

st. bryg mgr inż. Dariusz Czerwienko

dr inż. Jacek Roguski

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej –

Państwowy Instytut Badawczy

Koncepcja rozwoju ochron osobistych

Streszczenie

Wyposażenie strażaka w środki ochrony indywidualnej jest warunkiem koniecznym podczas działań gaśniczo-ratowniczych. Do tego typu środków zalicza się m.in.: środki ochrony oczu i twarzy, głowy, słuchu, układu oddechowego, a także odzież. Podstawową cechą ubrania specjalnego jest wielofunkcyjność, która oznacza zdolność maksymalnie skutecznej ochrony użytkownika przed zróżnicowanymi zewnętrznymi niebezpieczeństwami występującymi w środowisku pracy strażaka. Jeśli odzież zapewnia w bardzo szerokim zakresie skuteczną ochronę strażaka przed różnorodnymi zagrożeniami, mówi się wtedy o ubraniu specjalnym, które stanowi podstawowe ubranie ochronne strażaka. Składa się ono najczęściej z dwóch części: kurtki oraz spodni. Aby ubranie specjalne zabezpieczało użytkownika w tych wszystkich niesprzyjających warunkach, niezwykle ważną kwestią jest odpowiedni dobór materiałów i konstrukcji ubrania specjalnego, które będzie zapewniać odpowiedni komfort pracy, poprzez spełnienie szeregu wymagań dotyczących parametrów związanych z termoregulacją organizmu, wodoodpornością, paroprzepuszczalnością czy wytrzymałością mechaniczną. Duże znaczenie ma również komfort użytkowania, aby ubranie nie podrażniało skóry, nie ograniczało ruchów albo swoim ciężarem nie przyczyniało się do dodatkowego wysiłku. Wszystkie wymagania dotyczące wyrobów z grupy sprzętu ochrony osobistej (ang. PPE – *Personal Protective Equipment*) podlegają aktom prawnym i zostały szczegółowo opisane w normach. W krajach należących do Unii Europejskiej standardy zostały ujednolicone i zawarte są w tzw. normie europejskiej (EN). Odzież ochronna powinna kompleksowo zabezpieczać przed zagrożeniami, co oznacza, ochronę od zewnątrz jak i od wewnątrz. W dużym uproszczeniu, przez ochronę od zewnątrz rozumie się warstwę ubrania jako barierę przed oddziaływaniem ciepłe w różnych postaciach wodą, substancjami chemicznymi, natomiast ochrona wewnętrzna jest rozumiana jako oddychalność.

Podczas akcji ratowniczych strażakom towarzyszy stres, pośpiech i wzmożony wysiłek fizyczny. Aby nie doprowadzić do przegrzania organizmu, wytwarza on ciepło i pot. Zbyt szczelna warstwa materiału może powodować niebezpieczne skutki. Jednymi z nich są poparzenia, które tworzą się na skutek braku ochrony przed żarem, w wyniku namakania przez pot materiału znajdującego się bezpośrednio w kontakcie ze skórą. Kolejnym niebezpiecznym następstwem jest stres wywołany przegrzaniem organizmu. Jest on spowodowany zaburzonym mechanizmem schładzania. Kiedy nie ma możliwości odprowadzenia wydzielanego przez organizm ciepła, jego ilość wciąż wzrasta, podnosi temperaturę, do tego stopnia, że w najgorszym wypadku prowadzi do śmierci na skutek udaru cieplnego.

Słowa kluczowe: ochrony osobiste, ubranie specjalne

Concept of the Development of the Personal Protection

Abstract

During the firefighting-rescue operations, providing the firefighter with the personal protection equipment (PPE) is a necessary condition. The PPE includes: the eyes, face, head, hearing, respiratory protection systems, as well as protective clothing. Multifunctionality is a basic characteristic of special clothing, which signifies the most effective protection of the user against diversified hazards in the firefighting environment. If clothing provides an effective protection in various hazards, it is thought about the firefighter's basic protective clothing. It most often consists of two parts: the jacket and the pants. To ensure the user's safety in all unfavorable conditions, the extremely important issue is a proper selection of materials as well as the special clothing design. The clothing must meet a number of requirements related to the parameters connected with the thermoregulation of the organism, water resistance, vapor permeability, or mechanical strength. The comfort of the user is also a significant feature. The clothing shouldn't prickle the skin, limit the movements or cause additional effort because of its weight. All requirements concerning products from the group of the personal protective equipment are the subject to legal acts and in details have been described in the European Standards (EN). The protective clothing should comprehensively protect against hazards which means protection from the outside as well as from the inside. To put it simply, the protection from the outside layer is interpreted as the barrier against the influence of heat in various

forms, against water and chemical substances, however the internal protection is understood as the permeability.

During the rescue operations, a stress, a hurry and a heightened physical effort all the time accompany the firefighters. In order not to lead the organism to the overheating, the body produces the warmth and sweat. Too hermetic material layer can cause dangerous effects. One of them are burns, which are formed as a result of the lack of the protection against the heat, as a result of soaking the material in contact with the skin by the sweat. Another hazard is the stress, being the result of the overheating of the organism caused by the disturbed cooling mechanism. When there is no possibility to drain off the body heat, its quantity continues to increase, the temperature is raised to the level which mechanism, in the worst case, leads to death due to the heat stroke.

Keywords: personal protection, special clothing

1. WPROWADZENIE

Warunkiem koniecznym wymaganym podczas działań gaśniczo-ratowniczych jest wyposażenie strażaka w środki ochrony indywidualnej. Zalicza się do nich m.in.: środki ochrony oczu i twarzy, głowy, słuchu, układu oddechowego, a także odzież. Jeśli odzież zapewnia w bardzo szerokim zakresie skuteczną ochronę strażaka przed różnorodnymi zagrożeniami, mówi się wtedy o ubraniu specjalnym, które stanowi podstawowe ubranie ochronne strażaka. Składa się ono najczęściej z dwóch części: kurtki oraz spodni [1].

Podstawową cechą ubrania specjalnego jest wielofunkcyjność, która oznacza zdolność maksymalnie skutecznej ochrony użytkownika przed zróżnicowanymi zewnętrznymi niebezpieczeństwami występującymi w środowisku pracy strażaka. Głównym zagrożeniem jest ogień związane z nim zagrożenia termiczne. Podczas pożaru, w wyniku procesu spalania, powstają szkodliwe i niebezpieczne związki chemiczne, m.in. węglowodory aromatyczne i alifatyczne, tlenki siarki, tlenki azotu, tlenek węgla, chlorowodór (jeden z produktów rozkładu polichloru winylu), cyjanowodór (jeden z produktów rozkładu pianki poliuretanowej).

Do oddziaływania substancji chemicznych takimi jak np. roztwory wodorotlenków lub kwasowna organizm strażaka może dochodzić również podczas wypadków w transporcie, katastrof budowlanych, czy awarii chemicznych. Na bezpieczeństwo rutynowych działań interwencyjnych mają wpływ również niekorzystne warunki atmosferyczne, takie jak wysokie lub niskie temperatury,

opady, czy wiatr. Wyżej wymienione zagrożenia mogą pojawiać się podczas pracy osobno lub jednocześnie, co powoduje redukcję funkcji ochronnych ubrania specjalnego. Aby ubranie specjalne zabezpieczało użytkownika w tych wszystkich niesprzyjających warunkach, niezwykle ważną kwestią jest odpowiedni dobór materiałów. Zgłębienie wiedzy na temat tego zagadnienia pozwoli na opracowanie konstrukcji ubrania specjalnego, które będzie zapewniać odpowiedni komfort pracy, poprzez spełnienie szeregu wymagań dotyczących parametrów związanych z termoregulacją organizmu, wodoodpornością, paroprzepuszczalnością, czy wytrzymałością mechaniczną. Duże znaczenie ma również komfort użytkowania, aby ubranie nie podrażniało skóry, nie ograniczało ruchów albo swoim ciężarem nie przyczyniało się do dodatkowego wysiłku. Zanim skonstruowano jak najlepszy – pod względem użytkowym – model ubrania specjalnego minęło kilkadziesiąt lat, o czym mowa poniżej [2], [3].

Pierwsze ubrania specjalne były wykonane z wełny, ponieważ dość skutecznie osłaniała ona przed wysokimi temperaturami i chroniła przed zimnem.

W Stanach Zjednoczonych odzież ochronna uległa diametralnej przemianie. W ubiegłym wieku ubranie specjalne składało się z ciężkich wełnianych spodni, wełnianej lub bawełnianej koszulii wełnianej tuniki. Gumowe buty i skórzany hełm były dopełnieniem kompletnego munduru strażackiego. Gwałtowna ewolucja ubrania specjalnego (ang. *turnout gear*) nastąpiła po II wojnie światowej, kiedy National Fire Protection Association (NFPA) w Stanach Zjednoczonych rozpoczęło wydawanie standardów. Zmiany w technologii produkcji tkanin spowodowały że w latach 80. ub. wieku odzież ochronna posiadała budowę warstwową, a każda z trzech warstw wykonana była z innych materiałów zaawansowanych technologicznie. Dzięki temu znacznie wzrosła ognioodporność, a także możliwa była wymiana ciepła oraz wilgoci z wewnętrznej części ubrania na zewnątrz (i odwrotnie) [4].

Analogiczna sytuacja miała miejsce w innych krajach, gdzie naturalne materiały zaczęto zastępować stale udoskonalanymi tkaninami najnowszych technologii tak, aby odpowiadały specyficznym.

2. WYMAGANIA DOTYCZĄCE SPRZĘTU OCHRONY OSOBISTEJ

Wszystkie wymagania dotyczące wyrobów z grupy sprzętu ochrony osobistej (ang. *PPE – Personal Protective Equipment*) podlegają aktom prawnym i zo-

stały szczegółowo opisane w normach. W krajach należących do Unii Europejskiej standardy zostały ujednolicone i zawarte są w tzw. normie europejskiej (EN). W Stanach Zjednoczonych oraz Kanadzie obowiązują standardy amerykańskie, natomiast w Australii i Nowej Zelandii – normy australijskie. W Niemczech dodatkowo obowiązują tzw. przepisy landowe, warunkujące konstrukcję i wygląd ubrań ochronnych. Poniżej opisano niektóre warunki niezbędne przy projektowaniu ubrania specjalnego.

Należy dodać, że normy definiują minimalne wymagania, jakie powinien spełniać dany produkt.

2.1. Normy europejskie

Podstawowe wymagania dotyczące odzieży ochronnej strażaków określa m.in. norma EN 469 [5]. Są to wymagania dotyczące ochrony przed działaniem wysokiej temperatury (powyżej 100°C) lub ognia (Dyrektywa 89/686/EWG) [6], [7].

W normie zawarto podstawowe parametry techniczne jakim powinien odpowiadać zarówno materiał konstrukcyjny jak i całe wykonane ubranie. W normie przewidziano następujące odniesienia:

- odporność na przenikanie ciepła od płomienia;
- przenikanie ciepła od promieniowania;
- rozprzestrzenianie płomienia;
- wytrzymałość na rozciąganie;
- wytrzymałość na rozerwanie;
- odporność na ciepło;
- odporność na przesiąkanie płynnych chemikaliów;
- odporność na przesiąkanie wody;
- opór pary wodnej;
- widzialność.

Każdy element odzieży ochronnej powinien być odpowiednio oznakowany etykietą (bezpośrednio na wyrobie lub dołączonej do wyrobu). Warunki oznakowania odzieży ochronnej zawiera norma EN 340, zgodnie z którą na etykiecie umieszczone są informacje, m.in. takie jak: producent, nazwa i typ, rozmiar, sposób użytkowania i konserwacji, numer odpowiedniej normy, instrukcję obsługi, piktogramy [1], [8].

2.3. Standardy amerykańskie

Norma amerykańska NFPA 1971 wymaga, aby każda z części składowych strażackiego ubrania ochronnego (gaśniczego) – kurtka (ang. *turnout coat*) i spodnie (ang. *turnout pants*) – była wykonana z trzech warstw: zewnętrznej powłoki, bariery przeciwwilgociowej oraz bariery termicznej. Spodnie powinny mieć wzmocnione kolana i mankiety w celu zwiększenia trwałości, a także być zaopatrzone w szelki, aby utrzymać ciężar wilgotnych spodni. Standard ten (dla strażaków noszących ubrania typu *turnout gear*) podaje, że zewnętrzna warstwa tkaniny musi być niepalna, nietopliwa i wytrzymała przy narażeniu na temperaturę 500°F (260°C) w czasie pięciu minut. Ustanawia również dodatkowe wymagania dotyczące ograniczonej ochrony przed określonymi substancjami chemicznymi, patogenami i pyłami radiologicznymi [9].

Wymagania dla odzieży ochronnej, hełmów, rękawic i obuwia straży pożarnej typu *Wildland* (określa norma NFPA 1977 [10].

NFPA 1951 zapewnia minimalne wymagania dotyczące projektowania, budowy, oceny i certyfikacji sprzętu ochronnego (odzież, hełm, rękawice, obuwie, dodatkowa ochrona twarzy) stosowanego przy akcjach ratowniczych [11].

Norma NFPA 1851 narzuca rutynowe czyszczenie i kontrolę ubrania po każdym użyciu, w tym zaawansowane czyszczenie i kontrolę przynajmniej raz w roku. Nakłada obowiązek wymiany wszystkich elementów sprzętu ochrony osobistej (PPE), które mają dziesięć lat (lub więcej).

2.3. Normy w Australii i Nowej Zelandii

Wymagania i metody badań dla odzieży ochronnej stosowane do działań przeciwpożarowych określa norma AS/NZS 4967:2009. W przeciwieństwie do norm amerykańskich, nie określają konieczności zastosowania membrany. [12]

Wytyczne dla odzieży ochronnej *Wildland* (stosowanej dla pożarnictwa, zawiera AS/NZS 4824:2006 (ISO 15384:2003) [13].

2.4. Normy dla państw niemieckojęzycznych

Podobnie jak w krajach anglojęzycznych pierwsze ubrania w krajach niemieckojęzycznych były wykonane z wełny jako jednowarstwowe. Istotne

zmiany nastąpiły z chwilą pojawienia się pierwszych wymagań, edycji norm europejskich, czy też krajowych (w Niemczech norm serii DIN). Należy przy tym zauważyć, że konstrukcja ubrań ochronnych oraz ich kolor, uzależniona jest w Niemczech dodatkowo od wymagań określonych w tzw. przepisach „Landowych”. Poza rozmiarami określonymi dla kurtki, płaszcza i spodni, uwzględniono dodatkowo inne części ciała, dla których podano typoszeregi wymiarów, a mianowicie:

- wysokość (maksymalnie 192 cm),
- obwód klatki piersiowej (maksymalnie 124 cm),
- obwód pasa (maksymalnie 134 cm),
- obwód w biodrach (maksymalnie 136 cm),
- długość na wysokości pleców (maksymalnie 83,5 cm),
- długość ramienia (maksymalnie 72,5 cm),

Podzielono wymiary na wielkości „duże, wąskie i normalne”. Wraz z rozwojem wymagań i norm europejskich zostało to ujednoczone.

Na dzień dzisiejszy w Niemczech, Austrii i Szwajcarii obowiązuje także tabela rozmiarów wg EN 340. Poza tym w krajach tych przyjęto normy europejskie jako normy krajowe. Odpowiednio do europejskich, w Niemczech są to normy np. DIN EN 469, DIN EN 340 [7].

Z biegiem lat i rozwoju nowych technologii wełnę zastąpiono materiałami kilkuwarstwowymi. Przykładem obrazującym tą tendencję może być nowoczesna konstrukcja ubrania „EUROTOP 2000”. W tamtych czasach, tzn. w początku lat 90-tych ubiegłego wieku, ubranie to określono jako ubranie przyszłości. Było to trzywarstwowe ubranie ochronne przeznaczone do działań ratowniczo-gaśniczych, wykonane z Nomex[®]. Warstwa zewnętrzna w kolorze pomarańczowym lub granatowym, o gramaturze 265 g/m², charakteryzowała się odpornością na ścieranie i rozrywanie, a dodatkowo przepuszczalnością powietrza (wg SIS 650016) – 7,6 l/min. Spełniała ona także wymagania normy SIS 650082 dotyczącej odporności na działanie płomienia, przesiąkliwość wody i oleju.

Warstwę środkową stanowiła wata – Nomex[®], o gramaturze około 200 g/m², natomiast warstwę wewnętrzną – Nomex[®], o gramaturze około 110 g/m². Ubranie było wyposażone w pasy odbłaskowe w kolorze żółtym lub srebrnym. Odnaczało się również innymi cechami, do których można zaliczyć odporność na działanie płomienia, czy promieniowania cieplnego wg ISO-DP 9151 [7].

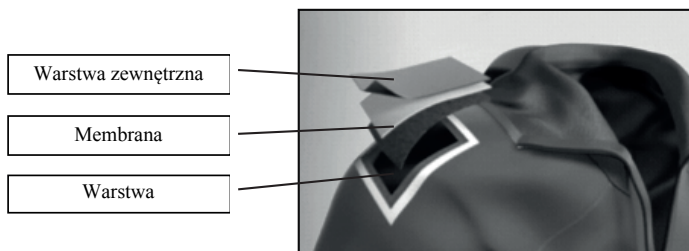
3. BUDOWA UBRAŃ SPECJALNYCH

Odzież ochronna powinna kompleksowo zabezpieczać przed zagrożeniami, co oznacza, ochronę od zewnątrz jak i od wewnątrz. W dużym uproszczeniu, przez ochronę od zewnątrz rozumie się warstwę ubrania jako barierę przed oddziaływaniem ciepła w różnych postaciach wodą, substancjami chemicznymi, natomiast ochrona wewnętrzna jest rozumiana jako oddychalność.

Podczas akcji ratowniczych strażakom towarzyszy stres, pośpiech i wzmożony wysiłek fizyczny. Aby nie doprowadzić do przegrzania organizmu, wytwarza on ciepło i pot. Zbyt szczelna warstwa materiału może powodować niebezpieczne skutki. Jednymi z nich są poparzenia, które tworzą się na skutek braku ochrony przed żarem, w wyniku namakania przez pot materiału znajdującego się bezpośrednio w kontakcie ze skórą. Kolejnym niebezpiecznym następstwem jest stres wywołany przegrzaniem organizmu. Jest on spowodowany zaburzonym mechanizmem schładzania. Kiedy nie ma możliwości odprowadzenia wydzielanego przez organizm ciepła, jego ilość wciąż wzrasta, podnosi temperaturę, do tego stopnia, że w najgorszym wypadku prowadzi do śmierci na skutek udaru cieplnego [2].

3.1. Przekrój przez warstwy

Ponieważ nie skonstruowano jeszcze materiału posiadającego te wszystkie, wcześniej opisane, właściwości ochronne, zaprojektowano ubranie, które ma budowę warstwową. Składa się z warstwy zewnętrznej, membrany, warstwy termoizolacyjnej oraz podszewki. Każda warstwa jest wykonana z innego materiału i posiada charakterystyczne cechy, które w połączeniu stanowią skuteczne innowacyjne rozwiązanie o szerokim zakresie ochrony.



Rys. 1. Model trójwarstwowego ubrania ochronnego

Źródło: [14]

3.1.1. Warstwa zewnętrzna

Przez pojęcie warstwy zewnętrznej (ang. *outer shells*) rozumie się najbardziej zewnętrzną warstwę materiału, z wyjątkiem lamówek, materiału wzmacniającego i mankietów. Może być ona wykonana z impregnowanych tkanin bawełnianych, lecz w większości przypadków jest wykonana z syntetycznych włókien aramidowych, występujących w handlu pod nazwą Nomex[®] (firma DuPont), Kevlar[®] (firma DuPont), Twaron[®] (firma Teijin Aramid), Technora[®] (firma Teijin Aramid), tkanin poliamidowych PBO i PBI [15], [3].

3.1.2. Membrana

Mikroporowata hydrofobowa membrana (ang. *moisture barrier*) stanowi środkową warstwę ubrania i ma ona zapobiegać przenikaniu cieczy i utrzymywać właściwą równowagę cieplną.

Powinna być wodoszczelna, by nie doszło do przemakania warstwy termoizolacyjnej, ale na tyle przepuszczalna, by umożliwić odprowadzenie pary wodnej powstającej na skutek pocenia się użytkownika [3]. Do produkcji membran wykorzystuje się tworzywa sztuczne, takie jak: politetrafluoroetylen (PTFE), poliuretan, poliester.

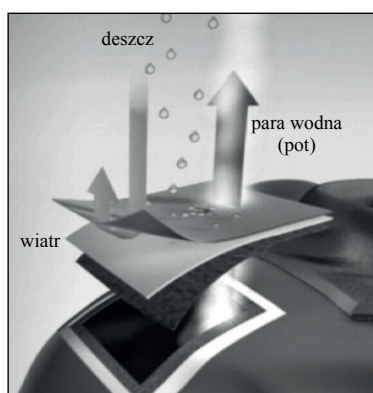
Poniżej wymieniono najważniejsze parametry membrany :

- wodoszczelność (W_p) – wyrażona w [Pa] – to wartość ciśnienia hydrostatycznego wody, działającego na powierzchnię materiału (i szwy) w momencie pojawienia się na niej pierwszej kropli cieczy [16].
- przepuszczalność pary wodnej (inaczej oddychalność) opisuje wartość oporu pary wodnej, oznaczany jako R_{et} i wyrażony w [$m^2 \cdot Pa/W$]. Jest to parametr określający ile gramów pary wodnej ulegnie dyfuzji przez powierzchnię $1 m^2$ membrany, w czasie doby przy określonych warunkach wilgotności (85%) i temperatury (20°C).
- Im niższa wartość współczynnika oporu pary wodnej, tym łatwiejszy transport pary wodnej na zewnątrz, a co za tym idzie większy komfort cieplny [3], [16].

W zależności od występującego ryzyka i niebezpieczeństwa ustalono wg PN-EN 469 dwa poziomy wykonania odzieży ochronnej i wymagane minimalne wartości oporu pary wodnej oraz wodoszczelności (tabela 1) [8], [20]:

Tabela 1. Minimalne wymagane wartości oporu pary wodnej oraz wodoszczelności w zależności od poziomu wykonania ubrań specjalnych wg normy PN-EN 469

	Poziom 1 (poziom niższy)	Poziom 2 (poziom wyższy)
Opór pary wodnej [m ² ·Pa/W]	$R_{et} > 30$	$R_{et} \leq 30$
Wodoszczelność [kPa]	$W_p < 20$ dla wyrobów odzieżowych bez bariery chroniącej przed prześląkaniem wilgoci	$W_p \geq 20$ dla wyrobów odzieżowych z barierą chroniącą przed prześląkaniem wilgoci



Rys. 2. Zasada działania paroprzepuszczalnej i wodoodpornej membrany

Źródło: [17]

3.1.3. Warstwa termoizolacyjna

Warstwa termoizolacyjna (ang. *thermal barrier*) izoluje przed środowiskiem zewnętrznymi stanowi barierę przed wnikaniem do wnętrza ubrania promieniowania ciepłego. Ten cel osiąga się przez odpowiednie rozwiązanie konstrukcyjne, polegające na modelu składającym się z włókien, pomiędzy którymi znajduje się powietrze. Ważne jest, aby warstwa nie była zbyt gruba – a co za tym idzie cięższa – ponieważ może to przyczynić się do zmniejszenia komfortu noszenia i ograniczenia ruchów. Do produkcji warstw termoizolacyjnych wykorzystuje się wełnę, włókna aramidowe, aramidowo-wiskozowe oraz poliestrowe [3].

W tabeli 2 przedstawiono minimalne wartości dwóch parametrów warstwy termoizolacyjnej dla ubrań spełniających pierwszy i drugi poziom wymagań (wg normy PN-EN 469).

Tabela 2. Minimalne wartości przenikania ciepła od płomienia i przenikania ciepła od promieniowania cieplnego

		Poziom 1	Poziom 2
Wskaźnik przenikania ciepła od płomienia	HTI_{24}	$\geq 9,0$	$\geq 13,0$
	$HTI_{24} - HTI_{12}$	$\geq 3,0$	$\geq 4,0$
Wskaźnik przenikania ciepła od promieniowania cieplnego	$RHTI_{24}$	$\geq 10,0$	$\geq 18,0$
	$RHTI_{24} - RHTI_{12}$	$\geq 3,0$	$\geq 4,0$

Źródło: [8]

3.1.4. Podszewka

Podszewka to warstwa ubrania specjalnego znajdująca się najbliżej ciała użytkownika. Może ona stanowić oddzielną warstwę lub być połączona z warstwą termoizolacyjną. Do produkcji podszewek stosuje się impregnowane tkaniny bawełniane, włókna aramidowe lub aramidowo-wiskozowe [3].

3.2. Modyfikacje warstw

Nieustannie trwają badania nad poprawą funkcjonalności ubrań specjalnych. Producenci odzieży ochronnej stale wprowadzają innowacje. Jedną z nich było np. wprowadzenie laminatów, które charakteryzują się większą przepuszczalnością pary wodnej. Przykładowe modyfikacje warstw przedstawiono w kolejnym rozdziale, gdzie omówiono materiały stosowane w odzieży ochronnej w państwach anglojęzycznych i niemieckojęzycznych.

4. PRZYKŁADOWE MATERIAŁY STOSOWANE W PRODUKCJI UBRAŃ SPECJALNYCH

Niewątpliwie na użyteczność ubrań specjalnych ogromny wpływ ma dobór materiałów, a dokładniej ich parametry oraz jakość. Poniżej przedstawiono materiały, które stosuje się przy produkcji poszczególnych warstw odzieży ochronnej w wybranych państwach.

4.1. Warstwa zewnętrzna

Szerokie zastosowanie jako wierzchnia warstwa ubrań ochronnych mają włókna PBI. Tkaniny na bazie włókien PBI są elastyczne i lekkie, a także zapewniają właściwą termoregulację organizmu, minimalizując ryzyko urazów związanych ze stresem wywołanym przegrzaniem organizmu. Dzięki temu możliwe jest szybsze i bardziej precyzyjne działanie.

W roku 1985 w Stanach Zjednoczonych wprowadzono materiały PBI Gold[®] [18], [19]. W dalszym ciągu są one dostępne na rynku w standardowej gramaturze wynoszącej 255 g/m² oraz niższej – 200 g/m². Składają się z włókien Kevlar[®] (60%) i z włókien PBI (40%).

Unowocześnioną wersją tych materiałów był w 2003 r. PBI Matrix[®], który stanowi kompozycję wcześniejszych PBI Gold Plus[®] (40%) i włókien Kevlar[®] (60%) [19]. Materiał ten posiada splot tzw. Rip-Stop, który charakteryzuje się wypukłym wzmocnieniem z innego włókna w formie zauważalnej kratki. Taka struktura zwiększa wytrzymałość tkaniny na zerwanie [3].

W roku 2012 kolejną generację tkanin zewnętrznej powłoki na bazie włókien PBI stał się produkt o nazwie PBI Max[™]. Skład procentowy materiału PBI Max[™] to w 70 % włókna PBI i w 30% włókna Kevlar[™], jest on dostępny w dwóch kolorach: złotym i czarnym.

Obecnie jest to najnowocześniejszy materiał stosowany jako warstwa zewnętrzna ubrań specjalnych. Charakteryzuje się on jeszcze wyższą wytrzymałością mechaniczną przy doskonałej odporności na wysokie temperatury i zmniejszonym ciężarze (5 lat gwarancji). Podnosi poprzeczkę dla dostępnych obecnie na rynku materiałów o tym samym zastosowaniu [18], [19]. W celu lepszej ochrony wszystkie wyżej wymienione materiały posiadają teflonowe wykończenie (DuPont), które zapewnia zmniejszoną absorpcję wody.

Niekwestionowanym liderem w branży włókienniczej od 225 lat jest specjalistyczna brytyjska firma Hainsworth, która jako pierwsza wprowadziła w Wielkiej Brytanii tkaniny trudnopalne. Ponadto jest ona światowym liderem w dziedzinie rozwoju, produkcji i stosowania wyrobów włókienniczych, która dostarcza materiały stosowane w odzieży ochronnej dla strażaków od ponad 100 lat. Wykorzystuje TI-Technologie (ang. TI-Technology™) polegającą na specjalnym splocie tkaniny złożonej z włókien Nomex® i Kevlar®, gdzie każdy rodzaj włókna tworzy oddzielną warstwę. Dzięki temu możliwa jest maksymalizacja korzyści wynikających z każdego włókna.

Poniżej przedstawiono jak działa TI-Technologie [21]:



Rys 3. Schemat struktury materiału : TI-Technologie™ [21]

Warstwa zewnętrzna zbudowana jest z włókien Nomex®, zapewniających niepalność tkaniny, natomiast warstwa wewnętrzna z włókien Kevlar® – wytrzymałość i wysoką odporność na ścieranie i degradację UV. Materiał posiada luźną, przepuszczalną konstrukcję, przestrzenie pomiędzy włóknami wypełnione są powietrzem, tkanina charakteryzuje się dużą oddychalnością. Pod wpływem płomienia warstwa złożona z włókien Nomex® łączy się z warstwą włókien Kevlar®, dochodzi do przemieszczenia się warstw oraz zmniejszenia odległości pomiędzy włóknami, co zwiększa ochronę termiczną.

4.2. Membrana

Do produkcji ubrań ochronnych bardzo często stosuje się membranę amerykańskiej firmy Gore-Tex, która została opracowana w latach 80-tych.

Cechy membrany:

- porowata (ponad 9 miliardów porów na cal kwadratowy);
- wodoszczelna (pory są około 20.000 mniejsze od kropli wody, więc woda nie przenika);
- oddychająca (para wodna lub pot przenika, gdyż pory są 700 większe od cząsteczki pary wodnej);

- wykonana z politetrafluoroetyleny PTFE (teflonu);
- wykazuje dużą trwałość i odporność na zagniecenia [16], [22].

5. STOSOWANE ROZWIĄZANIA KOMERCYJNE UBRAŃ SPECJALNYCH

Przedstawiono poniżej stosowane ubrania specjalne w podziale na dwie grupy:

- Ubranie bojowe (ang. *Turnout Gear lub Bunker Gear*).
- Do wykorzystania w przestrzeniach otwartych (ang. *wildland fire*).

Dopełnieniem odzieży ochronnej są buty, hełmy, rękawice oraz inne elementy chroniące ciało użytkownika. W Stanach Zjednoczonych głównym producentem sprzętu ochrony osobistej jest firma Honeywell. Poniżej przedstawiono standardowe ubranie specjalne.

W Republice Południowej Afryki w ciągu ostatnich dwudziestu lat zaopatruje w odzież ochronną, kaski i akcesoria firma LYMAE [27]. Do wytwarzania ubrań wykorzystuje tylko najnowsze i najbardziej skuteczne materiały poświadczone przez US National Fire Protection Association (NFPA).

Jednym z największych na świecie producentów sprzętu dla straży pożarnej jest Grupa Rosenbauer, założona przez Johanna Rosenbauera w 1866 r. z siedzibą w Leonding, w Austrii.

Producentem wysokiej jakości funkcjonalnej odzieży stosowanej w pożarnictwie jest firma Texport. Dostarcza ona straży pożarnej zarówno kurtki, spodnie, kombinezony, jak i rękawice i buty.



Rys. 4. Ubranie specjalne Morning Pride® Tails™ firmy Honeywell

Źródło: [24]



Rys. 5. Przykłady mankietów z pętlą na kciuk

Źródło: [25]

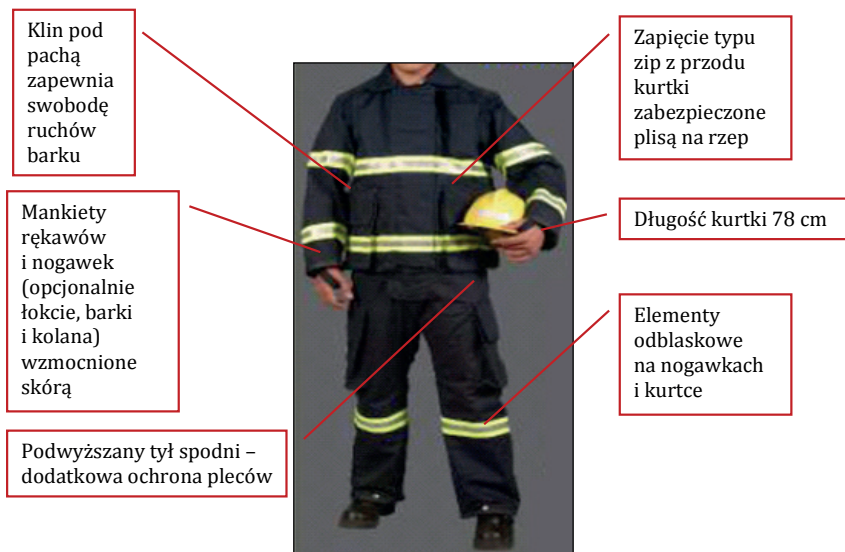


Rys. 6. Ubranie specjalne typu Ergotech Action™ firmy Bristol Uniforms
Źródło: [26]



Rys. 7. Ubranie typu Wildland firmy Bristol Uniforms

Źródło: [26]



Rys. 8. Ubranie specjalne typu Rescue Suit firmy AJ Charnaud & Co Ltd.

Źródło: [28]



Rys. 9. Ubranie specjalne typu Standard Bunker Suit firmy AJ Charnaud & Co Ltd.

Źródło: [28]



Rys. 10. Kurtka typu BREGA firmy Rosenbauer (model w kolorze ciemnoniebieskim)

Źródło: [29]



Pasek na plecach o wymiarach 45×10 cm na indywidualny napis, pod nim srebrna odbłaskowa taśma

Rys. 11. Widok kurtki z tyłu

Źródło: [29]



Spodnie zapinane na zamek błyskawiczny, zabezpieczony klapą

Dwie kieszenie boczne z klapkami

Mankiety nogawek na gumkę

Szelki umocowane na stałe

Wysoki tył spodni zapewnia dodatkową ochronę pleców

Dodatkowa ochrona kolan z włókien m-aramidowych i p-aramidowych (elementy wymienne)

Taśma odbłaskowa poprawiająca widoczność

Rys. 12. Spodnie typu BREGA firmy Rosenbauer (model w kolorze ciemnoniebieskim)

Źródło: [29]



Rys. 13. Ubranie typu Fire Breaker Action Tough "x-TREME® light" firmy Texport

Źródło: [31]



Rys. 14. Ubranie typu Fire Wildland Nx/Viscose firmy Texport

Źródło: [32]

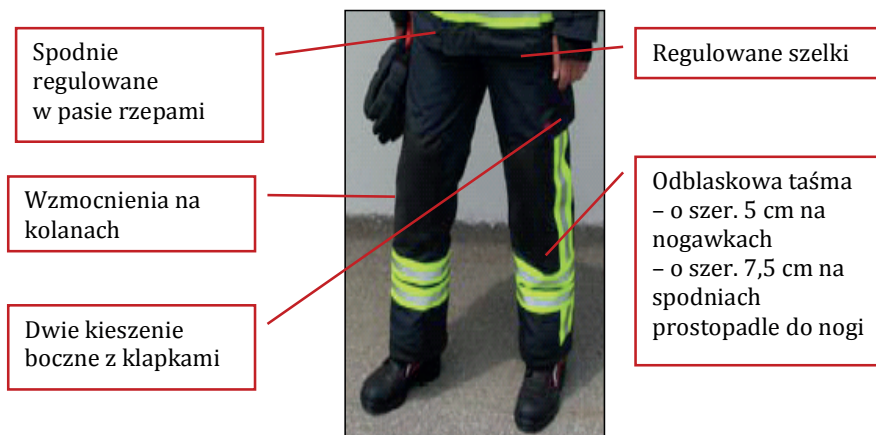
Ubranie specjalne typu Fire Max II firmy Rosenbauer

Źródło: [76]



Rys. 15. Ubranie typu Fire Max II firmy Rosenbauer (model w kolorze ciemnoniebieskim)

Źródło: [33]



Rys. 16. Ciemnoniebieskie Spodnie typu Fire Max II firmy Rosenbauer

Źródło: [33]



Rys. 17. Spodnie typu TITAN firmy S-GARD®

Źródło: [34]

Kurtka i spodnie typu Wildfire firmy S-GARD[®]

Specyfikacja:

- wymagania zgodne z normą EN 15614;
- materiał: Nomex[®] Comfort antistatic o gramaturze 260 g/m²;
- ergonomiczny kształt kołnierza;
- zapięcie kurtki na dwukierunkowy zamek;
- wstawki pod pachami, by zapobiec unoszeniu się kurtki w górę podczas ruchu;
- dwie podwójne kieszenie boczne z dostępem zarówno z góry, jak i z boku (kurtka);
- dwie kieszenie wewnętrzne, jedna z nich wodoodporna (kurtka);
- dwie kieszenie z klapami i na rzep (spodnie);
- dwie wewnętrzne kieszenie boczne (spodnie);
- wzmocnienia na kolanach wykonane z Kevlaru[®];
- obwód mankietów nogawek regulowany taśmą na rzep.



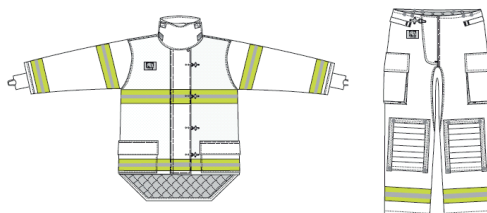
Rys. 18. Kurtka i spodnie typu Wildfire firmy S-GARD[®]

Źródło: [34]

Rozkład taśm odblaskowych

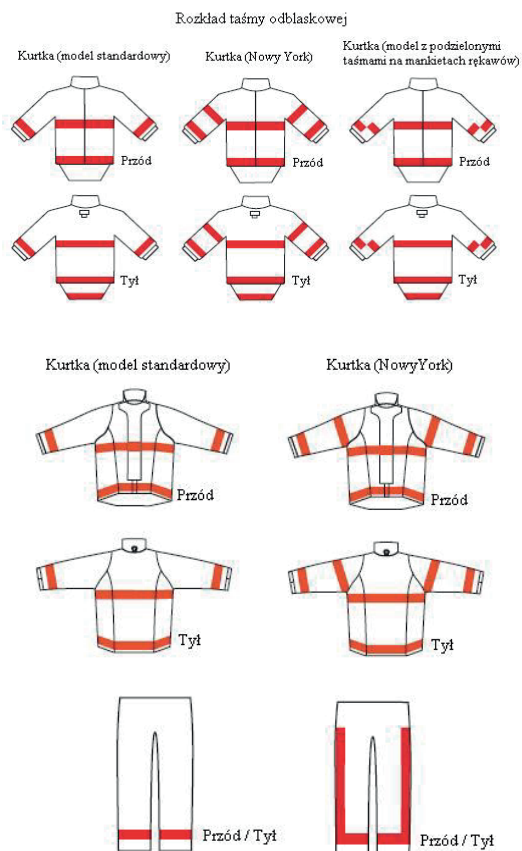
Aby zapewnić widoczność strażaka biorącego udział w akcjach interwencyjnych, na ubraniu specjalnym umieszcza się niepalne elementy odblaskowe (fluorescencyjne). Znajdują się one z przodu i z tyłu ubrania, na rękawach

i tułowiu kurtki oraz nogawkach spodni. Konfiguracje rozmieszczenia elementów na odzieży na przykładzie dwóch państw anglojęzycznych zilustrowano na rys. 19-22.



Rys. 19. Schemat przykładowego ubrania specjalnego w USA

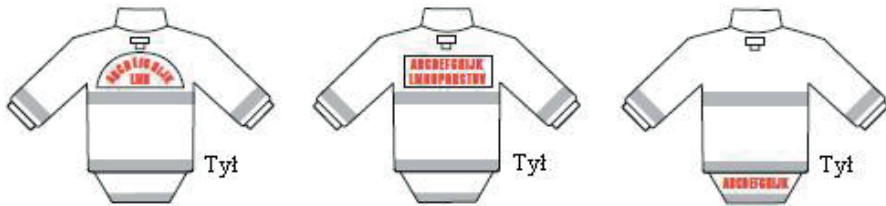
Źródło: [48]



Rys. 20. Rozkład taśmy odblaskowej na kurtce i spodniach ubrania specjalnego

Źródło: [35]

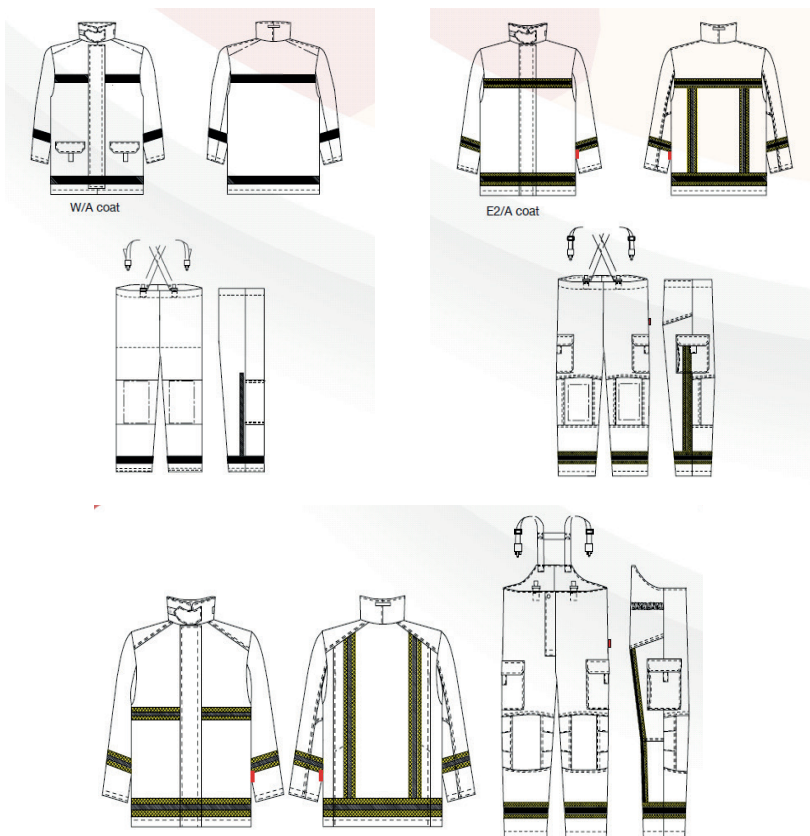
Rozkład napisów



Rys. 21. Rozkład napisów na kurtce ubrania specjalnego

Źródło: [35]

Wielka Brytania



Rys.22. Rozkład taśmy odblaskowej na kurtce i spodniach ubrania specjalnego

Źródło: [36]

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy konstrukcji i stosowanych materiałów można przyjąć, że ewolucja ubrań we wszystkich państwach miała analogiczny przebieg.

1. Postęp polegał na stopniowym wypieraniu materiałów naturalnych (wełna, bawełna, skóra) tkaninami syntetycznymi (niepalne materiały polimerowe). Przyniosło to niezaprzeczalne korzyści przejawiające się większym bezpieczeństwem, a także lepszym komfortem podczas pracy strażaka. Spośród omawianych państw tylko w Republice Południowej Afryki stosuje się nadal skórę jako materiał wzmacniający fragmenty ubrania najbardziej narażone na ścieranie.
2. Wytyczne określone w normach dotyczące konstrukcji standardowego ubrania strażackiego nie odbiegają od siebie znacząco, poza tym, że standardy australijskie i nowozelandzkie nie narzucają konieczności stosowania membrany jako jednej z warstw ubrania, a w Niemczech nałożone są dodatkowo tzw. przepisy landowe.
3. Najpopularniejszymi materiałami stosowanymi przy produkcji ubrań niezależnie od państwa są włókna aramidowe (Nomex[®] i Kevlar[®]), a następnie włókna PBO oraz PBI.

Poszerzanie wiedzy na temat funkcjonalności i ergonomii ubrań ochronnych stosowanych w innych państwach świata pozwoli na opracowanie modelu, jeszcze lepszego pod względem użytkowym, niż to dotychczasowe.

LITERATURA

- [1] E. Maklewska, Ubrania specjalne dla strażaków – właściwości i metody badawcze w świetle wymagań normy PN-EN 469:2008, Techniczne Wyroby Włókiennicze 1/2009, Instytut Technologii Bezpieczeństwa MORATEX, http://www.moratex.eu/pliki/tww/2009_1/TWW_2009_1_02_UbraniaSpecjalneDlaStrazakow.pdf.
- [2] Artykuł sponsorowany przez firmę WL Gore & Associates Polska Sp. z o.o., Punkt zapalny – odzież ochronna, Magazyn EDURA nr 1/2008, http://www.edura.pl/dane/mag_edura/mag_ed1_08_25_28.pdf.
- [3] R. Czarnecki, Ubranie specjalne, *Przegląd Pożarniczy* 2011, nr 1, <http://www.ppoz.pl/pp/pppw/12011pw.pdf>.

- [4] A. Lee, R. Meyer, Escape Through Time: Fire, NOVA Online, 17.02.2011, <http://www.pbs.org/wgbh/nova/escape/timefire.html>.
- [5] Norma PN-EN 469.
- [6] Dyrektywa środki ochrony indywidualnej 89/686/EWG, Warszawa 2010.
- [7] D. Czerwienko, „Teoretyczne podstawy transformacji materiałowo-konstrukcyjnej ubrań strażackich i lekkich” w ramach projektu pt. „Nowoczesne ochrony osobiste służb ratowniczych KSRG w oparciu o potrzeby użytkowników końcowych” (Projekt finansowany przez NCBiR Numer umowy projektu: 0014/R/ID1/2011/01), Józefów, 27 czerwca 2012.
- [8] Informacje ze strony internetowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego, <http://www.ciop.pl>.
- [9] Norma amerykańska NFPA 1971, <http://www.nfpa.org/assets/files/about-the-codes/1971/proposedtia1092nfpa1971.pdf>.
- [10] Norma amerykańska NFPA 1977, <http://www.nfpa.org/assets/files/about-the-codes/1977/proposedtia1044nfpa1977.pdf>.
- [11] Norma amerykańska NFPA 1851, http://www.nfpa.org/Assets/files/AboutTheCodes/1851/ProposedTIA1160_NFPA1851.pdf.
- [12] Norma australijska AS/NZS 4967:2009 <http://webstore.ansi.org/Record-Detail.aspx?sku=AS%2FNZS+4967%3A2009%2FAMdt+1%3A2010>.
- [13] Norma australijska AS/NZS 4824:2006 (ISO 15384:2003), <http://www.sicluster.com/sai/266662-.html>.
- [14] Broszura informacyjna firmy Starfield Lion, http://www.lionprotects.com/sites/lion.peritusinteractive.com/files/legacy-pdf/sl_guide.pdf.
- [15] Strona internetowa firmy Tencate, <http://www.tencate.com/>.
- [16] Broszura informacyjna firmy Honeywell, <http://www.honeywellfir-stresponder.com/Documents/CatalogPDFFiles/CleaningCareBro2011.pdf>.
- [17] Informacje ze strony internetowej firmy Elliott, <http://www.elliottaustralia.com>.
- [18] Materiały informacyjne firmy W. L. Gore & Associates.
- [19] M. Fejdyś, M. Łandwajt, Włókna techniczne wzmacniające materiały kompozytowe, *Techniczne Wyroby Włókiennicze* 2010, nr 1-2, Instytut Technologii Bezpieczeństwa MORATEX, http://www.moratex.eu/pliki/tww/2010_12/TWW_2010_1-2_tresc.pdf.
- [20] E. Maklewska, Odzież „oddychająca” czy „paro przepuszczalna”?, *Techniczne Wyroby Włókiennicze* 2010, nr 3-4, Instytut Technologii Bez-

- pieczeństwa MORATEX, http://www.moratex.eu/pliki/tww/2010_34/TWW_2010_3-4_art4.pdf.
- [21] Informacje o membranie ze strony internetowej firmy W. L. Gore & Associates, http://www.goretex.pl/remote/Satellite?c=fabrics_prod_land_c&childpagename=goretex_pl_PL%2Ffabrics_prod_land_c%2FFabricTechnologiesChapterTwoSelectedTechnologySEO&cid=1183947978565&p=1183947985303&packedargs=subpageid%3D1183947984554%26subpagetype%3DPage&pagename=SessionWrapper.
- [22] Informacje o membranie ze strony internetowej firmy W. L. Gore & Associates, <http://www.gore-tex.pl>.
- [23] Informacje o TI-Technologii, http://www.hainsworth.co.uk/downloads/110225_TI-TECHNOLOGY_Final.pdf.
- [24] Broszura informacyjna firmy Honeywell, <http://www.honeywellfirstresponder.com/Documents/CatalogPDFFiles/MorningPrideClothingBrochure2012.pdf>.
- [25] Informacje ze strony internetowej firmy Honeywell, <http://www.honeywellfirstresponder.com>.
- [26] <http://www.bristoluniforms.com/ergotech-action>.
- [27] Informacje ze strony internetowej LYMAE, <http://www.lymae.co.za/>.
- [28] Broszura informacyjna firmy AJ Charnaud & Co Ltd.
- [29] Broszura firmy Rosenbauer, <http://www.thebigredguide.com/docs/full-spec/brega.pdf>.
- [30] Informacje ze strony internetowej firmy Texport, <http://www.texport.at>.
- [31] Informacje o ubraniu ze strony internetowej firmy Texport <http://www.texport.at/GB/default.aspx?cwsstructure=10&page=shopArtikelDet&artkey=2424201A2GA0>.
- [32] Informacje o ubraniu typu Wildland ze strony internetowej firmy Texport; <http://www.texport.at/GB/default.aspx?cwsstructure=10&page=shopArtikelDet&artkey=1472040A1CA46> ; <http://www.texport.at/GB/default.aspx?cwsstructure=10&page=shopArtikelDet&artkey=1472040A1CA46&artkey=1472041A1CA46>
- [33] Broszura firmy Rosenbauer, http://www.rosenbauer.com/tools/cms_media.php?USER=8f4427fd9d84bc8f065eec1dcd9a0321&mid=19803&pdf=true.
- [34] Broszura handlowa firmy S-GARD, <http://www.s-gard.de/pdf/s-gard-feuerwehr-en.pdf>.

- [35] Broszura informacyjna firmy Honeywell, <http://www.honeywellfirstresponder.com/Documents/CatalogPDFFiles/RangerGearBrochure.pdf>
- [37] Broszura informacyjna firmy Bristol Uniforms Ltd., <http://www.bristoluniforms.com/media/files/structural.PDF>.