

bryg. dr inż. Renata Kamocka-Bronisz

bryg. mgr inż. Sławomir Bronisz

Zakład Mechaniki Stosowanej

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Analiza zużycia tkaniny zewnętrznej ubrania specjalnego dla strażaków

Abstrakt

Tkaniny przeznaczone na odzież ochronną należą do grupy wyrobów narażonych na trudne warunki eksploatacyjne: działanie sił tarcia i wielokierunkowego rozciągania. Przeprowadzone badania, których wyniki opisano w artykule, miały na celu pokazanie zmian zachodzących w tkaninach w czasie ich przyspieszonego zużycia – ścierania. Ocenę zużycia prowadzono na podstawie badań wytrzymałości resztkowej na przebicie kulką po cyklach ścierania dla czterech rodzajów tkanin. Badania porównawcze pozwoliły na ocenę ich przydatności i optymalizację doboru tkaniny zewnętrznej ubrania specjalnego strażaka.

Słowa kluczowe: odzież ochronna , ścieranie, wytrzymałość, przebicie kulką

Analysis of the Wear of Special Firefighters' Clothing External Outershell

Abstract

Fabrics intended for protective clothing belong to a group of materials subjected to difficult operating conditions: frictional forces and multidirectional tensile. The conducted studies, which results have been presented in the article, aimed at demonstrating changes occurring in the fabrics at conditions of accelerated wear – abrasion. The assessment of wear, based on the studies of residual ball bursting strength after abrasion for 4 types of fabrics, was performed. Comparative studies have allowed to assess the fabrics usefulness and optimise the choice for the firefighters' protective clothing.

Keywords: protective clothing, abrasion, strength, ball burst

1. Odzież ochronna strażaka

Odzież ochronna dla strażaka, jako wyrób należący do grupy środków ochrony indywidualnej, podlega wielu aktom prawnym. Środki ochrony indywidualnej strażaka muszą spełniać łącznie poniższe wymagania:

- Ustawy z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności (Dz. U. z 2010 r. Nr 138, poz. 935);
- Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 21.12.2005 r. w sprawie wymagań zasadniczych dla środków ochrony indywidualnej (Dz. U. 2005 r. Nr 259, poz. 2173);
- Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 27 kwietnia 2010 r. (poz. 553) w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (tzn. posiadać świadectwo dopuszczenia Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowego Instytutu Badawczego im. Józefa Tuliszkowskiego – ośrodka, który jest jednostką notyfikowaną (nie laboratorium notyfikowanym) do dyrektywy 89/686/EWG);
- Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 30 listopada 2005 r. w sprawie umundurowania strażaków Państwowej Straży Pożarnej (Dz. U. z 2006 r. Nr 4, poz. 25);
- Zarządzenia nr 9 Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej z dnia 5 lutego 2007 r. w sprawie wzorów oraz szczegółowych wymagań, cech technicznych i jakościowych przedmiotów umundurowania, odzieży specjalnej i środków ochrony indywidualnej użytkowanych w Państwowej Straży Pożarnej (Dz. U. KG PSP z 2009 r. Nr 2, poz.17);
- EN ISO 13688:2013 (PN EN ISO 13688:2013-12) Odzież ochronna. Wymagania ogólne;
- PN-EN 469:2014 „Odzież ochronna dla strażaków – Wymagania użytkowe dotyczące odzieży ochronnej przeznaczonej do akcji przeciwpożarowej” [6].
Ubranie specjalne w sposób skuteczny musi zapewnić ochronę przed:
 - promieniowaniem cieplnym i płomieniem,
 - cząstkami stopionego metalu,
 - przenikaniem płynnych chemikaliów,
 - olejami mineralnymi,
 - wilgocią pochodzącą z deszczu lub wody gaśniczej,
 - czynnikami mechanicznymi.

Jednocześnie ubranie powinna cechować [3]:

- wysoka wytrzymałość materiałów (odporność na rozdarcie i przetarcie),
- komfort użytkowania (ergonomia i fizjologia),
- prostota konserwacji i utrzymania,
- dostateczna widzialność,
- trwałość.

2. Konstrukcja ubrania ochronnego

Wielowarstwowe elementy odzieży często są użytkowane w przemyśle oraz przez służby: wojsko, policję i straż pożarną.

Składają się one z warstwy zewnętrznej, membrany, warstwy termoizolacyjnej oraz podszewki, która, w zależności od modyfikacji, może stanowić oddzielną warstwę (ubranie czterowarstwowe) lub być połączona z warstwą termoizolacyjną (ubranie trzywarstwowe), a nawet z podszewką (ubranie dwuwarstwowe). Każda z warstw musi posiadać określone właściwości. Elementy odzieży muszą być odporne na rozrywanie, trudnopalne, o dobrej izolacyjności termicznej oraz nie powinny przepuszczać wody i jednocześnie odprowadzać wilgoć z ciała użytkownika na zewnątrz. Zwykle warstwa wierzchnia wytworzona jest z materiału o dużej wytrzymałości mechanicznej, trudnopalnego, podczas gdy bariera wilgoci umieszczona jest między warstwą górną a podszewką i ma budowę dwuwarstwową.



Rys. 1. Przykładowy model warstwowego ubrania ochronnego

1 – warstwa zewnętrzna, 2 – membrana, 3 – warstwa termoizolacyjna, 4 – podszewka

Warstwa zewnętrzna (Outershell) może być wykonywana z tkanin [1], [2]:

- para – i meta-aramidowych typu Nomex, Kermel, Teijinconex,
- aramidowych typu Kevlar, Twaron, Technora,
- poliamidowych typu PBI, PBO,
- impregnowanej tkaniny bawełnianej.

3. Ubranie ochronne strażaka zgodnie z PN-EN 469

Odzież ochronna strażaków musi być zgodna m.in. z PN-EN 469:2014 „Odzież ochronna dla strażaków – Wymagania użytkowe dotyczące odzieży ochronnej przeznaczonej do akcji przeciwpożarowej” [6], która określa minimalne poziomy wymagań użytkowych dotyczących odzieży chroniącej przed gorącym i ogniem zaprojektowanej do stosowania w czasie akcji przeciwpożarowych. W normie tej zawarto podstawowe informacje na temat minimalnych parametrów technicznych, jakim powinien odpowiadać materiał konstrukcyjny, jak i całe ubranie. Określono również metody badania dla określenia minimalnych poziomów właściwości użytkowych. W normie tej znajdziemy odniesienia m.in. do:

- odporności na przenikanie ciepła od płomienia,
- przenikania ciepła od promieniowania,
- rozprzestrzeniania płomienia,
- wytrzymałości na rozciąganie,
- wytrzymałości na rozerwanie,
- odporności na ciepło,
- odporności na przesiąkanie płynnych chemikaliów,
- odporności na przesiąkanie wody,
- oporu pary wodnej,
- widzialności.

4. Badania tkanin zewnętrznych odzieży specjalnej strażaka

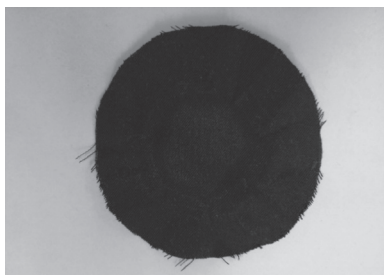
Do badań wykorzystano cztery rodzaje tkanin:

- tkaninę aramidową Nomex Tough,
- tkaninę poliamidową Gemini XLT,
- tkaninę metaamidową ze strukturą rip-stop,
- tkaninę bawełnianą impregnowaną trudnopalnie.

4.1. Tkanina testowa nr 1

Tkanina aramidowa Nomex Tough:

- tkanina NOMEX Outershell Tough (kolor midnight blue) o gramaturze 195 g/m², zawierająca 75% włókien m-aramidowych, 23% włókien p-aramidowych i 2% włókien antystatycznych.

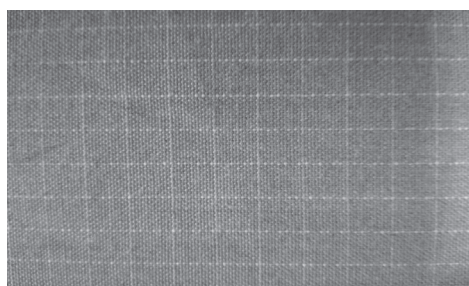


Rys. 2. Próbką tkaniny testowej 1

4.2. Tkanina testowa nr 2

Tkanina poliamidowa Gemini XLT:

- tkanina Gemini XLT o gramaturze 205 g/m², zawierająca 59% włókien p-aramidowych, 39% włókien PBI i 2% włókien antystatycznych Beltron.

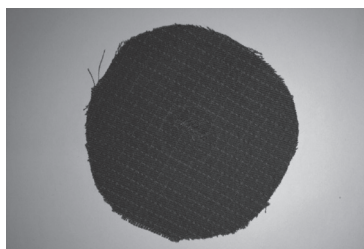


Rys. 3. Próbką tkaniny testowej 2

4.3. Tkanina testowa nr 3

Tkanina metaaramidowa:

- Tkanina metaaramidowa, o gramaturze 190 g/m², zawierająca 98% włókien metaaramidowych, 2% włókien antystatycznych.



Rys. 4. Próbką tkaniny testowej 3

4.4. Tkanina testowa nr 4

Tkanina bawełniana impregnowana trudnopalnie:

- Tkanina bawełniana o gramaturze 280 g/m², zawierająca 100% włókien bawełnianych impregnowana trudnopalnie.



Rys. 5. Próbką tkaniny testowej 4

5. Metodyka badań

Do badań pobrano próbki materiału o średnicy 100 mm.

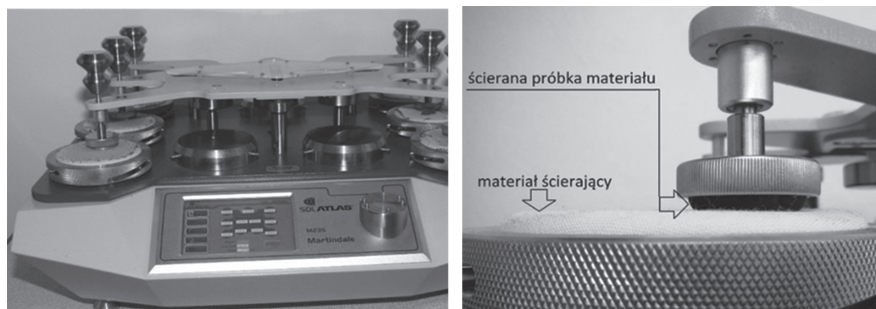
Zastosowane metody oceny:

Grubość tkaniny oznaczono grubościomierzem czujnikowym zegarowym KAFER (dokładność odczytu 0,01mm).

Odporność na ścieranie badano aparatem M235 Martindale przeznaczonym do badania odporności na ścieralnie oraz piling materiałów tekstylnych. Próbki pocierano o materiał ścierający z określonym naciskiem (12 kPa).

Urządzenie wyposażone jest w 6 stanowisk posiadających oddzielne liczniki otarć dla próbek. Aparat Martindale posiada 4 prędkości badań, do wyboru. Standardowa prędkość to 47,5 obr./min. Ścieranie tkanin prowadzono przy prędkości zwiększonej 1,5 raza (71,3 obr./min). Tor ruchu suwaków jest linią prostą przechodzącą w poszerzającą się elipsę, aż do ukształtowania następczej linii prostej z przeciwnej strony (60,5 mm skoku, krzywa Lissajous). Podczas tego testu badana tkanina jest pocierana a liczba tarć, którym poddana jest tkanina, podawana jest jednostce zwanej cyklem lub suwem.

W opisie procesu ścierania (rozdział 6) wprowadzono jednostkę cykli km, oznaczającą tysiąc cykli Martindale'a.



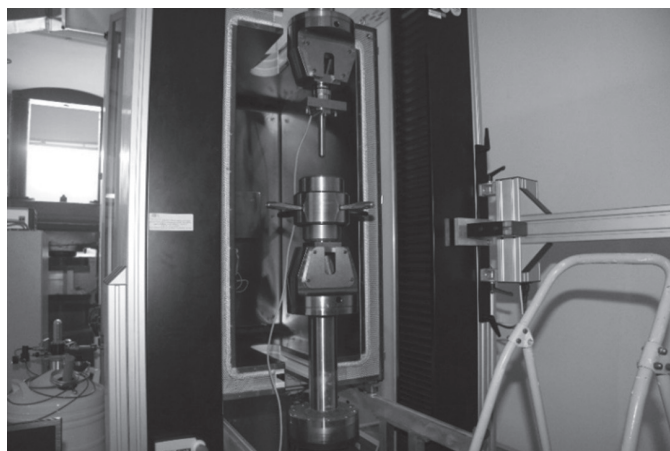
Rys. 6. Widok aparatu Martindale'a

Badanie wytrzymałości na przebicie kulką

Badanie wytrzymałości na przebicie kulką przeprowadzono na zrywarcie z odpowiednim oprzyrządowaniem specjalnym, umożliwiającym przebicie próbki wyrobu włókienniczego prostopadle do jego powierzchni kulką metalową o określonej średnicy (rys. 7). Do badania zastosowano kulkę o średnicy 20 mm.

Badania prowadzono na maszynie wytrzymałościowej LaborTest 6.100SP.1-2-2300. W czasie badania wykorzystano głowicę pomiarową o zakresie siły do 10 kN.

Do badań wykorzystano uchwyt specjalny mocowania próbek, w górnych szczękach maszyny wytrzymałościowej zamontowano trzpień zakończony kulką o średnicy 20 mm. Prędkość przesuwu trawersy ustalono na poziomie 100 mm/min, zgodnie z wytycznymi normy PN-EN ISO 9073-5:2008 [4], [5].



Rys. 7. Widok stanowiska laboratoryjnego do badania wytrzymałości na przebicie kulką

6. Wyniki badań dla testowanych tkanin

Tkanina 1: Tkanina zawierająca para – i meta-aramid typu Nomex Tough

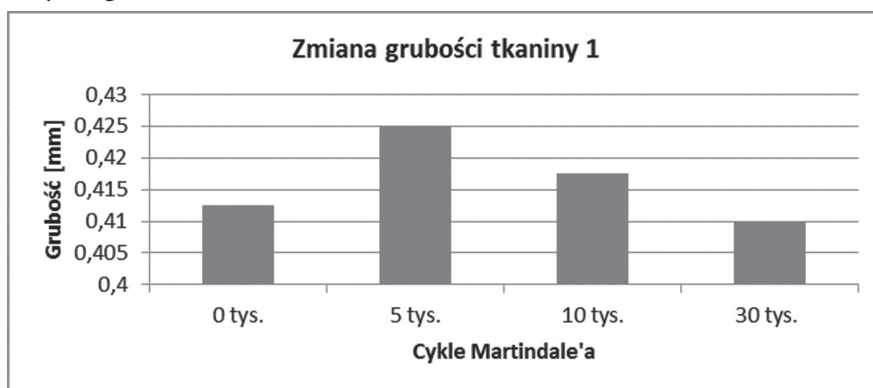
Wyniki testów laboratoryjnych dla tkaniny 1 przedstawiono w tabeli 1 oraz na rys. 8–10.

Tabela 1. Zestawienie wyników badań odporności na ścieranie tkaniny 1

Oznaczenie próbki	Proces zużycia	Wytrzymałość na przebicie kulką [N]	Wydłużenie przy maksymalnej sile [mm]	Współczynnik redukcji wytrzymałości k_m [-]
1	2	3	4	5
Tkanina1_0kM	surowa	648,48±37,36	6,58±0,14	1,00
Tkanina1_5kM	5 tys. cykli	700,72±52,61	5,77±0,83	1,08
Tkanina1_10kM	10 tys. cykli	734,15±140,09	5,97±1,15	1,13
Tkanina1_30kM	30 tys. cykli	549,33±73,82	5,68±1,41	0,85

Źródło: opracowanie własne

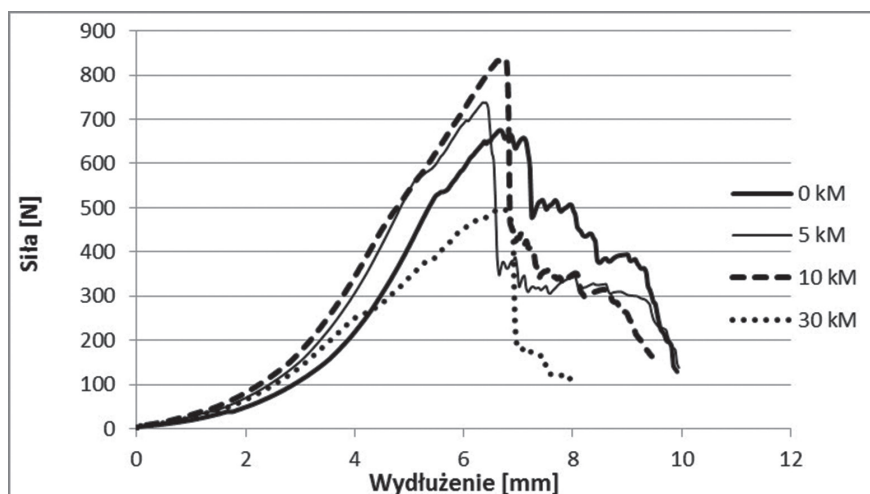
Ubytek grubości:



Rys. 8. Zużycie geometryczne tkaniny 1

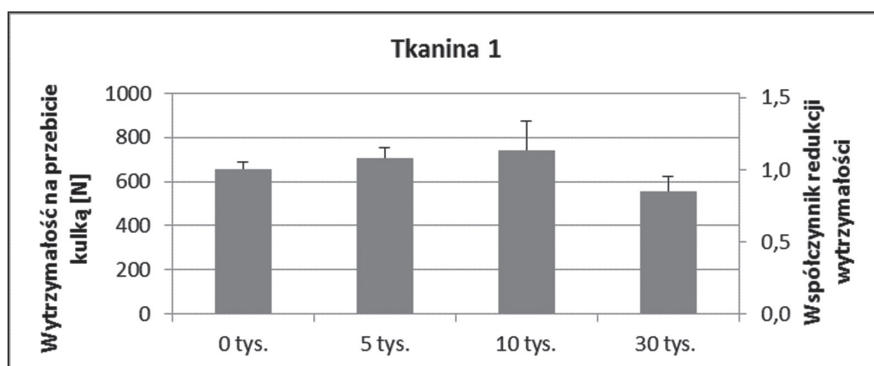
Źródło: opracowanie własne

Wytrzymałość na przebicie kulką po cyklach ścierania:



Rys. 9. Wytrzymałość na przebicie kulką po cyklach ścierania tkaniny 1

Źródło: opracowanie własne



Rys. 10. Porównanie wpływu zużycia na wytrzymałość na przebicie kulką tkaniny 1,

Źródło: opracowanie własne

Tkanina 2: Tkanina poliamidowa typu PBI (Gemini XLT)

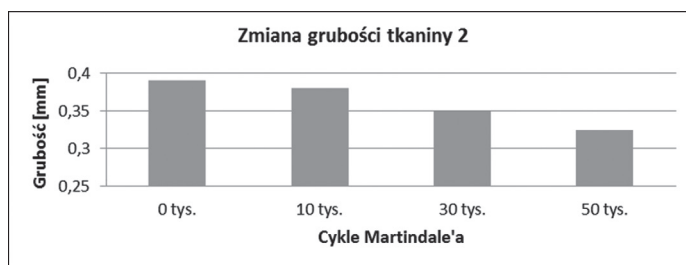
Wyniki testów laboratoryjnych dla tkaniny 2 przedstawiono w tabeli 2 oraz na rys. 11–13.

Tabela 2. Zestawienie wyników badań odporności na ścieranie tkaniny 2

Oznaczenie próbki	Proces zużycia	Wytrzymałość na przebicie kulką [N]	Wydłużenie przy maksymalnej sile [mm]	Współczynnik redukcji wytrzymałości k_m [-]
1	2	3	4	5
Tkanina2_0kM	surowa	1605,35±138,66	10,85±1,13	1,00
Tkanina2_10kM	10 tys. cykli	1289,41±15,80	8,77±0,54	0,80
Tkanina2_30kM	30 tys. cykli	975,01±69,12	5,90±0,54	0,61
Tkanina2_50kM	50 tys. cykli	628,23±17,19	4,93±0,64	0,39

Źródło: opracowanie własne

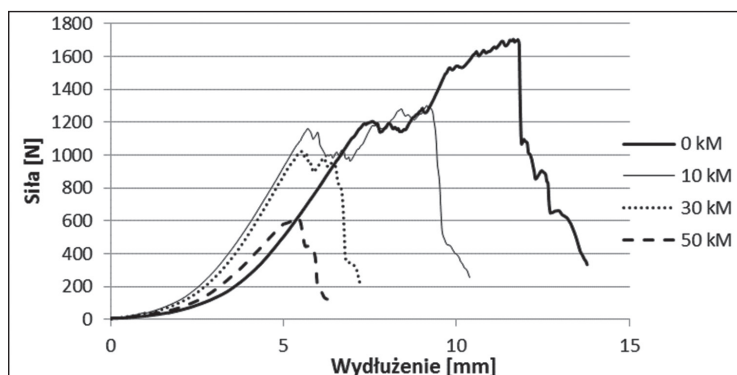
Ubytek grubości:



Rys. 11. Zużycie geometryczne tkaniny 2

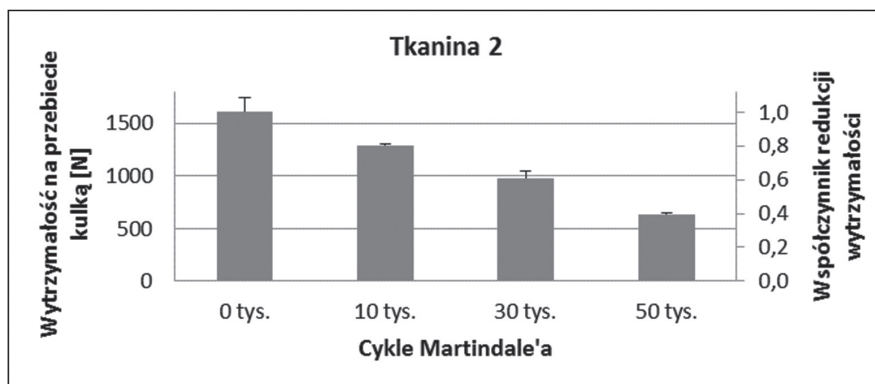
Źródło: opracowanie własne

Wytrzymałość na przebicie kulką po cyklach ścierania:



Rys. 12. Wytrzymałość na przebicie kulką po cyklach ścierania tkaniny 2

Źródło: opracowanie własne



Rys. 13. Porównanie wpływu zużycia na wytrzymałość na przebicie kulką tkaniny 2
Źródło: opracowanie własne

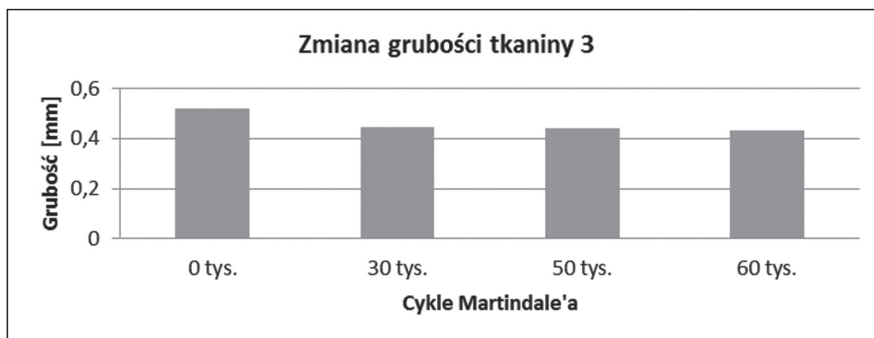
Tkanina 3: Tkanina metaaramidowa

Wyniki testów laboratoryjnych dla tkaniny 3 przedstawiono w tabeli 3 oraz na rys. 14–16.

Tabela 3. Zestawienie wyników badania odporności na ścieranie tkaniny 3

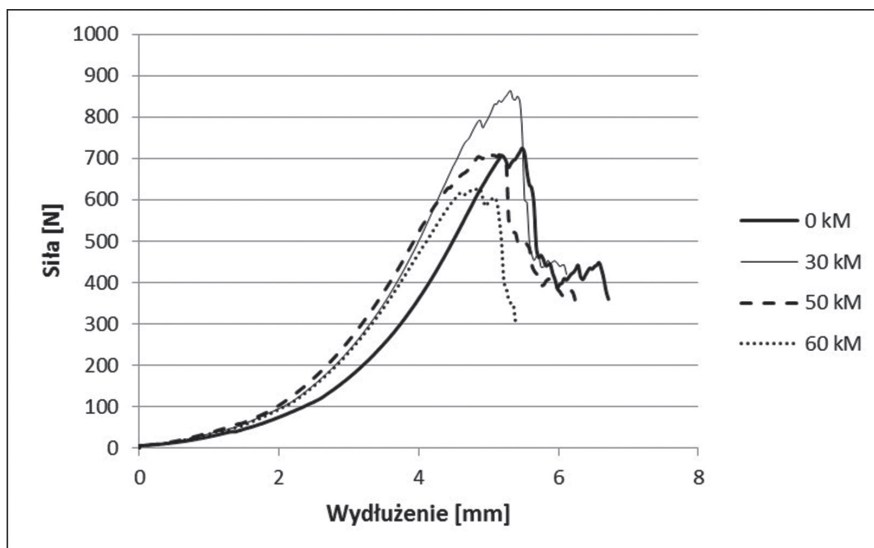
Oznaczenie próbki	Proces zużycia	Wytrzymałość na przebicie kulką [N]	Wydłużenie przy maksymalnej sile [mm]	Współczynnik redukcji wytrzymałości k_m [-]
1	2	3	4	5
Tkanina3_0kM	surowy	704,14±24,96	4,88±0,52	1,00
Tkanina3_30kM	30 tys. cykli	846,67±23,65	4,95±0,52	1,20
Tkanina3_50kM	50 tys. cykli	672,65±43,18	4,65±0,35	0,96
Tkanina3_60kM	60 tys. cykli	606,08±31,18	4,72±0,19	0,86

Źródło: opracowanie własne

Ubytek grubości:

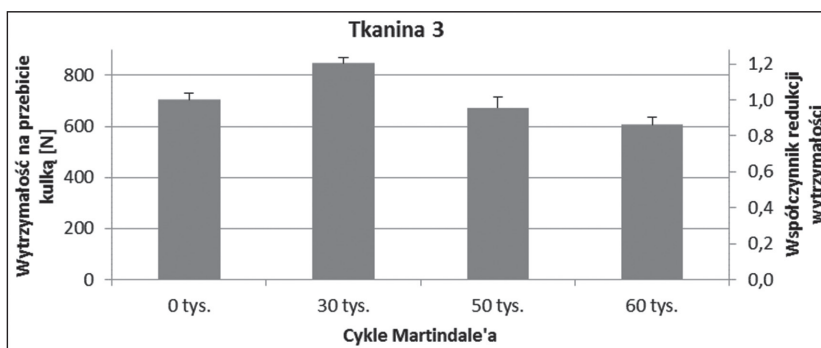
Rys. 14. Zużycie geometryczne tkaniny 3

Źródło: opracowanie własne

Wytrzymałość na przebicie kulką po cyklach ścierania:

Rys. 15. Wytrzymałość na przebicie kulką po cyklach ścierania tkaniny 3

Źródło: opracowanie własne



Rys. 16. Porównanie wpływu zużycia na wytrzymałość na przebicie kulką tkaniny 3
Źródło: opracowanie własne

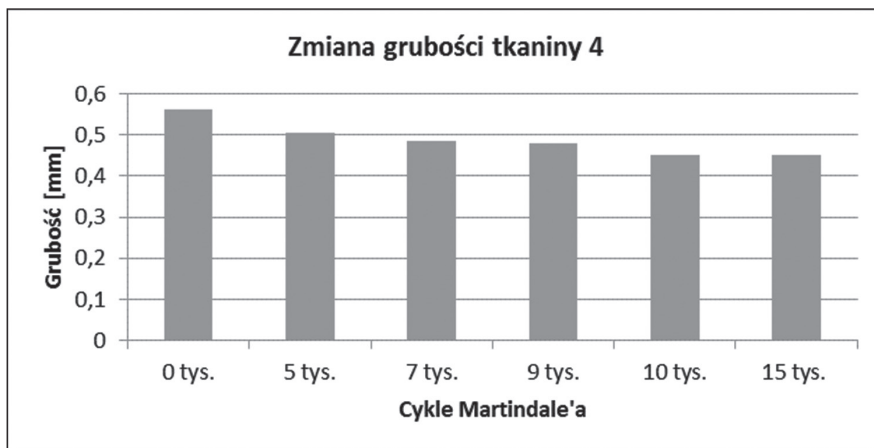
Tkanina 4: Tkanina bawełniana impregnowana trudnopalnie

Wyniki testów laboratoryjnych dla tkaniny 4 przedstawiono w tabeli 4 oraz na rys. 17–19.

Tabela 4. Zestawienie wyników badania odporności na ścieranie tkaniny 4

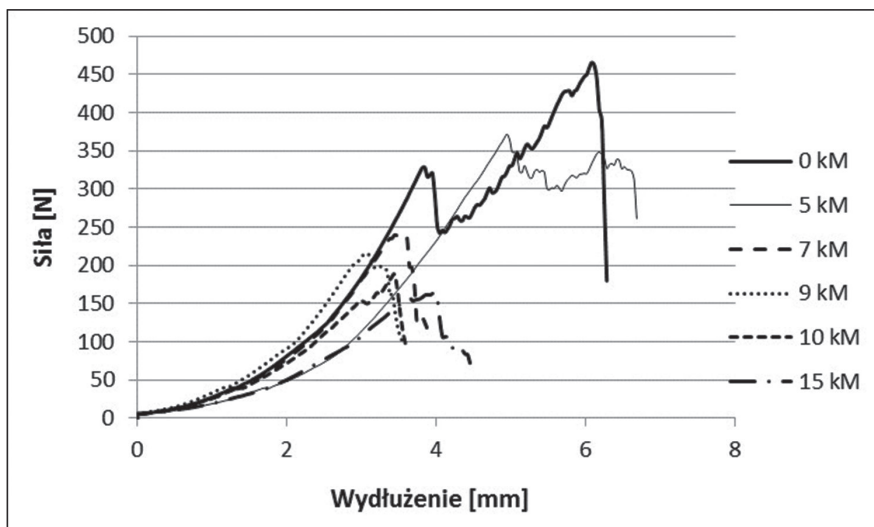
Oznaczenie próbki	Proces zużycia	Wytrzymałość na przebicie kulką [N]	Wydłużenie przy maksymalnej sile [mm]	Współczynnik redukcji wytrzymałości k_m [-]
1	2	3	4	5
Tkanina4_0kM	surowa	434,71±34,64	6,03±0,29	1,00
Tkanina4_5kM	5 tys. cykli	399,04±32,70	4,49±0,43	0,78
Tkanina4_7kM	7 tys. cykli	288,79±41,44	3,70±0,15	0,66
Tkanina4_9kM	9 tys. cykli	233,50±28,50	3,44±0,32	0,54
Tkanina4_10kM	10 tys. cykli	188,76±0,00	3,45±0,00	0,43
Tkanina4_15kM	15 tys. cykli	164,38±0,00	3,98±0,00	0,38

Źródło: opracowanie własne

Ubytek grubości:

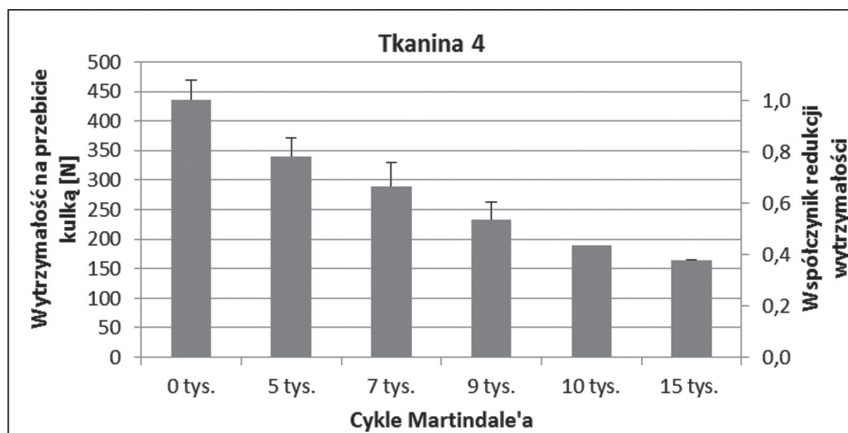
Rys. 17. Zużycie geometryczne tkaniny 4

Źródło: opracowanie własne

Wytrzymałość na przebicie kulką po cyklach ścierania:

Rys. 18. Wytrzymałość na przebicie kulką po cyklach ścierania tkaniny 4

Źródło: opracowanie własne



Rys. 19. Porównanie wpływu zużycia na wytrzymałość na przebicie kulką

Źródło: opracowanie własne

7. Podsumowanie i wnioski

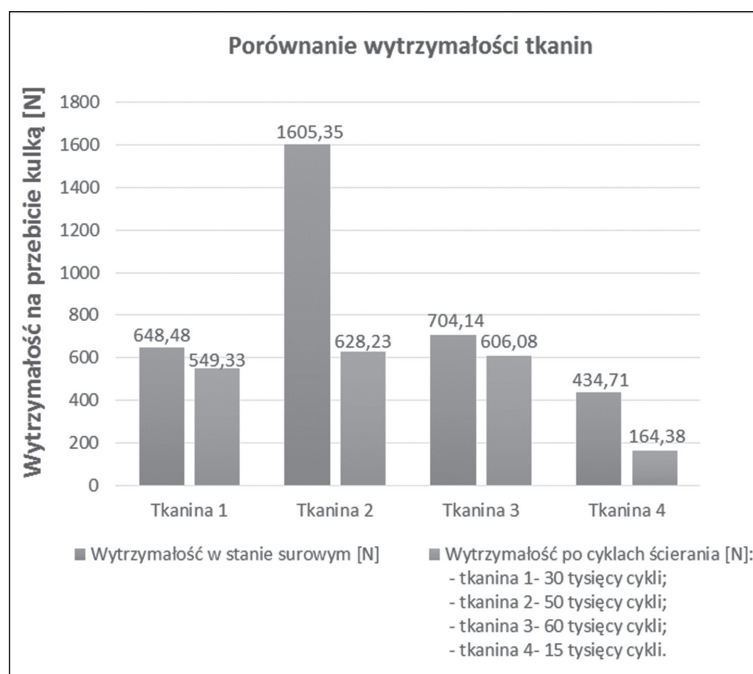
Seria wykonanych badań miała na celu porównanie parametrów wytrzymałościowych tkanin, z których wykonywane są strażackie ubrania specjalne. Ze względu na to, że odzież ochronna poddawana jest działaniu wielu niszczących czynników, stawiane są przed nią wysokie wymagania, także te, dotyczące wytrzymałości na uszkodzenia mechaniczne podczas eksploatacji. Przebadano cztery rodzaje tkanin używanych jako warstwy zewnętrzne ubrań specjalnych strażaka. Były to tkaniny: aramidowa, poliamidowa, metaaramidowa oraz bawełniana tkanina impregnowana trudnopalnie. Każda z nich została poddana próbie Martindale'a, która symulowała proces przyspieszonego zużycia. Następnie przeprowadzono badanie wytrzymałości resztkowej tkanin na przebicie kulką po cyklach ścierania. Porównanie otrzymanych wyników przedstawiono na rys. 20.

Analizując wyniki otrzymane podczas przeprowadzonych badań, wyciągnięto szereg wniosków:

1. Wytrzymałość na przebicie kulką poszczególnych tkanin jest bardzo zróżnicowana, również w stanie surowym. Najwyższą wytrzymałością cechuje się tkanina poliamidowa (tkanina 2). Najmniejszą siłę potrzebną do przebicia tkaniny należało przyłożyć do bawełny impregnowanej trudnopalnie.

2. Zaobserwowano znaczny wpływ liczby cykli Martindale'a, którym poddawane były tkaniny, na ich wytrzymałość na przebicie kulką. Wraz ze wzrostem liczby cykli, spadała wytrzymałość materiałów. Największy spadek wytrzymałości na przebicie kulką zaobserwowano dla tkaniny bawełnianej (tkanina 4). Wytrzymałość surowej tkaniny przewyższyła ponad 2,6-krotnie wytrzymałość tkaniny już po 15 tysiącach cykli Martindale'a. Porównywalny spadek, bo 2,5-krotny, zaobserwowano dla tkaniny poliamidowej po 50 tysiącach cykli (tkanina 2). Jednakże uzyskana dla niej minimalna wytrzymałość przewyższała wytrzymałość bawełny, nawet nie poddanej procesowi przyspieszonego starzenia. Najmniejszy spadek wytrzymałości zaobserwowano dla tkaniny metaaramidowej (tkanina 3).
3. Dla tkanin aramidowych (tkanina 1 i 3) zaobserwowano początkowo, przy wzroście liczby cykli ścierania, niewielki (kilkuprocentowy) wzrost wytrzymałości na przebicie kulką. Po przekroczeniu pewnej granicznej liczby cykli ścierania, wytrzymałość tkanin na przebicie kulką spada. Przyпуска się, że może być to związane ze strukturą tkaniny (zastosowanym splotem tkackim) oraz wstępnym utwardzeniem włókien. Zjawisko to wymaga dalszej weryfikacji.
4. Największy ubytek grubości, zaobserwowano dla tkaniny bawełnianej. Cechuje się ona najbardziej niekorzystnymi właściwościami mechanicznymi. Już po 10 tysiącach cykli ścierania, na tkaninie pojawiło się przetarcie. Najmniejsza zmiana grubości nastąpiła w przypadku tkaniny metaaramidowej ze strukturą rip-stop (tkanina 3), co potwierdza wysoką odporność tkanin aramidowych ze strukturą rip-stop na uszkodzenia mechaniczne.
5. Porównując wszystkie materiały w stanie surowym, zdecydowanie najwyższą wytrzymałością cechują się włókna poliamidowe. Najgorzej podczas przeprowadzonych badań wypadła tkanina bawełniana.

Przeprowadzone badania stanowią kontynuację prac prowadzonych w ramach projektu „Opracowanie innowacyjnego systemu stanowisk do badań ochron osobistych” nr O ROB 0011/03/001, finansowanego w latach 2013–2016 przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.



Rys. 20. Porównanie wytrzymałości na przebicie kulką po cyklach ścierania badanych tkanin,

Źródło: opracowanie własne

Literatura

- [1] Czarnecki R., Ubranie specjalne, *Przegląd Pożarniczy* 2011, nr 1, s. 42–43.
- [2] Czerwienko D., Lemańska K., Pastuszka Ł. Technologia materiałów na ubrania strażackie, *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza* 2012, nr 4, s. 119–129.
- [3] Jaworski M., Zadania ochronne ubrania strażackiego przeznaczonego do akcji przeciwpożarowej, *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza* 2011, nr 3, s. 95–108.
- [4] Wilbik-Hałgas B., Analiza porównawcza dwóch metod wyznaczania wskaźnika wytrzymałości na przebicie kulką dla dzianin, *Techniczne Wyroby Włókiennicze* 2011, nr 1–2, s. 10–15.
- [5] PN-EN ISO 9073-5:2008 Tekstylija – Metody badania włókien – Część 5: Odporność na przebicie mechaniczne (metoda wypychania kulką).
- [6] PN-EN 469:2014 Odzież ochronna dla strażaków – Wymagania użytkowe dotyczące odzieży ochronnej przeznaczonej do akcji przeciwpożarowej.