectures at many national and international conferences and seminars conducted by invitation.

SEN. BRIG. (RETD.) ROBERT WOLAŃSKI, PH.D. ENG. – employee of the Fire Service College of the State Fire Service in Cracow, Department of Civil and Cultural Protection Training Centre. Graduate of the AGH University of Science and Technology in Kraków, officer studies at the Main School of Fire Service, postgraduate studies in the area of wheeled vehicle operation (Higher Officers' Car School in Piła) and road accident expertise (Cracow University of Technology with the Institute of Forensic Expertise). He defended his doctoral thesis on infrared and microwave thermal protection technologies and materials at the Faculty of Materials Engineering and Ceramics of the AGH University of Science and Technology. Parallel to his teaching activities he carries out scientific work within the scope of projects and individual research. He cooperates with research teams from both universities and recognised institutes. He focuses on safety engineering issues with a particular emphasis on rescuer safety. He is the author of a number of publications and a reviewer for recognised publications. In innovation activities, he is the co-author of the patent "Method of manufacturing ceramic layers on fabric". He has initiated the organisation of a number of conferences and seminars aimed at presenting and exchanging scientific and technical ideas in the area of progressive structures, technologies and organisational solutions for reducing the risk of rescue operations. Currently, as a member of staff at the Centre for Education in the Protection of People and Cultural Property at SAPSP Krakow, he continues to promote, educate and develop initiatives in the area of protection of cultural heritage.

Wyniki badań zostały opublikowane w ponad osiemdziesięciu publikacjach (w większości w czasopismach z Listy Filadelfijskiej) i monografiach, opracowaniach przygotowywanych na zlecenie jednostek zewnętrznych, i prezentowane podczas wystąpień na wielu konferencyjnych krajowych i zagranicznych oraz seminariach prowadzonych na zaproszenie.

ST. BRYG. W ST. SP. DR INŻ. ROBERT MARCIN WOLAŃSKI – pracownik Szkoły Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie, Wydziału Centrum Szkolenia Ochrony Ludności i Dóbr Kultury. Absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, studium oficerskiego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, studiów podyplomowych z zakresu eksploatacji pojazdów kołowych (Wyższa Oficerska Szkoła Samochodowa w Pile) oraz ekspertyz wypadku drogowego (Politechnika Krakowska z Instytutem Ekspertyz Sądowych). Obronił pracę doktorską z zakresu technologii i materiałów do produkcji ochron termicznych przed promieniowaniem podczerwonym i mikrofalowym na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej. Prowadzi równoległe z działalnością dydaktyczną prace naukowe w ramach projektów i badań indywidualnych. Współpracuje z zespołami badawczymi zarówno uczelni wyższych, jak i uznanych instytutów. Koncentruje się na zagadnieniach inżynierii bezpieczeństwa ze szczególnym uwzględnieniem bezpieczeństwa ratowników. Jest autorem szeregu publikacji i recenzentem uznanych wydawnictw. W działalności innowacyjnej jest współautorem patentu „Sposób wytwarzania ceramicznych warstw na tkaninie”. Jest inicjatorem organizacji szeregu konferencji i seminariów ukierunkowanych na prezentację i wymianę myśli naukowo-technicznej w obszarze progresywnych konstrukcji, technologii i rozwiązań organizacyjnych w zakresie ograniczenia ryzyka prowadzenia działań ratowniczych. Obecnie jako pracownik Centrum Kształcenia Ochrony Ludności i Dóbr Kultury w SAPSP Kraków kontynuuje swoją działalność promowania, edukacji i rozwoju inicjatyw w zakresie ochrony dziedzictwa kulturowego.