

- lists' Meeting on Equipment for Personal Protection (AVT-097) and Personal Protection: Bio-Mechanical Issues and Associated Physio-Pathological Risks (HFM-102) (2003), materiały konferencyjne.
7. A.K. Ommaya, „Traumatic Brain Injury Past, Present and Future”, Proceedings of the RTO AVT/HFM Specialists' Meeting on Equipment for Personal Protection (AVT-097) and Personal Protection: Bio-Mechanical Issues and Associated Physio-Pathological Risks (HFM-102) (2003), materiały konferencyjne.
 8. R. Bass, B. Bogges, B. Bush, M. Davis, R. Harris, S. Rountree, S. Campman, J. Eklund, W. Monacci, G. Ling, G. Holborrow, E. Sanderson and S. Wacławik, „Helmet behind armor blunt trauma”, Proceedings of the RTO AVT/HFM Specialists' Meeting on Equipment for Personal Protection (AVT-097) and Personal Protection: Bio-Mechanical Issues and Associated Physio-Pathological Risks (HFM-102) (2003), materiały konferencyjne.
 9. B. Anctil, D. Bourget, G. Pageau, K. Rice, J. Lesko; „Ewaluacja systemów pomiaru siły uderzeniowej w celu oceny urazów podpancerzowych powstających pod nieprzebitymi hełmami”; Proceedings PASS 2004, materiały konferencyjne.
 10. J.R. Stone, D.O. Okonkwo, A.O. Dialo, D.G. Rubin, L.K. Mutlu, J.T. Povlishock, G.A. Helm, *Exp. Neurol.* 190 (2004) 59.
 11. R.H. Singleton, J.T. Povlishock, *J Neurosci.* 24 (2004) 3543.
 12. J.E. Pittella, S.N. Gusmao, *J Forensic Sci.* 48 (2003) 626.
 13. A. Hamberger, Y.L. Huang, H. Zhu, F. Bao, M. Ding, K. Blennow, A. Olsson, H.A. Hansson, D. Viano, K.G. Haglid, *J Neurotrauma* 20 (2003) 169.
 14. C. Niess, U. Grauel, S.W. Toennes, H. Bratzke, *Acta Neuropathol (Berl)* 104 (2002) 79.
 15. W.C. Hanigan, C., *Neurosurgical FOCUS* 16(1) (2004) E4.
 16. M.R. Coakwell, D.S. Bloswick, R. Moser, *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 75 (2004) 68.
 17. J.V. Rosenfeld, *J Clin Neurosci* 9(1) (2002) 9.
 18. J.T. Youman's *Neurological Surgery* ed. 4, Philadelphia, W.B. Saunders Co. 1996.
 19. M. Aare, S. Kleiven, *International Journal of Impact Engineering* 34 (2007) 596.
 20. J. Hopkins, *Apl. Technical Digest* 26(1) (2005) 84.
 21. *First Technology, Hybrid III 50th Male Dummy.*

Materiały dziewiarskie do zastosowania na odzieżowe wyroby ochronne przed gorącymi czynnikami termicznymi

A. Pinar, M. Szewczyk

Instytut Włókiennictwa Łódź, Zakład Naukowy Technologii Dziewiarskich i Odzieżownictwa

1. Wprowadzenie

Specjalne funkcje użytkowe materiałów tekstylnych o przeznaczeniu na odzież ochronną kształtowane są zależnie od grupy zagrożeń występujących w określonych warunkach pracy oraz planowanego asortymentu wyrobów [1]. Znaczną grupę wśród odzieży ochronnej stanowi odzież chroniąca przed czynnikami gorącymi tj. płomień, promieniowanie cieplne, iskry, rozpryski płynnego metalu, gorące przedmioty. Do grup zawodowych narażonych na działanie tej gru-

py czynników termicznych należą m.in. strażacy, hutnicy, odlewnicy, spawacze, hartownicy i pracownicy przemysłu metalurgicznego. Materiały przeznaczone na odzież ochronną przed czynnikami gorącymi powinny wykazywać określone właściwości, do których należą m.in.[2]:

- odporność na działanie wysokiej temperatury (nie powinny się topić, nadmiernie kurczyć, ulegać destrukcji),
- odporność na zapalenie, żarzenie i podtrzymywanie płomienia,

- odporność na działanie iskier i rozprysków płynnego metalu,
- ochrona przed możliwością poparzenia ciała ludzkiego przy kontakcie z rozpryskami płynnego metalu lub gorącym przedmiotem,
- ochrona przed przenikaniem ciepła.

Do produkcji odzieży ochronnej przed czynnikami gorącymi znajdują powszechne zastosowanie materiały z włókien aramidowych (Nomex, Kevlar) i poliimidowych (Kermel) oraz impregnowane niepalne tkaniny bawełniane lub wełniane. Materiały z włókien aramidowych zapewniają odporność na działanie wysokiej temperatury, zapalenie, jak również na czynniki chemiczne. Charakteryzują się minimalną emisją gazów wydzielanych na skutek rozkładu materiału pod wpływem działania wysokiej temperatury. Należy również podkreślić ich wysoką odporność na ścieranie. W środowisku pracy, w którym występuje wyższy poziom promieniowania cieplnego stosowana są jest odzież wykonana z wielowarstwowych materiałów lub układów materiałów niepalnych, a w zewnętrznej warstwie dodatkowo aluminizowanych [3].

Właściwości palne materiałów tekstylnych kształtowane są w wyniku aplikacji w procesie wykończenia określonych grup środków chemicznych o działaniu ograniczającym palność włókien oraz poprzez zastosowanie w składzie surowcowym włókien syntetycznych o zmodyfikowanej strukturze zapewniającej cechy trudno palne lub niepalne. Większość obecnie stosowanych technologii wykończeniowych, w wyniku których materiały tekstylne otrzymują odporność na zapalenie opracowano w latach 1950 – 1980 [4]. W ostatnim czasie nastąpił wzrost zainteresowania konsekwencjami toksykologicznymi wynikającymi z zastosowania środków chemicznych w procesach wykończenia materiałów tekstylnych, szczególnie o przeznaczeniu na wyroby będące w bezpośrednim kontakcie ze skórą użytkownika. W opracowaniu technologii wykończenia materiałów należy więc zwrócić szczególną uwagę nie tylko na skuteczność ich działania, ale również na właściwości toksyczne w zakresie samych środków jak i produktów rozkładu powstających podczas spalania. Rodzaj środków chemicznych stosowanych w modyfikacji właściwości palnych tekstyliów zależy od charakterystyki surowcowej materiału. Właściwości trudno palne materiałów wykonanych z udziałem włókien bawełny mogą być otrzymane w procesie wykończenia poprzez aplikację środków chemicznych o działaniu jedynie zmniejszającym palność włókien, do których o najwyższej trwałości działania należą m.in. metylolowe fosfoamidy i chlorowane woski parafinowe, natomiast o niskiej trwałości polifosforan amonowy

i fosforan diamonowy [5]. Do środków chemicznych aplikowanych w procesie wykończenia trudno palnego materiałów zawierających włókna bawełny i wełny należą m.in. fosforan amonowy, trójtlenek antymonu oraz związki fosforoorganiczne [4].

Skuteczną metodą kształtowania właściwości ochronnych materiałów przed działaniem czynników gorących jest zastosowanie przędz zawierających syntetyczne włókna trudno palne lub niepalne tj. modakrylowe, polichlorowinyłowe oraz modyfikowane poliestry. Specjalne cechy tych włókien otrzymane są w procesie wytwarzania w wyniku modyfikacji strukturalnej włókna. Proces technologiczny modyfikowanych włókien poliestrowych należy tu do przyjaznych dla środowiska i zapewnia wysoką trwałość cech specjalnych [5]. Do znanych włókien tej grupy należą Trevira CS, Toyoto GH japońskiej firmy Toyoto, Fildion włoskiej firmy EniChem, Elana®FR i Torlen®FR, polskiej firmy Elana S.A. w Toruniu [4]. Dla włókien poliamidowych i polipropylenowych proces modyfikacji właściwości palnych na etapie ich wytwarzania jest znacznie trudniejszy niż dla włókien poliestrowych z uwagi na reaktywność stopionego polimeru. Dla materiałów wykonanych z tych włókien może znaleźć zastosowanie środek chemiczny zmniejszający palność, który został opracowany przez firmę Clariant na bazie związku fosforowodoru i wprowadzony na rynek pod nazwą handlową Eolit OP [4].

Obecnie najbardziej znanym włóknem, które charakteryzuje się wysoką odpornością na działanie wysokiej temperatury jest meta – aramidowe włókno firmy Du Pont, znane pod nazwą handlową Nomex. Włókno tej grupy, oznaczone HT – 1 wprowadzone zostało na rynek handlowy w połowie lat 60. ubiegłego wieku jako pierwsze odporne na wysokie temperatury włókno meta – aramidowe. Włókno Nomex wykazuje odporność termiczną w temperaturze 200°C - 240°C, nie topi się i ulega zwęgleniu w temperaturze wyższej od 370°C. Na uwagę zasługują również włókna aramidowe Sulfon T, które charakteryzują się wyższą odpornością termiczną od włókien Nomex, a rozkładowi ulegają w atmosferze azotu w temperaturze 430°C. Podobnymi właściwościami do włókien Nomex w zakresie odporności na działanie światła i kwasów mineralnych, ale wyższą odpornością termiczną charakteryzują się włókna poliimidowe, do których należą włókna Kermel® francuskiej firmy Rhone Poulenc [6]. Z uwagi na określone cechy specjalne, włókna poliimidowe znajdują zastosowanie nie tylko w produkcji odzieży ochronnej, ale również m.in. w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym. Znane z wysokiej odporności termicznej i chemicznej są również włókna węglowe Kynol japońskiego producenta

Gunei Chemical Industry Co. [7, 8].

Do produkcji materiałów odzieżowych o cechach ochronnych przed czynnikami gorącymi znajdują również obecnie zastosowanie trudno palne włókna modakrylowe, których przykładem mogą być włókna japońskiej firmy Kaneka z Osaki, znane pod nazwą handlową Kanecaron®. Wysoka trwałość własności specjalnych jest tu wynikiem zmodyfikowanej struktury molekularnej tych włókien. Przędze mogą stanowić 100% ich udział lub też, w zależności od wymagań, mogą być wytwarzane w mieszankach głównie z zastosowaniem włókien wiskozy, akrylu, bawełny, wełny, lnu oraz poliestru czy polipropylenu. Według danych producenta, materiały tekstylne wykonane z przędz zawierających modakrylowe włókna Kanecaron® zapewniają ochronę przed działaniem ognia, gdyż ograniczają rozprzestrzenianie się płomienia w materiale poprzez obniżenie zawartości tlenu na skutek wydzielania niepalnych cząstek gazu w obszarze działania ognia. Ponadto, charakteryzują się miłym chwytem, dobrymi własnościami higienicznymi i estetyką wykonania [9].

W artykule przedstawiono wyniki prac badawczych z zastosowania przędz specjalnych do opracowania materiałów dziewiarskich z przeznaczeniem na wybrane grupy odzieżowych ochron osobistych przed czynnikami gorącymi. Materiały poddano ocenie w zakresie właściwości palnych, odporności na promieniowanie cieplne, wysoką temperaturę oraz podstawowych parametrów strukturalnych i użytkowych [10, 11, 12].

2. Materiały dziewiarskie z przędz aramidowych

Założeniem prac badawczych było opracowanie materiału dziewiarskiego z przeznaczeniem na kominiarki dla strażaków, które dla tej grupy zawodowej stanowią element wyposażenia zasadniczego w odzieży ochronnej [13]. Właściwości użytkowe materiałów określono na podstawie wymagań normy przedmiotowej PN – EN 13911:2006 [14] oraz przy współpracy z Wytwórnią Umundurowania Strażackiego z Brzeziny. W celu zapewnienia funkcji ochronnych przed czynnikami gorącymi, do opracowania materiału dziewiarskiego wytypowano przędze z włókien aramidowych.

Prace badawcze ukierunkowano na zastosowanie przędz różnych producentów oraz ich ocenę do zastosowania na określony asortyment odzieży ochronnej. Do realizacji prób dzianin wytypowano przędze o masie liniowej 20 tex i następującej charakterystyce surowcowej:

- produkcji włoskiej: 100% włókien meta – aramidowych (wariant dzianiny ozn. 1),
- produkcji niemieckiej: 100% włókien meta – aramidowych (wariant dzianiny ozn. 1a),
- produkcji chińskiej: 95% włókien meta – aramidowych /5% włókien para – aramidowych (wariant dzianiny ozn. 2),
- produkcji niemieckiej: 95% włókien meta – aramidowych /5% włókien para – aramidowych (wariant dzianiny ozn. 2a),

Rozwiązania strukturalne materiałów dziewiarskich opracowano zależnie od założonego kierunku ich przeznaczenia w wyrobie finalnym. Próby dzianin wykonano techniką dziania rządkowego z zastosowaniem rozwiązań splotowych oraz parametrów technologicznych zapewniających otrzymanie przede wszystkim wysokiego stopnia wypełnienia struktury materiału przędzą, dobrą elastyczność w kierunku poprzecznym dzianin i gładką powierzchnię użytkową w wyrobie finalnym. Proces wykończenia dzianin zrealizowano stosując klasyczne metody i procedury wynikające z rodzaju surowca. Dzianin nie poddano procesowi wybarwienia w celu zachowania naturalnego koloru zastosowanych przędz (kremowy, „kość słoniowa”), co znajduje uzasadnienie w obecnie preferowanym kolorze kominiarek dla strażaków.

W tabeli 1 przedstawiono charakterystykę wybranych właściwości dzianin wykończonych w zakresie podstawowych parametrów strukturalnych (ścisłości rządkowej P_{rz} , kolumnkowej P_k i powierzchniowej P_p) oraz masy powierzchniowej m_p i zmiany wymiarów po 5. cyklach prania dla kierunku wzdłużnego Z_w i poprzecznego Z_p dzianin. Przedstawione wyniki stanowią wartości średnie z pomiarów parametrów wykonanych zgodnie z wymaganiami norm przedmiotowych dla materiałów tekstylnych [15, 16, 17, 18, 19].

Tabela 1. Charakterystyka podstawowych parametrów strukturalnych i użytkowych dzianin

Ozn. wariantu dzianiny	P_{rz} , liczba rządków / dm	P_k , liczba kolumnek / dm	P_p , liczba oczek / dm ²	m_p , g / m ²	Względna zmiana wymiarów po 5. praniach, %	
					Z_w	Z_p
1	131	133	17423	240	-1,5	-3,0
1a	147	137	20139	251	-1,0	-5,0
2	140	125	17500	241	-3,0	-2,0
2a	140	125	17500	240	-5,0	-4,5

W wyniku zastosowanych rozwiązań splotowych i surowcowych otrzymano warianty dzianin ogólnie charakteryzujące się podobnymi parametrami strukturalnymi, przy czym wariant ozn. 1a wykazuje niewielką różnicę w wartościach parametrów strukturalnych w porównaniu do pozostałych wariantów dzianin ozn. 1, 2 i 2a (masa powierzchniowa wyższa o ca 5% przy wyższym o ca 15% zagęszczeniu oczek w strukturze dzianiny).

Wstępna ocena organoleptyczna opracowanych wariantów dzianin wykazała dobre wypełnienie przędzą, równomierną strukturę, gładką powierzchnię, na ogół przyjemny i miękki chwyt, dobrą układalność, sprężystość w kierunku poprzecznym oraz odporność na mięcie. Cechy te są istotne w aspekcie planowanego przeznaczenia materiałów na określony asortyment odzieżowych wyrobów ochronnych. Wariant dzianiny, który wykonano z przędzy producenta chińskiego (ozn. 2) otrzymał najgorszą ocenę właściwości powierzchniowych z uwagi na szorstki chwyt.

Zgodnie z wymaganiami normy dla kominarek strażackich PN – EN 13911: 2006, badania stabilności wymiarowej i specjalnych właściwości użytkowych zrealizowano dla stanu dzianin wykończonych, po 5. cyklach prania i suszeniu (tzw. wstępne przygotowanie materiału do badań). Warunki procesu prania i suszenia materiałów określono zależnie od planowanego asortymentu wyrobów ochronnych oraz wymagań normy dla tekstyliów PN – EN ISO 6330:2002 [19].

Wyniki badań stabilności wymiarowej (tabela 1) wykazują, że opracowane materiały dziewiarskie spełniają w tym zakresie wymagania użytkowe normy przedmiotowej dla odzieży ochronnej [14], według których wartość ocenianego parametru nie powinna przekraczać 5%.

Założenia konstrukcyjne wyrobów ochronnych w asortymencie kominarek strażackich obejmowały zastosowanie materiałów dziewiarskich w układzie dwuwarstwowym. W związku z tym właściwości specjalne oznaczono zgodnie z tymi założeniami, stosując w badaniach układ dwóch warstw dzianiny. Badania cech ochronnych materiałów przed działaniem czynników gorących obejmowały oznaczenie następujących parametrów:

- odporności na zapalenie,
- przenikanie ciepła przy działaniu płomienia,
- przenikanie ciepła przy działaniu promieniowania cieplnego,
- odporności na wysoką temperaturę.

Badania odporności materiałów na zapalenie i przenikanie ciepła od płomienia i promieniowania cieplnego wykonano w Laboratorium Badań Palności Wyro-

bów Instytutu Włókiennictwa, natomiast odporności na działanie wysokiej temperatury w Laboratorium Badań Metrologicznych Instytutu Technologii Bezpieczeństwa „MORATEX” w Łodzi.

Właściwości palne materiałów dziewiarskich określono metodą badania wskaźnika ograniczonego rozprzestrzeniania płomienia w teście na zapalenie powierzchniowe [20]. Badania obejmowały organoleptyczną ocenę rozprzestrzeniania się płomienia na próbkach dzianin, pomiar czasu dalszego palenia i żarzenia się materiału oraz czasu palenia ewentualnie występujących płonących lub stopionych szczątków po paleniu materiału. Badania wykazały dla wszystkich ocenianych wariantów dzianin:

- brak palenia do górnej i pionowej krawędzi próbki,
- czas następczego spalania płomieniowego wynosi 0 s,
- czas następczego żarzenia wynosi 0 s,
- brak płonących lub stopionych szczątków po paleniu,
- po wykonaniu testów palenia w próbkach dzianin nie powstała dziura.

Ocena właściwości palnych wykazała, że opracowane dzianiny spełniają w tym zakresie wymagania normy przedmiotowej dla określonego asortymentu odzieży ochronnej [14].

Przewodnictwo cieplne materiałów od płomienia określono z zastosowaniem metodyki badań według normy dla odzieży ochronnej PN – EN 367:1996, w której ciepło przenikające przez próbkę materiału mierzone jest za pomocą kalorymetru (znormalizowanej płyty miedzianej), będącego w bezpośrednim kontakcie z badanym materiałem [21]. Zgodnie z metodyką pomiaru, właściwości ochronne materiałów określone są wskaźnikami przenikania ciepła HTI_{24} i HTI_{12} , które oznaczają średni czas wzrostu temperatury kalorymetru odpowiednio o $24,0 \pm 2^\circ\text{C}$ i $12,0 \pm 1^\circ\text{C}$. Pomiaru zrealizowano w warunkach działania strumienia cieplnego płomienia o gęstości $80 \text{ kW} / \text{m}^2$. Grubość materiału w układzie dwuwarstwowym wynosiła 3,5 mm w stanie nieobciążonym oraz 3 mm pod płytą ustawiającą kalorymetr. Wyniki badań wskaźników przenikania ciepła od płomienia przedstawiono w tabeli 2.

Właściwości ochronne dzianin przed promieniowaniem cieplnym określono poprzez pomiar czasu wzrostu temperatury kalorymetru t_{12} i t_{24} , odpowiednio o $12,0 \pm 1^\circ\text{C}$ i $24,0 \pm 2^\circ\text{C}$ przy zastosowaniu strumienia cieplnego o gęstości $20 \text{ kW} / \text{m}^2$. Wyniki badań wyrażono współczynnikami przenoszenia promieniowania cieplnego $RHTI_{12}$ i $RHTI_{24}$, które stanowią obli-

czoną z dokładnością do 0,1 s wartość średnią z pomiarów odpowiednio czasu t_{12} i t_{24} (tabela 3). Badania

wykonano zgodnie z wymaganiami normy dla odzieży ochronnej PN – EN ISO 6942:2005 [22].

Tabela 2. Wyniki badań odporności dzianin na przenikanie ciepła przy działaniu płomienia

Ozn. wariantu dzianiny	Wskaźnik przenikania ciepła HTI_{24}, s	Wskaźnik przenikania ciepła HTI_{12}, s	$HTI_{24} - HTI_{12}, s$
1	16	11	5
1a	17	12	5
2	19	12	7
2a	18	12	6

Tabela 3. Wyniki badań odporności dzianin na przenikanie ciepła promieniowania

Ozn. wariantu dzianiny	Wskaźnik przenoszenia promieniowania cieplnego $RHTI_{24}, s$	Wskaźnik przenoszenia promieniowania cieplnego $RHTI_{12}, s$	$RHTI_{24} - RHTI_{12}, s$
1	25,1	14,4	10,7
1a	35,0	20,5	14,5
2	35,0	21,1	13,9
2a	35,3	21,1	14,2

Zgodnie z wymaganiami użytkowymi normy przedmiotowej dla kominiarek strażackich [14], ocenie poddano również wskaźnik wytrzymałości dzianin na wypychanie po ekspozycji na promieniowanie ciep-

łe (tzw. wytrzymałość resztkowa materiału). W badaniach zastosowano metodę hydrauliczną według normy PN – EN ISO 13938 -1: 2 [23]. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wytrzymałość resztkowa materiału po ekspozycji na promieniowanie cieplne

Ozn. wariantu dzianiny	Średnia wytrzymałość na wypychanie, kPa	Średnia wysokość wyoblenia przy pękaniu, mm
1	1975	14
1a	1340	18
2	2422	17
2a	2372	16

Wyniki badań przewodnictwa cieplnego oraz wytrzymałości resztkowej wykazują, że opracowane materiały dziewiarskie w zakresie wszystkich wariantów spełniają wymagania użytkowe normy dla określonego asortymentu odzieży ochronnej [14]. Wymagania te określają wartości wskaźników przenikania ciepła oraz wytrzymałości na wypychanie na następującym poziomie:

- wskaźnik przenikania ciepła przy działaniu płomienia $HTI_{24} \geq 8s$ i $(HTI_{24} - HTI_{12}) \geq 3s$ (tabela 2),

- współczynnik przenikania ciepła promieniowania $RHTI_{24} \geq 11s$ i $RHTI_{24} - RHTI_{12} \geq 3s$ (tabela 3),
- wytrzymałość resztkowa po ekspozycji na promieniowanie cieplne wyrażona siłą rozrywającą przy wypychaniu dzianin metodą hydrauliczną powinna być ≥ 300 kPa.

Analiza porównawcza wyników badań wykazuje, że przy podobnych masach powierzchniowych opracowanych wariantów dzianin (tabela 1) obserwuje się korzystny wpływ udziału włókien para – aramidowych

na właściwości ochronne w zakresie wskaźników przenoszenia ciepła. Najniższe wartości pomiarowe czasu wzrostu temperatury kalorymetru otrzymano dla wariantu dzianiny ozn. 1, który wykonano z przędzy włoskiego producenta (100 % włókien meta – aramidowych).

W odniesieniu do wymagań użytkowych normy dla kominiarek strażackich [14], opracowane materiały dziewiarskie wykazują stosunkowo wysoki poziom wartości parametru wytrzymałości na wypychanie (tabela 4), co jest wynikiem rodzaju zastosowanego surowca. Ponadto, obserwuje się o ca 20 ÷ 45% wzrost wytrzymałości przy zastosowaniu przędzy zawierających 5% udział włókien para – aramidowych (warianty dzianin ozn. 2 i 2a) w stosunku do wariantów dzianin wykonanych z przędzy stanowiących 100% włókien meta – aramidowych (warianty dzianin ozn. 1 i 1a).

Odporność dzianin na działanie wysokiej temperatury określono w warunkach działania ciepła konwekcyjnego z użyciem pieca o wymuszonym ruchu powietrza. Metodę badań opracowano na podstawie normy ISO 17493. 2000 [24]. Badania przeprowadzono w temperaturze powietrza 260°C i czasie ekspozycji materiału 5 minut. Ocenie poddano wygląd próbki dzianiny oraz stabilność wymiarową po działaniu gorącego powietrza. Wyniki badań odporności termicznej dzianin przedstawiono w tabeli 5.

1a i 2a, które wykonano z przędzy producenta niemieckiego.

Wyniki badań właściwości specjalnych dla opracowanych materiałów dziewiarskich wykazały, że w zakresie wszystkich wariantów spełniają one wymagania użytkowe normy przedmiotowej i mogą być stosowane na kominiarki dla strażaków przy zapewnieniu cech ochronnych przed określoną grupą czynników gorących. Najlepszą ocenę właściwości powierzchniowych w aspekcie zastosowania opracowanych materiałów dziewiarskich na wyroby mające bezpośredni kontakt ze skórą użytkownika otrzymały warianty dzianin wykonane z przędzy stanowiących 100% włókien meta – aramidowych producenta niemieckiego (ozn. 1) i włoskiego (1a). Dzianiny te przy współpracy z Wytwórnią Umundurowania Strażackiego z Brzezin wytypowane zostały do produkcji kominiarek. Wyroby z opracowanych przez ZNTDO IW materiałów dziewiarskich, na podstawie certyfikatu zgodności z wymaganiami norm [14, 25] oraz WBO CNBOP [26] otrzymały przez Centrum Naukowo – Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej w Józefowie świadectwo dopuszczenia do zastosowania jako odzież ochronna dla strażaków nr 0027/2007. Na zdjęciu 1 zaprezentowano wyrób finalny z opracowanego przez IW materiału dziewiarskiego, który został dopuszczony do praktycznego zastosowania w wyposażeniu odzieży ochronnej dla strażaków.

Tabela 5. Odporność dzianin na ciepło w temperaturze 260°C

Oznaczenie wariantu dzianiny	Zmiana wymiarów po działaniu gorącego powietrza, %		Wygląd próbki po badaniu (ocena wizualna)
	dla kierunku wzdłużnego	dla kierunku poprzecznego	
1	- 1,0	- 2,0	nieznaczna zmiana barwy
1a	0	- 1,0	bez zmian
2	- 1,5	0	nieznaczna zmiana barwy
2a	- 1,0	0	brak zmian

Zgodnie z wymaganiami użytkowymi normy dla odzieży ochronnej PN – EN 13911:2006 [14], materiały w ocenie odporności na ciepło w temperaturze 260°C nie powinny się topić, kapać, ulegać zapłonowi, pękać i kurczyć o więcej niż 10%. Wyniki badań wykazują, że opracowane materiały dziewiarskie w zakresie wszystkich wariantów spełniają te wymagania. Ponadto, należy podkreślić, że w odniesieniu do wymaganego poziomu wartości parametru kurczliwości dzianiny charakteryzują się stosunkowo niską zmianą wymiarów po ekspozycji na wysoką temperaturę. Najlepszą ocenę wyglądu próbek dzianin po przeprowadzeniu testu odporności termicznej otrzymały warianty ozn.



Zdjęcie 1. Kominiarka strażacka z materiału dziewiarskiego opracowanego przez ZNTDO IW w Łodzi

3. Materiały dziewiarskie z przędz zawierających modakrylowe włókna trudno palne

W wyniku analizy potrzeb krajowego rynku produkcyjno – handlowego w zakresie odzieży ochronnej przed czynnikami gorącymi oraz zainteresowania odbiorców tekstyliów specjalnych, podjęto prace badawcze nad opracowaniem materiału dziewiarskiego o wiodącym przeznaczeniu na wyroby bielizniane (np. koszulki, getry). Materiały mogą znaleźć również zastosowanie jako dodatkowe wyposażenie ochronne dla służb mundurowych oraz warstwy wewnętrznej odzieży ochronnej dla pracowników w obszarach zagrożonych czynnikami gorącymi.

Tabela 6. Charakterystyka parametrów strukturalnych i użytkowych materiału dziewiarskiego, wykonanego z przędzy zawierającej modakrylowe włókna trudno palne

Ścisłość rządkowa, liczba rządków / dm	134	
Ścisłość kolumnkowa, liczba kolumniek / dm	123	
Ścisłość powierzchniowa, liczba oczek / dm ²	16482	
Masa powierzchniowa, g / m ²	211	
Względna zmiana wymiarów po 5. praniach, %	dla kierunku wzdłużnego	- 3,5
	dla kierunku poprzecznego	+ 0,5
Przepuszczalność powietrza, mm/s	992,1	
Wytrzymałość na przebiecie kulką, daN	36,0	
Wytrzymałość na wypychanie, kPa	224	
Wysokość wyoblenia, mm	31	

Dla przedstawionego asortymentu wyrobów ochronnych podstawowe wymagania użytkowe obejmują ograniczoną zdolność do rozprzestrzeniania płomienia [27]. Działania ukierunkowano na otrzymanie właściwości ochronnych przed działaniem ognia w wyniku wykonania materiału dziewiarskiego z przędz specjalnych. Do prac badawczych wytypowano przędzę zawierającą modakrylowe włókna trudno palne producenta japońskiego. Według danych producenta, materiały wykonane z przędz z udziałem tych włókien zapewniają wysoką trwałość cech specjalnych w zakresie ochrony przed czynnikami gorącymi oraz ograniczają palność poprzez obniżenie zawartości tlenu w obszarze działania ognia na skutek wydzielania niepalnych cząstek gazu. Ponadto, dotychczas znane zastosowanie przędz zawierających ten rodzaj włókien obejmuje jedynie materiały tekstylne wytwarzane technikami tkackimi. Przędze mogą stanowić 100% włókien modakrylowych lub też, w zależności od wymagań odbiorców, mogą być wytwarzane w mieszankach z włóknami wiskozy, akrylu, bawełny, wełny, lnu oraz poliestru i polipropylenu.

W wyniku analizy ofert producenta przędz oraz planowanego kierunku przeznaczenia materiału dziewiarskiego na wyroby bielizniane, do badań wyty-

powano przędzę o masie liniowej 20 tex zawierającą 60% modakrylowych włókien trudno palnych i 40% włókien bawełny. Podstawowe założenia strukturalne obejmowały zastosowanie techniki dziania rządkowe-go oraz rozwiązań splotowych zapewniających otrzymanie materiału dziewiarskiego o wysokim stopniu wypełnienia przędzą oraz właściwościach zgodnych z przyjętym kierunkiem przeznaczenia. W tabeli 6 przedstawiono wartości średnie z wyników badań podstawowych parametrów strukturalnych, masy powierzchniowej i wybranych właściwości użytkowych dla materiału dziewiarskiego po procesie wykończenia. Badania wykonano według norm dla wyrobów włókienniczych [15 – 19, 28, 29, 30].

Wstępna ocena organoleptyczna dzianiny wykazała dobre wypełnienie przędzą, miękki chwyt oraz cechy materiału mogącego znaleźć zastosowanie na wyroby bielizniane. Przedstawione w tabeli 6 wyniki badań obrazują dobrą stabilność wymiarową opracowanego materiału ($\pm 5\%$). Otrzymane wartości parametru przepuszczalności powietrza kształtują się na poziomie, który zapewnia użytkownikowi komfort fizjologiczny w wyrobieniu odzieżowym. Ponadto, charakterystyka właściwości wytrzymałościowych dzianiny w przedstawionym zakresie wykazuje, że materiał zastosowany zgodnie z założonym kierunkiem przeznaczenia zapewni dobrą jakość użytkową w wyrobieniu.

Właściwości palne materiału dziewiarskiego określono metodą badania wskaźnika ograniczonego rozprzestrzeniania płomienia. Badania przeprowadzono w Laboratorium Badań Palności Wyrobów IW według normy PN – EN ISO 15025:2005 [20]. Odporność materiału na działanie ognia określono w testach na zapalenie powierzchniowe i dolnej krawędzi próbki w warunkach działania płomienia przez czas 10 s. Testy wykonano dla dzianiny po procesie wykończenia oraz po 5. cyklach prania i suszenia. Warunki przygotowania materiału do badań określono według wymagań norm dla odzieży ochronnej i tekstyliów [19, 25]. Ocenie poddano próbki dzianin w układzie jednowarstwowym o wymiarach 200 x 160 mm.

Wyniki testów wykazały odporność opracowanego materiału dziewiarskiego na zapalenie. Podczas badania nastąpiło zwęglenie próbek materiału w miejscu działania płomienia zapalającego. Ocena materiału w teście na zapalenie dolnej krawędzi wykazała, że po usunięciu medium palnego występuje następcze żarzenie w obszarach zwęglonych. Nie zaobserwowano występowania stopionych szczątków materiału po paleniu. Wymiary zniszczenia próbek, czas następczego żarzenia oraz długość strefy zwęglenia przedstawiono w tabeli 7. Wyniki badań stanowią wartość średnią z $n = 3$ pomiarów.

Tabela 7. Charakterystyka właściwości palnych materiału dziewiarskiego wykonanego z przędzy zawierającej modakrylowe włókna trudno palne

Czas dalszego żarzenia, s		Wymiary zniszczenia próbki (szerokość / długość), mm		Długość zwęglenia, mm	
kierunek wzdlużny	kierunek poprzeczny	kierunek wzdlużny	kierunek poprzeczny	kierunek wzdlużny	kierunek poprzeczny
dla n = 3	dla n = 3	dla n = 3	dla n = 3	dla n = 3	dla n = 3
Ocena w teście na zapalenie powierzchniowe					
brak	brak	75 / 23	78 / 21	–	–
Ocena w teście na zapalenie dolnej krawędzi					
12	11	98 / 23	104 / 23	111	126

Według klasyfikacji określonej wymaganiami normy PN – EN 533:2001, opracowany materiał dziewiarski wykazuje 3 poziom wskaźnika ograniczonego rozprzestrzeniania płomienia. Wymagania normy nie wykluczają materiału do zastosowania w bezpośrednim kontakcie ze skórą.

Materiał poddano również ocenie w zakresie właściwości ochronnych przed czynnikami gorącymi z zastosowaniem wybranych procedur określonych wymaganiami normy dla kominiarki strażackiej PN – EN 13911:2006 [14]. Charakterystykę wskaźników przewodnictwa cieplnego dzianiny przedstawiono w tabeli 7. Badania przeprowadzono w Laboratorium Badań Palności Wyrobów Instytutu Włókiennictwa zgodnie z wymaganiami norm dla odzieży ochronnej [21, 22]. Wskaźniki przewodnictwa cieplnego dzianiny przy działaniu płomienia wyznaczono w warunkach działania strumienia cieplnego o gęstości 80 kW / m². Właściwości ochronne materiału na przenikanie ciepła przy działaniu promieniowania cieplnego określono dla gęstości padającego strumienia cieplnego 20 i 40 kW / m².



Zdjęcie 2. Wyroby bieliźniane z trudno palnego materiału dziewiarskiego opracowanego przez ZNTDO IW

$RHTI_{24} \geq 11$ s, $RHTI_{24} - RHTI_{12} \geq 3$ s (dla gęstości strumienia cieplnego 20 kW / m²).

Z uwagi na rodzaj zastosowanego surowca, materiał dziewiarski wykonany z przędzy zawierającej modakrylowe włókna trudno palne charakteryzują niższe wartości wskaźnika przenikania ciepła przy działaniu płomienia w porównaniu do materiałów opracowa-

Tabela 8. Charakterystyka wskaźników odporności na przenikanie ciepła dzianiny wykonanej z przędzy zawierającej modakrylowe włókna trudno palne.

Wskaźniki przenikania ciepła przy działaniu płomienia	HTI_{24} , s	HTI_{12} , s	$HTI_{24} - HTI_{12}$, s
		11	8
Współczynniki przenoszenia promieniowania cieplnego (gęstość strumienia ciepła: 20 kW / m ² ± 2%)	$RHTI_{24}$, s	$RHTI_{12}$, s	$RHTI_{24} - RHTI_{12}$, s
	25,3	16,9	8,4
Współczynniki przenoszenia promieniowania cieplnego (gęstość strumienia ciepła: 40 kW / m ² ± 2%)	$RHTI_{24}$, s	$RHTI_{12}$, s	$RHTI_{24} - RHTI_{12}$, s
	10,3	8,0	2,3

W odniesieniu do wymagań użytkowych materiałów przeznaczonych na kominiarki strażackie [14], przedstawione w tabeli 7 wyniki badań wykazują dobry poziom wskaźników odporności na przenikanie ciepła: tj. $HTI_{24} \geq 8$ s, $HTI_{24} - HTI_{12} \geq 3$ s oraz

nych z zastosowaniem przędz aramidowych (tabela 2 i 3). Obserwuje się natomiast, że wartości współczynników przenoszenia ciepła promieniowania, określone dla gęstości strumienia cieplnego 20 kW / m², są dla ocenianej dzianiny na porównywalnym poziomie

w odniesieniu dla materiału dziewiarskiego wykonanego z przędzy producenta włoskiego stanowiącej 100% włókien meta – aramidowych (tabela 3, wariant dzianiny ozn.1). Należy jednak podkreślić, że w badaniach właściwości ochronnych dzianin z przędz aramidowych, wariant ten wykazał najniższe wartości wskaźników przenoszenia ciepła.

Materiał dziewiarski zawierający modakrylowe włókna trudno palne poddano również ocenie w zakresie odporności na wysoką temperaturę z zastosowaniem procedur i warunków termicznych jak w badaniach dzianin z przędz aramidowych [24]. Badania przeprowadzono w Laboratorium Badań Metrologicznych Instytutu Technologii Bezpieczeństwa „MORATEX” w Łodzi. Wyniki badań wykazały brak odporności materiału w określonych warunkach termicznych.

Charakterystyka właściwości specjalnych wykazuje możliwość zastosowania materiału dziewiarskiego zawierającego modakrylowe włókna trudno palne na warstwy wewnętrzne w układach odzieży ochronnej przed czynnikami gorącymi. Przykładowy asortyment wyrobów bieliznianych, wykonanych z opracowanej dzianiny przedstawiono na zdjęciu 2. Materiał może znaleźć również zastosowanie na wyroby ochronne w obszarach występowania ryzyka zapalenia odzieży w warunkach niskiego poziomu promieniowania (do 2 kW / m²).

Opracowany przez ZNTDO IW materiał dziewiarski otrzymał certyfikat zgodności z wymaganiami norm dla materiałów o ograniczonym rozprzestrzenianiu płomienia PN – EN 533:2001 oraz dla odzieży ochronnej PN – EN 13911:2006 (z wyłączeniem p. 6.1.6) i PN – EN 340:2006 w zakresie wykluczenia niekorzystnego oddziaływania na zdrowie lub higienę użytkownika (p. 4.2).

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla środków ochrony indywidualnej (Dz.U.2005 nr 259 poz. 2173) –wprowadzenie postanowień dyrektywy 89/686/EWG.
2. PN-EN 531:1999 Odzież ochronna dla pracowników narażonych na działanie czynników gorących.
3. Portal wiedzy o BHP. CIOP – PIB. Odzież chroniąca przed gorącymi czynnikami termicznymi. <http://www.ciop.pl>
4. E. Machnikowska – Kiereś: Wymagania stawiane wyrobom włókienniczym w zakresie palności. Materiały konferencyjne XXIII Seminarium Polskich Chemików Kolorystów, Elbląg, 03-06.10.2007r.

5. P. Lewandowski, E. Machnikowska – Kiereś: Wykończenia wyrobów włókienniczych w kontekście ich użytkowania. Materiały konferencyjne XIX Seminarium Polskich Chemików Kolorystów, Piła, 17-20.09.2003r.
6. Materiały informacyjne firmy Kermel 2008
7. T. Wódka: Postęp w dziedzinie włókien technicznych. Materiały konferencyjne XX Seminarium Polskich Chemików Kolorystów, Ostrowiec Świętokrzyski, 22-25.09.2004r.
8. KynolTM. Materiały informacyjne firmy Gunei Chemical Industry Co., Ltd.
9. Materiały informacyjne firm Waxman Fibres Ltd & Waxman Internatonal, Gotan – Group.
10. Projekt Międzynarodowy UE Inicjatywa EUREKA E! 3191 MULFUNC. Multifunctional woven and knitted fabrics for modern high quality barrier textile materials and work-wear. ITTD “Tricotextil”, 2004 – 2007.
11. A. Pinar, J. Janicka, K. Naze: Materiały dziewiarskie w zastosowaniu na wybrane ochrony osobiste dla pracowników narażonych na działanie wysokich temperatur. Materiały konferencyjne. VIII Międzynarodowe Sympozjum Naukowo Techniczne. Szydłów, 26. – 28. 06. 2008 r.
12. E. Mielicka, A. Pinar, J. Janicka: Developing the Multifunctional underwear goods in Front of Requirements for Protective Garments. 44 Congress IFKT, Materiały Konferencyjne, 23-27 September 2008 r., St. Petersburg.
13. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 30 listopada 2005 r. w sprawie umundurowania strażaków Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U.2006 nr 4 poz. 25)
14. PN – EN 13911:2006. Odzież ochronna dla strażaków. Wymagania i metody badania kominiarek dla strażaków.
15. PN – 85 / P – 04787. Metody badań wyrobów włókienniczych. Dzianiny i wyroby dziane. Wyznaczanie liczby rządków i kolumnienek.
16. PN – P – 04613:1997.Tekstyliia. Dzianiny i przędzy. Wyznaczanie masy liniowej i powierzchniowej. Metoda E.
17. PN – EN 25077: 1998. Tekstyliia. Wyznaczanie zmiany wymiarów po praniu i suszeniu.
18. PN – EN ISO 3759: 1998. Tekstyliia. Przygotowanie, znakowanie i pomiar płaskiego wyrobu i odzieży do wyznaczania zmiany wymiarów.
19. PN – EN ISO 6330: 2002. Tekstyliia. Metody prania domowego i suszenia stosowane do badania płaskiego wyrobu włókienniczego.
20. PN – EN ISO 15025: 2005. Odzież ochronna.

- Ochrona przed gorącym i płomieniem. Metoda badania ograniczonego rozprzestrzeniania płomienia. Procedura A. Ocena w teście na zapalenie powierzchniowe.
21. PN – EN 367:1996. Odzież ochronna. Ochrona przed ciepłem i płomieniem. Metoda wyznaczania ciepła przy działaniu płomienia.
 22. PN – EN ISO 6942: 2005. Odzież ochronna. Ochrona przed gorącym i ogniem. Metoda badania: Ocena materiałów i zestawów materiałów poddanych działaniu promieniowania cieplnego. Metoda B.
 23. PN – EN ISO 13938 -1: 2. Tekstyli. Wypychanie płaskich wyrobów. Część 1: Metoda hydrauliczna wyznaczania wytrzymałości na wypychanie i wyoblenia przy pękaniu.
 24. PBM – 04 ITTW: 2005 według ISO 17493. 2000. *Clothing and equipment for protection against heat. Test method for convective heat resistance using a hot air circulating oven.* Instytut Technologii Bezpieczeństwa „Moratex” w Łodzi.
 25. PN – EN 340: 1996. Odzież ochronna. Wymagania ogólne.
 26. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 30 listopada 2005 r. w sprawie umundurowania strażaków Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U.2006 nr 4 poz. 25)
 27. PN – EN 533: 2001. Ochrona przed gorącym i płomieniem. Materiały i układy materiałów o ograniczonym rozprzestrzenianiu płomienia.
 28. PN – EN ISO 9237: 1998. Tekstyli. Wyznaczanie przepuszczalności powietrza wyrobów włókienniczych.
 29. PN – 79/ P-04738. Metody badań wyrobów włókienniczych. Wyznaczanie wytrzymałości na przecięcie.
 30. PN – EN ISO 13938-2:2002. Tekstyli. Wypychanie płaskich wyrobów. Część 2: Metoda pneumatyczna wyznaczania wytrzymałości na wypychanie i wyoblenia przy pęknięciu.

GORE-TEX® Technical Garments for the Workplace

J. Sęk

W.L. Gore & Associates Polska Sp. zo.o.

1. “Our products do what we say they will do”

Those who must decide today which weather- and work- protective clothing is most suitable for their company are not to be envied:

The market is often inscrutable. An increasing number of providers are promoting a huge range of textiles, and more and more material mixes are appearing on the market. Many promise superior weather protection and often other protective functions at increasingly lower prices. But often the quality levels and the durability are worlds apart.

How waterproof, for example, are the closures in a rain jacket? How long will the seams at the shoulders or hood resist a downpour? How many hours can people who are exposed to unsettling weather conditions in their daily work rely on their protective clothing?

With GORE-TEX® branded products Gore has, right from the start, pioneered waterproof, windproof and breathable high-performance textiles for protective clothing. For three decades, high-quality GORE-TEX® products have been valued in the most varied areas as best in class. Whether in competitive sports, on a building site or during a military operation, the extraordinary performance and durability of GORE-TEX® clothing is legendary, even under the most difficult conditions.

2. The “fit for Use” principle

Whether or not weather-protective clothing can withstand the conditions in which it will be used depends, above all, on the precise laminate selection and its correct manufacturing into a garment designed to