

dr inż. Waldemar Machnowski*
mgr inż. Monika Łapczyńska**
inż. Łukasz Kwiecień**

Wpływ zanieczyszczeń chemicznych na właściwości pożarowe trudnopalnych wyrobów tekstylnych

Effects of chemical contamination on the fire performance of flame resistant textiles

Streszczenie. Badano wpływ zanieczyszczeń chemicznych na właściwości palne czterech wyrobów tekstylnych przeznaczonych do różnego zastosowania. Były to: zwykła tkanina bawełniana (bez środków przeciwpalnych); trudnopalna tkanina bawełniana; tkanina poliestrowo-bawełniana i tkanina z włókien poliamidowych. Testy palności wyrobów tekstylnych zanieczyszczonych cieczami stosowanymi w przemyśle, m.in. olejem hydraulicznym, olejem silnikowym, wykonane zgodnie z normą PN-EN ISO 6940 wykazały, że zapaleniu ulega nie tylko zwykła tkanina bawełniana, ale także wykończona przeciwpalnie tkanina bawełniana oraz tkanina z trudnopalnych włókien poliamidowych. Określono również wartości wskaźnika tlenowego badanych tkanin i wyznaczono prędkość rozprzestrzeniania płomienia.

Słowa kluczowe: wyroby włókiennicze, właściwości pożarowe, zanieczyszczenia chemiczne, bezpieczeństwo pożarowe.

Abstract. The influence of chemical contamination on the burning behaviour of four textiles products – normal cotton fabric (without flame retardant finishing), flame-retardant cotton fabric, polyester/cotton fabric, and fabric from aramid fibres – intended for various use was studied. Flammability tests for textiles contaminated with liquids for industrial applications (among others hydraulic oil, motor oil) – performed according to EN ISO 6940 – showed an ignition not only normal cotton fabrics, but also both flame-retardant finished cotton fabric and fabric made of inherently flame-resistant aramid fibres. The burning behaviour of the contaminated fabrics by Limiting Oxygen Index (LOI) and flame spread properties was also determined.

Keywords: textile products, burning behaviour, chemical contaminants, fire safety.

Produkty tekstylne wykonane z różnego typu włókien, zróżnicowane pod względem budowy i właściwości, spełniają wiele funkcji w obiektach budowlanych. W budynkach zamieszkania zbiorowego oraz użyteczności publicznej stosowane są powszechnie jako elementy stałego wyposażenia pomieszczeń (dywany, wykładziny podłogowe, tkaniny meblowe), a także jako elementy dekoracyjne, pełniące jednocześnie określone funkcje (np. zasłony, rolety, obrusy, pościel, koce). W wielu budynkach znajdują również zastosowania techniczne, najczęściej jako materiały izolacji termicznej, akustycznej oraz filtry powietrza w instalacjach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych [1, 2].

Dużą grupę tekstyliów stanowią również wyroby techniczne wykorzystywane w wielu procesach technologicznych w różnych sektorach przemysłu, górnictwie i transporcie. Są to m.in. taśmy przenośnikowe, plandeki, osłony różnego typu i przeznaczenia, filtry w instalacjach odpylających.

Wyroby tekstylne wykonane z powszechnie stosowanych włókien zarówno pochodzenia naturalnego (np. bawełna, len, wełna), jak i włókien chemicznych (m.in. włókna poliestrowe, poliamidowe, polipropylenowe) są łatwo zapalne, ulegają zapłonowi już po 1 – 2 s kontaktu z niskoenergetycznym źródłem zapłonu symulującym płomień zapałki lub świecy [3]. Z tego względu, w trosce o bezpieczeństwo pożarowe budynków, przepisy przeciwpożarowe [4] stawiają określone wymagania wyrobom tekstylnym. Ich spełnienie polega na stosowaniu w budynkach, w miejscach określonych przepisami przeciwpożarowymi, jedynie takich wyrobów

tekstylnych, które klasyfikowane są jako materiały przynajmniej trudno zapalne.

Stosowane są dwie podstawowe metody wytwarzania trudno zapalnych wyrobów włókienniczych:

- wykorzystanie specjalnych, odpornych na zapalenie włókien chemicznych;
- poddanie „zwykłego” wyrobu włókienniczego, wytworzonego z powszechnie stosowanych włókien (np. bawełny, lnu, wełny) obróbce chemicznej, w wyniku której do struktury tego wyrobu wprowadzone zostają chemiczne środki przeciwpalne nadające mu odporność na zapalenie.

Zagadnienia dotyczące syntezy nowych odpornych termicznie i trudnopalnych polimerów włóknotwórczych, a także wpływu składu surowcowego i parametrów struktury tkanin na ich właściwości pożarowe są przedmiotem prac w wielu ośrodkach badawczych [3, 5, 6]. Znacznie rzadziej podejmowaną problematyką jest ocena podstawowych cech użytkowych tekstyliów trudnopalnych, a więc właściwości pożarowych, ale również parametrów mechanicznych po pewnym czasie ich stosowania.

Obecność związków chemicznych może wpływać destrukcyjnie na zanieczyszczone nimi wyroby włókiennicze, szczególnie w przypadku wyrobów z włókien o małej odporności chemicznej. Niszczący wpływ substancji chemicznych w stosunku do zanieczyszczonych nimi wyrobów włókienniczych zostaje zwykle spotęgowany w przypadku, gdy wyroby te poddane są jednocześnie oddziaływaniom termicznym, wywołującym wzrost ich temperatury.

W przypadku wszystkich trudnopalnych wyrobów włókienniczych, stosowanych w budynkach, a także tkanin przeznaczonych na niektóre rodzaje odzieży ochronnej, **odporność na zapalenie**

* Politechnika Łódzka, Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów

** Absolwenci Politechniki Łódzkiej kierunku Inżynieria Bezpieczeństwa Pracy

jest podstawową cechą użytkową determinującą bezpieczeństwo ich użytkowania.

W artykule opisano wyniki badań zapalności, prędkości rozprzestrzeniania płomienia i wskaźnika tlenowego kilku tkanin o różnym składzie surowcowym i przeznaczeniu, po ich zanieczyszczeniu cieczami przemysłowymi.

Materiały i metody zastosowane w badaniach

Podstawową charakterystykę wyrobów tekstylnych będących przedmiotem badań podano w tabeli 1. Tkaniny pochodziły z bieżącej produkcji Zakładu Andropol S.A. w Andrychowie. Wymienione w tabeli 1 tkaniny zostały zanieczyszczone w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych, wg prostej metodyki, powszechnie stosowanymi cieczami technicznymi typu olejowego. Krótki opis cieczy wykorzystanych w badaniach zamieszczono w tabeli 2. Proces ich nanoszenia na tkaniny polegał na wymuszonym zanurzeniu próbki tkaniny na czas 60 s w kucecie wypełnionej cieczą, a następnie odsączeniu nadmiaru aplikowanej cieczy z powierzchni tej próbki za pomocą bibuły filtracyjnej. Stopień zanieczyszczenia badanych tkanin określono metodą wagową.

Zastosowano następujące metody badawcze:

- **określanie zapalności tkanin.** Próbkę tkaniny w stanie wyjściowym i po naniesieniu cieczy technicznej badano zgodnie z normą PN-EN ISO 6940:2005 [7], wyznaczając najkrótszy czas działania płomienia zapalającego, po którym następowało ich zapalenie;

- **wyznaczanie prędkości rozprzestrzeniania płomienia.** Te spośród próbek tkanin, które ulegały zapaleniu w badaniu

wg PN-EN ISO 6940:2005, poddano testom zgodnie z normą PN-EN ISO 6941:2005 [8];

- **określanie wskaźnika tlenowego.** Próbkę tkaniny, w celu wyznaczenia wartości wskaźnika tlenowego, poddano badaniu zgodnie z normą PN-EN ISO 4589-2:2006 [9].

Wyniki badań

Zapalność tkanin. Wyniki badania zapalności tkanin zestawiono w tabeli 3. Zanieczyszczenie tkanin łatwopalnych (próba 1 i 3) stosowanymi w badaniach cieczami praktycznie nie spowodowało zmiany zapalności; w przypadku zapalenia dolnej krawędzi próbek ich zapłon następował już po 1 s oddziaływania płomienia zapalającego.

Tkanina bawełniana wykończona przeciwpalnie (próba 2) oraz tkanina z poliamidowych włókien trudnopalnych (próba 4), w stanie niezanieczyszczonej, wykazały pełną odporność na zapalenie; nie ulegały zapłonowi nawet po trwającym 20 s kontakcie z płomieniem zapalającym. Podobnie zachowywały się próbki tych tkanin zawierające chłodziwo w ilości poniżej 10% oraz olej silnikowy i olej hydrauliczny w ilości odpowiednio 10,6% i 14,6%. Natomiast próbki, na które naniesiono większą ilość tych olejów, traciły swoją pierwotną trudnopalność. Wprawdzie w wielu przypadkach płomień utrzymywał się na tych próbkach tylko przez 8 – 12 s, nie powodując całkowitego ich zniszczenia, jednak sam fakt wystąpienia zapłonu i zaistnienie rozprzestrzenienia płomienia, nawet w tak krótkim czasie, mogą stanowić zagrożenie pożarowe.

O ilości cieczy łatwopalnych, jakie zostają wchłonięte przez wyrob tekstylny, decydują czas i warunki ich kontaktu, a także parametry wyrobu tekstylnego, a przede wszystkim zwilżalność

Tabela 1. Parametry badanych tkanin

Nr próby	Skład surowcowy [%]	Masa powierzchniowa [g/m ²]	Właściwości
1	Bawełna (100)	300	tkanina bez wykończenia („zwykła”)
2	Bawełna (100)	300	tkanina trudnopalna i wodoodporna
3	Poliester (80) Bawełna (20)	280	tkanina kwasoodporna
4	Poliamid (100)	215	tkanina z włókien trudnopalnych, wodoodporna

[Źródło: opracowanie własne]

Tabela 2. Ciecze techniczne wytypowane do badań

Rodzaj cieczy	Charakterystyka	Zastosowanie
Olej silnikowy LOTOS	półsyntetyczny, 10W40 Skład: oleje podstawowe, bazy syntetyczne, destylaty ciężkie parafinowe, oleje smarowe	czynnik smarujący w silnikach spalinowych
Olej hydrauliczny HYDROMAX HLP 100	Skład: destylaty ciężkie parafinowe, olej bazowy – niespecyfikowany	medium robocze w napędach hydraulicznych i układach tłumiących, np. siłowniki hydrauliczne, amortyzatory olejowe, układy hamulcowe
Chłodziwo, STATOIL	Olej obróbkowy półsyntetyczny (roztwór wodny o stężeniu 10%)	ciecz chłodząco-smarująca, np. obróbka skrawaniem, szlifowanie, frezowanie

[Źródło: opracowanie własne na podstawie informacji technicznych producentów]

Tabela 3. Wyniki badania zapalności wyrobów tekstylnych

Nr próby	Substancja zanieczyszczająca	Zawartość substancji w tkaninie [%]	Minimalny czas zapalenia próbki [s]	
			dolna krawędź	powierzchnia
1	próba niezanieczyszczona	–	1	5
	olej silnikowy	54,2	1	4
	olej hydrauliczny	62,3	1	5
	chłodziwo	66,2	1	3
2	próba niezanieczyszczona	–	próbki nie ulegają zapaleniu	
	olej silnikowy	17,3	1	4
	olej hydrauliczny	10,6	próbki nie ulegają zapaleniu	
	chłodziwo	36,4	1	6
3	próba niezanieczyszczona	–	próbki nie ulegają zapaleniu	
	olej silnikowy	14,6	próbki nie ulegają zapaleniu	
	olej hydrauliczny	9,8	próbki nie ulegają zapaleniu	
	chłodziwo	–	1	3
4	próba niezanieczyszczona	–	1	3
	olej silnikowy	23,3	1	3
	olej hydrauliczny	18,3	1	3
	chłodziwo	–	próbki nie ulegają zapaleniu	
4	olej silnikowy	50,8	1	4
	olej hydrauliczny	63,4	1	5
	chłodziwo	3,1	próbki nie ulegają zapaleniu	

[Źródło: opracowanie własne]

i zdolność do sorpcji określonego rodzaju cieczy. Aby ograniczyć wchłanianie cieczy, poddaje się często tekstylne wyroby techniczne, a także tkaniny przeznaczone na odzież ochronną wykończeniu (apreturowaniu) hydrofobowemu i/lub oleofobowemu.

Rozprzestrzenianie płomienia. Wyniki badania rozprzestrzeniania płomienia (tabela 4) wskazują, że próbki nieodpornych na zapalenie wyrobów tekstylnych (próbka 1 i 3), które w stanie niezanieczyszczonym w stosowanych warunkach badania rozprzestrzeniały płomień z prędkością ok. 20 mm/s, po zanieczyszczeniu cieczami olejowymi charakteryzują się ponad dwukrotnie większymi wartościami tego parametru (40 – 56 mm/s). Zbliżone wartości prędkości rozprzestrzeniania płomienia, po naniesieniu cieczy, obserwowano również w przypadku tekstyliów wykazujących (przed zanieczyszczeniem) całkowitą odporność na zapalenie (próbka 2 i 4). Te nieoczekiwane złe wyniki testów rozprzestrzeniania płomienia, szczególnie w odniesieniu do prób 2 i 4, należy tłumaczyć tym, że o prędkości propagacji płomienia na pionowo usytuowanych próbkach decydowała zawartość palnej cieczy w badanym wyrobie tekstylnym, której część znajdowała się wewnątrz jego struktury, a część pozostawała na powierzchni w postaci cienkiej adhezyjnej warstwy. Można sądzić, że na prędkości spalania tej właśnie warstwy cieczy, a więc *de facto* na wyniki badania prędkości rozprzestrzeniania płomienia, nie wywierały istotnego wpływu właściwości palne wyrobu włókienniczego, który pełnił jedynie rolę pewnego rodzaju podłoża.

Tabela 4. Wyniki badania rozprzestrzeniania płomienia na wyrobach tekstylnych

Nr próby	Substancja zanieczyszczająca	Zawartość substancji w tkaninie [%]	Prędkość rozprzestrzeniania płomienia [mm/s]
1	próbka niezanieczyszczona	–	20,5
	olej silnikowy	49,2	56,0
	olej hydrauliczny	65,3	46,6
	chłodziwo	64,3	51,0
2	olej silnikowy	15,1	54,2
	olej hydrauliczny	32,7	50,3
3	próbka niezanieczyszczona	–	18,8
	olej silnikowy	19,2	40,3
	olej hydrauliczny	22,3	42,1
4	olej silnikowy	54,7	52,9
	olej hydrauliczny	63,4	50,2

[Źródło: opracowanie własne]

Wskaźnik tlenowy. Wyniki badania wskaźnika tlenowego wyrobów tekstylnych zestawiono w tabeli 5. W przypadku wyrobów tekstylnych nieodpornych na zapalenie (próbka 1 i 3) nie obserwuje się istotnej zmiany wartości wskaźnika tlenowego na skutek naniesienia na te wyroby cieczy palnych. Na przykładzie próby 2, zawierającej różne ilości oleju silnikowego i oleju hydraulicznego, można zaobserwować, że ze wzrostem stężenia cieczy palnej w trudnopalnym wyrobie tekstylnym zmniejsza się wartość wskaźnika tlenowego, co oznacza wzrost stopnia palności wyrobu. Porównanie wyników w tabeli 5 i 3 wykazuje istnienie logicznej spójności pomiędzy wynikami badania wskaźnika tlenowego i zapalności. Zapaleniu w warunkach metodyki PN-EN ISO 6940 ulegają tylko te próbki wyrobów tekstylnych, których wartość wskaźnika tlenowego nie przekracza 26,6%.

Tabela 5. Wartości wskaźnika tlenowego tkanin

Nr próby	Substancja zanieczyszczająca	Zawartość substancji w tkaninie [%]	Wskaźnik tlenowy [%]
1	próbka niezanieczyszczona	–	18,5
	olej silnikowy	54,2	18,0
	olej hydrauliczny	62,3	17,9
	chłodziwo	66,2	18,7
2	próbka niezanieczyszczona	–	31,2
	olej silnikowy	17,3	22,1
	olej hydrauliczny	10,6	26,8
	olej hydrauliczny	36,4	21,3
3	próbka niezanieczyszczona	–	18,2
	olej silnikowy	23,3	18,1
	olej hydrauliczny	18,3	18,0
	chłodziwo	9,8	28,0
4	próbka niezanieczyszczona	–	28,3
	olej silnikowy	50,8	22,5
	olej hydrauliczny	63,4	21,3
	chłodziwo	3,1	26,7

[Źródło: opracowanie własne]

Podsumowanie

Zanieczyszczenie tekstyliów wytypowanymi do badań cieczami powodowało pogorszenie ich właściwości palnych. Tkaniny trudno zapalne, po przekroczeniu określonej zawartości cieczy, traciły tę właściwość, a w przypadku tkanin palnych, po naniesieniu testowanych cieczy, obserwowano ponad dwukrotny wzrost prędkości rozprzestrzeniania płomienia. Obecność cieczy palnych we wszystkich badanych wyrobach tekstylnych powodowała obniżenie wartości wskaźnika tlenowego. Nadanie tekstylnym wyrobom trudnopalnym właściwości wodo- i olejoodpornych zabezpiecza je w dużym stopniu przed zanieczyszczeniem różnymi substancjami chemicznymi, a przez to istotnie zmniejsza możliwość pogorszenia właściwości palnych, przyczyniając się w ten sposób do bezpiecznego ich użytkowania.

Literatura

- [1] Figueiro R., Fibrous and composite materials for civil engineering applications, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2011.
- [2] Horne L., New product development in textiles. Innovation and production, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2012.
- [3] Machnowski W., Wpływ składu surowcowego i struktury włókienniczych wyrobów wyposażenia wnętrz na ich właściwości palne, Zeszyty Naukowe SGSP Nr 42, Warszawa 2011, 141 – 155.
- [4] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 75/2002, poz. 690 z późn. zmianami).
- [5] Horrocks A., Davies P., Alderson A., The potential for volatile phosphorus-containing flame retardants in textile back-coatings, Journal of Fire Sciences, 25, nr 6, 2007, 523 – 540.
- [6] Weil E., Levchik S., Flame retardants in commercial use or development of textiles, Journal of Fire Sciences, 26, nr 3, 2008, 243 – 281.
- [7] PN-EN ISO 6940: 2005 Wyroby włókiennicze – Zachowanie się podczas palenia – Wyznaczenie zapalności pionowo umieszczonych próbek.
- [8] PN-EN ISO 6941: 2005 Wyroby włókiennicze – Zachowanie się podczas palenia – Pomiar właściwości rozprzestrzeniania się płomienia na pionowo umieszczonych próbkach.
- [9] PN-EN ISO 4589-2: 2006 Tworzywa sztuczne – Oznaczanie zapalności metodą wskaźnika tlenowego – Część 2: Badanie w temperaturze pokojowej.