

st. kpt. mgr inż. Jakub Jakubiec

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Skuteczność gaśnicza i bezpieczeństwo stosowania wybranych zwilżaczy – ocena skuteczności gaśniczej i zdolności zwilżających

Abstrakt

Podstawowym środkiem służącym do gaszenia pożarów materiałów stałych zaliczanych do grupy pożarów A jest woda. Wynika to z jej ogólnej dostępności, stosunkowo niskiej ceny oraz dużego, w porównaniu do innych materiałów, ciepła właściwego i ciepła parowania, co bezpośrednio przekłada się na bardzo dobre właściwości chłodzące. W celu zmniejszenia zużycia wody, skrócenia czasu gaszenia i zmniejszenia strat popożarowych stosuje się dodatki zwilżające, zawierające surfaktanty poprawiające wykorzystanie wody przez ułatwienie jej dostępu do wnętrza struktury gazonych materiałów. Jako zwilżacze do zastosowań gaśniczych są stosowane zarówno specjalnie opracowane preparaty, jak i środki pianotwórcze typu S. Odpowiedni dobór rodzaju zwilżacza oraz jego stężenia jest niezwykle istotny, ponieważ surfaktanty wywierają negatywny wpływ na środowisko przyrodnicze. Obecnie w Polsce nie obowiązuje spójny system oceny skuteczności gaśniczej i zdolności zwilżającej środków przeznaczonych do gaszenia pożarów grupy A.

W artykule zaproponowano procedury badania zdolności zwilżających wodnych roztworów surfaktantów mogące służyć do oceny skuteczności wybranych zwilżaczy, jak również dokonano oceny ich przydatności do gaszenia pożarów w oparciu o przeprowadzone testy.

Słowa kluczowe: środki pianotwórcze i zwilżające, ochrona środowiska, pożary grupy A

Extinguishing Efficiency and Safety of Using Selected Wetting Agents – Evaluation of the Extinguishing Efficiency and Wetting Ability

Abstract

Because of the wide availability, relatively low price and excellent cooling properties water is the primary extinguishing agent used for solid materials. To enhance the extinguishing effect, reducing water consumption, fire extinguishing time and fire loss, water additives are used. The additives contain surfactants improving the use of water by facilitating its access to the material structure. Specially designed preparations as well as type S foaming agents are used as wetting agents for extinguishing fires. Surfactants have an impact on the natural environment that is why the right selection of wetting agent and its concentration is extremely important. Currently, there is no consistent system in Poland for the evaluation of the extinguishing efficiency and wetting ability concentrates designed to extinguish group A fires.

The study proposes some procedures for testing wetting abilities that can be used to assess the effectiveness of wetting agents. In addition, based on the tests carried out, the selected wetting agents were evaluated.

Keywords: foaming and wetting agents, environmental protection, group A fires

Wstęp

Podstawowymi elementami działań przeciwpożarowych odpowiedzialnymi za powodzenie akcji gaśniczej są: właściwy dobór środka zapewniającego wysoką skuteczność gaśniczą, zabezpieczenie miejsca pożaru przed nawrotem palenia, jak również bezpieczeństwo ekologiczne. Zdecydowaną większość pożarów, z jakimi zmagają się jednostki ochrony przeciwpożarowej, stanowią pożary grupy A, tj. pożary materiałów stałych, w trakcie spalania których, poza spalaniem płomieniowym, występuje również zjawisko tlenia [1].

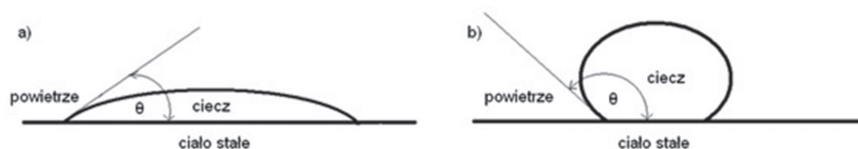
Przebieg gaszenia pożaru, w tym szybkość gaszenia oraz zużycie środka gaśniczego, zależne są ściśle od struktury fizycznej oraz składu chemicznego materiału palnego. Kluczową rolę, z punktu widzenia gaszenia pożaru, odgrywa szybkość rozprzyskiwania się wody i jej roztworów po powierzchni

materiału palnego, jak również szybkość jej wnikania w strukturę porowatą. Oba te parametry są decydujące w aspekcie odbierania ciepła ze środowiska pożaru przez wodę i jej roztwory. Procesy zwilżania materiałów stałych w ochronie przeciwpożarowej należy więc rozumieć nie tylko jako rozplątanie się, ale również wnikanie w strukturę materiału. Zdolność do rozplątania się cieczy po powierzchni ciał stałych zależy w znacznym stopniu od napięcia powierzchniowego (na granicy faz ciecz – powietrze oraz napięcia międzyfazowego na granicy ciało stałe – ciecz i ciało stałe gaz. Zjawisko to charakteryzowane jest kątem zwilżania (θ), którego cosinus ($\cos\theta$) opisywany jest zależnością (1):

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{st-g} - \sigma_{st-c}}{\sigma} \quad (1)$$

gdzie: σ – napięcie powierzchniowe na granicy faz ciecz – powietrze;
 σ_{st-c} oraz σ_{st-g} – odpowiednio napięcia międzyfazowe na granicach faz ciało stałe – ciecz oraz ciało stałe – gaz.

Napięcie powierzchniowe na granicy ciecz – ciało stałe zależy od rodzaju oddziaływań cząsteczek cieczy z powierzchnią ciała stałego. Woda, której cząsteczki mają budowę polarną (moment dipolowy wody wynosi 1,85 Debaya), ma stosunkowo wysokie napięcie powierzchniowe (w temperaturze 20°C wynosi ono $72,58 \times 10^{-3}$ N/m) i słabo oddziałuje z powierzchniami o charakterze niepolarnym, a w konsekwencji słabo się rozpląwa po powierzchniach wielu materiałów stałych. Można temu zaradzić, dodając do wody surfaktantów obniżających znacząco wartość napięcia powierzchniowego oraz międzyfazowego, co skutkuje zmniejszeniem kąta zwilżania (rys. 1) i znacznym zwiększeniem powierzchni styku określonej porcji wody z ciałem stałym.



Rys.1. Kształt kropli cieczy na płaskiej powierzchni ciała stałego przy dobrej zwilżalności (a) oraz braku zwilżania (b)

Źródło: opracowanie własne

Szybkość penetracji przez ciecz przestrzeni porowatych w ciałach stałych zależy więc od napięcia powierzchniowego oraz kąta zwilżania, ale też od parametrów strukturalnych ciała porowatego. Miarą zdolności do wnikania cieczy w struktury porowate jest ciśnienie kapilarne P_k :

$$P_k = \frac{2\sigma\cos\theta}{r} \quad (2)$$

gdzie:

r – przeciętny promień przestrzeni porowatych (kapilar).

W przypadku hydrofobowych materiałów mikroporowatych woda nie będzie wnikała w ich strukturę, z uwagi na ujemną wartość ciśnienia kapilarnego, które jest proporcjonalne do cosinusa kąta zwilżania i napięcia powierzchniowego (kąta zwilżania materiałów hydrofobowych jest większy od 90° , zatem jego cosinus ma wartość ujemną). Dzięki dodatkom surfaktantów w wodnych roztworach uzyskuje się obniżenie kąta zwilżania do wartości poniżej 90° , co w konsekwencji powoduje wnikanie ich do kapilar (cosinus kąta granicznego jest dodatni), jak również spadek wartości napięcia powierzchniowego, co z kolei jest niekorzystne z punktu widzenia dynamiki wnikania cieczy do kapilar.

Zarówno w Polsce, jak i na świecie najczęściej stosowanymi przez jednostki ochrony przeciwpożarowej dodatkami poprawiającymi zdolności zwilżające wody, są specjalnie spreparowane zwilżacze pożarnicze lub niektóre środki pianotwórcze wykazujące bardzo dobre właściwości zwilżające, przy stosowaniu ich w stężeniach niższych niż stosowane przy wytwarzaniu pian. Środki te wykazują zróżnicowane właściwości gaśnicze i zwilżające, zależne zarówno od rodzaju gaszonego materiału, jak również jego struktury, na co wpływ mają zastosowane w nich surfaktanty oraz kosurfaktanty.

W zakresie metod oceny zdolności zwilżających i wymagań użytkowych dla środków zwilżających stosowanych w pożarnictwie nie ma obecnie norm krajowych. Celem artykułu jest eksperymentalna ocena możliwości wykorzystania metodyki opisanej w normie NFPA 18 oraz normie krajowej PN-EN 1772:2001 do charakterystyki zdolności zwilżających roztworów wodnych wybranych koncentratów substancji powierzchniowo czynnych.

1. Badanie właściwości zwilżających w stosunku do materiałów palnych grupy A

Badacze zajmujący się tematyką zdolności zwilżających i skuteczności gaśniczej roztworów wodnych starają się opracować spójne standardy, w tym uniwersalne testy przeznaczone do oceny przydatności środków gaśniczych do gaszenia pożarów grupy A. Część badań prowadzonych w ośrodkach naukowych opisano, a na ich podstawie wprowadzono standardy do badań certyfikacyjnych, czego przykładem może być amerykańska norma opracowana przez National Fire Protection Association (NFPA) 18 „*Wetting agents*” [2]. Niestety wdrożone standardy, jak chociażby przywołana norma NFPA 18, nie zawsze są dostatecznie precyzyjne, by można było dokonywać w oparciu o nie jednoznacznych ocen badanych środków [3, 4]. Powodem tego może być chociażby zbyt lapidarny opis procedur badawczych lub niewłaściwy, dla danych uwarunkowań geograficzno-gospodarczych w poszczególnych regionach globu, dobór reprezentatywnych materiałów palnych, na których przeprowadzane są pomiary. Przykładem może być użycie do badań opisanych w NFPA 18 odziarnionej bawełny, która nie stwarza dużego zagrożenia pożarowego w krajach europejskich.

Jedyną obowiązującą w Polsce normą opisującą badanie właściwości zwilżających jest norma, która została pomyślana przede wszystkim dla przemysłu włókienniczego. Norma o której mowa, to PN-EN 1772:2001 „Środki powierzchniowo czynne – *Oznaczanie zdolności zwilżania przez zanurzenie*”. Opisane w niej badanie polega na pomiarze czasu tonięcia krążka z technicznej tkaniny bawełnianej w roztworze surfaktantu o zadanym stężeniu [5].

Natomiast jedynym uznanym testem gaśniczym dla pożarów grupy A jest test przeznaczony dla podręcznego sprzętu gaśniczego opisany w normie PN-EN 3-7+A1:2008 *Gaśnice przenośne – Część 7: Charakterystyki, wymagania eksploatacyjne i metody badań*. Według wymagań normy ocenie poddawany jest jedynie efekt gaszenia (ugaszono lub nie ugaszono) i nie uwzględnia ona wielu kluczowych parametrów, istotnych z punktu widzenia gaszenia pożarów grupy A, jak np. stopnia penetracji materiału palnego przez roztwór gaśniczy oraz zabezpieczenia go przed nawrotem spalania lub ilości i stężenia użytego środka gaśniczego [6].

Autor artykułu podjął wiele prób mających na celu stworzenie stanowisk pomiarowych, opartych na założeniach przedstawionych w standardzie

NFPA 18. Celem wprowadzonych modyfikacji było przeprowadzenie badań porównawczych w powtarzalnych warunkach. Skupiono się przede wszystkim na metodzie z użyciem płyty pilśniowej jako materiału testowego. Na opisany w standardzie NFPA 18 materiał palny oddziałuje się płomieniem od spodu, a podawane z góry środki gaśnicze powinny wykazywać skuteczność gaśniczą (gasić pożar) z mniejszymi stratami roztworu gaśniczego w porównaniu z wodą (więcej roztworu zatrzymywane jest w strukturze materiału). Wykonano również badania bez podpalania materiału palnego, eliminując tym samym wpływ zmiennych związanych z procesem spalania oraz gaszenia badanego materiału palnego, na otrzymane rezultaty, a skupiając się jedynie na właściwościach zwilżających. W obu wariantach otrzymano wyniki zbieżne w zakresie uszeregowania badanych środków gaśniczych pod względem przydatności do gaszenia pożarów grupy A.

Biorąc pod uwagę powyższe, autor postanowił zastosować do badań zdolności zwilżających wybranych środków metodę opisaną w normie PN-EN1772:2001 oraz metodę alternatywną, opartą na standardzie NFPA 18 w wersji bez inicjacji spalania materiału palnego, jakim była płyta pilśniowa.

2. Właściwości badanych zwilżaczy i środków pianotwórczych

Do przeprowadzenia badań wytypowano pięć koncentratów środków pianotwórczych oraz zwilżaczy, reprezentujących różne grupy środków – sklasyfikowanych ze względu na ich właściwości wynikające ze składu chemicznego, jak również ściśle powiązane z zakresem ich stosowania w pożarnictwie. Wybrano następujące środki pianotwórcze:

- Zwilżacze:
 - a) Amber One,
 - b) SupraWet;
- Środki pianotwórcze typu S (syntetyczne)¹:
 - a) Sthamex F-15,
 - b) Pianol S3;

¹ Uniwersalne środki pianotwórcze na bazie syntetycznych, węglowodorowych surfaktantów.

- Środki pianotwórcze klasy A²:

a) Prosintex A.

Z uwagi na fakt, że firmy produkujące środki pianotwórcze nie ujawniają składu chemicznego poszczególnych koncentratów do wiadomości publicznej, ich charakterystyka opierać się może jedynie na informacjach ogólnych, podanych przez producenta oraz na parametrach fizykochemicznych wskazanych w kartach charakterystyk danego środka. Należy jednak pamiętać, że głównymi składnikami środków pianotwórczych są surfaktanty i rozpuszczalniki organiczne, ważną rolę pełnią także stabilizatory piany, dodatki hydrotropowe i antykorozyjne oraz konserwanty. W celu dokonania oceny porównawczej, w badaniach zdolności zwiłżającej wykorzystano również roztwory surfaktantu Aerosol OT (2(2-etyloheksylo) sulfobursztynian sodu). Należy podkreślić, że surfaktant Aerosol OT (AOT) jest stosowany jako surfaktant wzorcowy w teście pomiaru czasu tonięcia krążka bawełnianej tkaniny technicznej według PN-EN 1772.

W tabeli 1 przedstawiono najważniejsze właściwości badanego surfaktantu zestawione w oparciu o dane producenta (ALFA AESAR GMBH & CO. KG) i literaturowe.

Tabela 1. Wybrane właściwości fizykochemiczne AOT

Wzór sumaryczny	Masa molowa [g/mol]	Gęstość [g/cm ³]	Zawartość [% wag.]	Krytyczne stężenie micelarne (CMC) [mmol/dm ³]	Stan skupienia	Kolor
C ₂₀ H ₃₇ O ₇ SNa	444	1,1	96	2,5	konsystencja wosku	biały

Źródło: [7]

3. Właściwości badanych materiałów testowych

W charakterze materiałów testowych wykorzystano surową tkaninę bawełnianą oraz płytę pilśniową.

² Środki pianotwórcze, których podstawowym zastosowaniem jest wytwarzanie pian do gaszenia pożarów grupy A.

3.1. Tkanina bawełniana

W badaniach wykorzystano tkaninę wykonaną z bawełny technologicznej o właściwościach hydrofobowych. Głównym składnikiem bawełny, również nadającym jej określone właściwości fizykochemiczne, jest celuloza, która stanowi od 83 do 90% składu, natomiast resztę stanowią białka i śladowe ilości wosku. Bawełna nasycana jest w procesie technologicznym tłuszczami, woskami lub smarami, co nadaje jej charakter hydrofobowy. Na podstawie dokonanych obserwacji mikroskopowych oraz podstawowych pomiarów, można scharakteryzować badaną tkaninę w następujący sposób:

- grubość pojedynczego włókna wynosi ok. 0,75 mm,
- splot tkaniny jest nierównomierny – szerokość przestrzeni pomiędzy włóknami w splocie jest zróżnicowana,
- odległość pomiędzy włóknami w tkaninie wynosi w przybliżeniu od 0 (ściśle przylegają do siebie) do 0,5 mm,
- masa powierzchniowa tkaniny wynosi $0,417 \text{ kg/m}^2$ (została wyznaczona doświadczalnie poprzez pomiar masy fragmentu tkaniny o wymiarach $10 \times 10 \text{ cm}$),
- gęstość właściwa włókien tkaniny wynosi ok. $1,52 \text{ g/cm}^3$ [8].

3.2. Płyta pilśniowa

Płyta pilśniowa wykonana została tzw. technologią mokrą ze spilśnianej i bardzo zagęszczonej masy drzewnej. Włókna płyty ułożone są różnokierunkowo, aby zapewnić jej wyrównanie cech jakościowo-wytrzymałościowych niezależnie od kierunku działania obciążeń. Do badań wykorzystano płytę pilśniową podpodłogową firmy „BARLINEK” o grubości 7 mm. Wyznaczono gęstość pozorną płyty, która wyniosła $0,3 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ oraz porowatość – $0,63 \pm 0,04$. Próbki wykorzystane w badaniach miały zewnętrzny wymiar $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$.

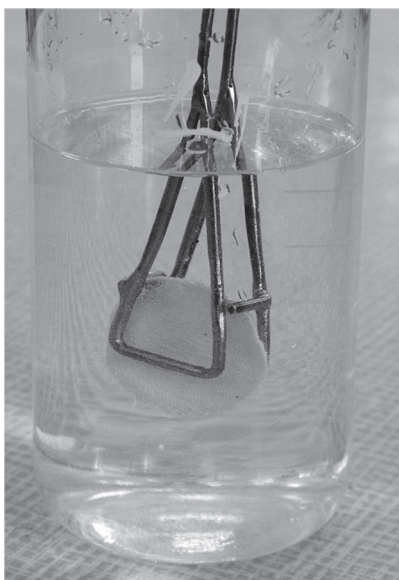
4. Metodyka badań zdolności zwilżających

Badania przeprowadzono dla roztworów koncentratów pożarniczych o stężeniach od 0,125 do 4 % [m/m] (w przypadku badania czasu tonięcia krążka do 8%) oraz dla roztworów AOT o stężeniach od 0,0156 do 2%. Do sporządzania roztworów używano wody demineralizowanej o temperaturze 25°C .

Temperatura w pomieszczeniu wynosiła $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Wszystkie próby wykonywano w trzech powtórzeniach, a wyniki uśredniono.

4.1. Badanie zdolności zwilżających według PN-EN 1772:2001

Norma PN-EN 1772:2001 opisuje metodę oznaczania zdolności do zwilżania środków powierzchniowo czynnych w roztworze, polegającą na zanurzeniu wzorcowego krążka surowej bawełny, umieszczonego na specjalnym zacisku (rys. 2), w roztworze środka powierzchniowo-czynnego i pomiarze czasu jego zwilżania. Pomiar czasu rozpoczyna się w chwili, gdy najniższa część krążka dotyka roztworu, a kończy się, gdy krążek zaczyna samoczynnie tonąć. Czas zwilżania wzorcowego środka powierzchniowo-czynnego mierzy się z użyciem roztworów o pięciu stężeniach, a następnie stosując roztwory badanego środka powierzchniowo-czynnego, również w pięciu różnych stężeniach. Na podstawie otrzymanych wyników należy wykreślić krzywe zależności czasu zwilżania od stężenia w układzie logarytmicznym. Zgodnie z omawianą normą, zdolność zwilżania badanego środka powierzchniowo-czynnego określa się, porównując jego krzywą zwilżania z krzywą wzorcową [6].



Rys. 2. Zacisk do zanurzania tkaniny skonstruowany zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 1772:2001

Źródło: [5]

Wzorcowy krążek tkaniny nie tonie w czystej wodzie, a w miarę wzrostu stężenia surfaktantu czas od kontaktu z roztworem do jego tonięcia zmniejsza się. Po przekroczeniu określonego stężenia surfaktantu, czas tonięcia praktycznie się już nie zmienia. W celu lepszego zobrazowania otrzymanych rezultatów, wyniki badań przedstawiono w postaci zależności pochodnej dt/dc , gdzie t oznacza czas tonięcia wzorcowego krążka, a c stężenie roztworu.

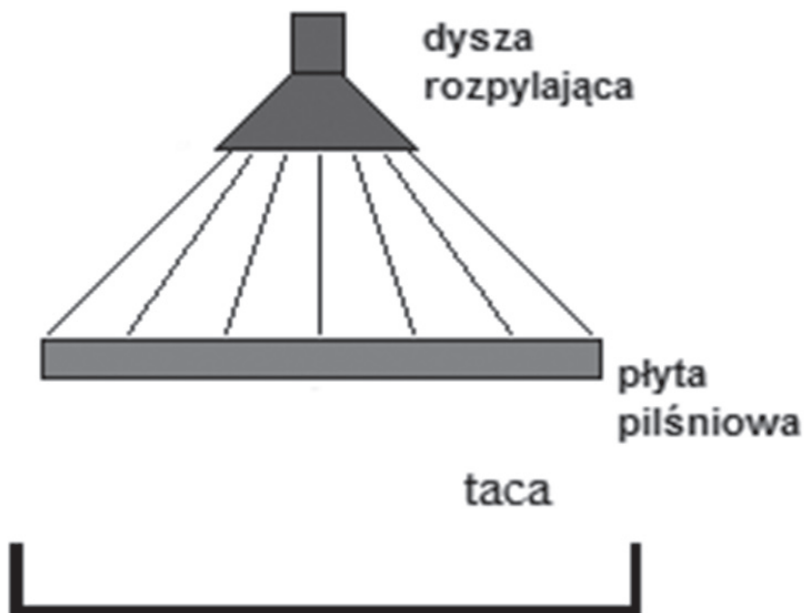
4.2. Badanie zdolności zwilżających w oparciu o standard NFPA 18, metodą płyty pilśniowej

Badania zdolności zwilżających roztworów z wykorzystaniem płyty pilśniowej oparte na standardzie NFPA 18 przeprowadzono na zmodyfikowanym stanowisku pomiarowym. Po przeprowadzeniu wielu prób, przyjęto rozwiązanie mające na celu wyeliminowanie jak największej liczby subiektywnych czynników mogących wpływać na wynik próby. Jedną z nieścisłości normy NFPA 18 jest fakt, że nie precyzuje ona sposobu podawania roztworu na płytę pilśniową. Zastosowano więc dyszę rozpylającą, która powodowała podawanie roztworu w taki sam sposób i z taką samą szybkością w każdej próbie. Dzięki takiemu rozwiązaniu uzyskano powtarzalność przeprowadzanych prób na zadowalającym poziomie.

Oceny zdolności zwilżającej w tym badaniu dokonuje się poprzez pomiar procentowego przyrostu masy płytki oraz dokonanie oceny stopnia zwilżenia powierzchni płytki od strony spodniej (wierzchnia strona płytki, na którą padała woda lub roztwór wodny była każdorazowo w 100% zwilżona).

Płytę pilśniową o wymiarach $10 \times 10 \times 0,7$ cm ważono i układano na statywie, pod którym znajdowała się tacka, do której zbierano roztwór spływający z płytki. Na płytę podawano z dyszy 100 cm^3 roztworu koncentratu lub wody. Ważono płytkę i obliczano przyrost jej masy.

Wyniki badań przedstawiono w formie wykresu zależności przyrostu masy płytki od rodzaju i stężenia koncentratu (rys. 5). Analizie poddano również powierzchnię zwilżenia spodniej części płyty pilśniowej po wykonanym teście.



Rys. 3 Stanowisko do badania zdolności zwiłzających w oparciu o standard NFPA 18, metoda z wykorzystaniem płyty pilśniowej

Źródło: opracowanie własne

5. Wyniki pomiarów

5.1. Badanie zdolności zwiłzających według PN-EN 1772:2001

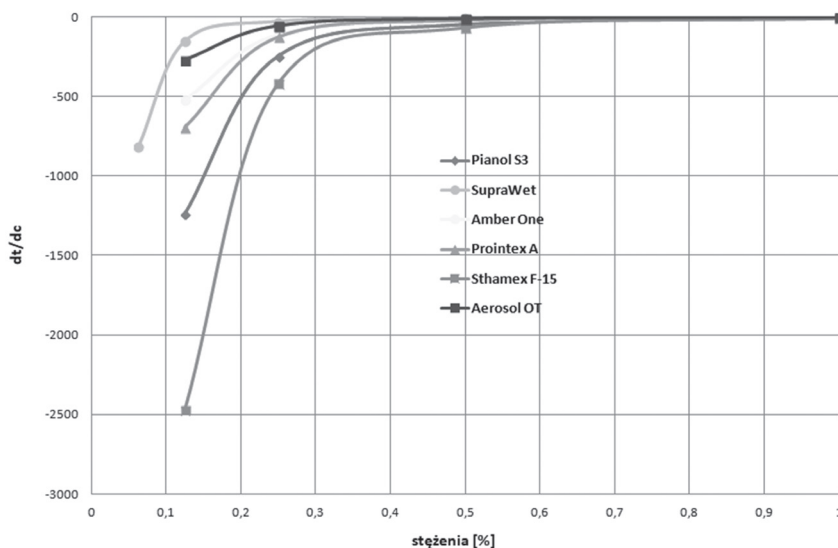
Zdolność zwiłzająca roztworu w tej metodzie charakteryzowana jest czasem tonięcia bawełnianego krążka. Pomiar czasu rozpoczynał się w chwili, gdy najniższa część krążka dotyka roztworu, a kończył, gdy krążek zaczynał samoczynnie tonąć. Biorąc pod uwagę niepewność pomiaru związaną z czasem reakcji człowieka mierzącego czas tonięcia krążka, uznano, że najwyższa zdolność zwiłzająca w tej metodzie wynosi 1 s, a najniższa ∞ s. Wyniki pomiarów dla badanych roztworów przedstawiono w tabeli 2 oraz na rys. 4, gdzie przedstawiono wykresy zależności dt/dc od stężenia roztworów badanych środków dla stężeń do 1%.

Tabela 2. Zależność czasu tonięcia krążka z tkaniny bawełnianej od rodzaju i stężenia koncentratu pożarniczego

c [%]	Aerosol OT		Pianol S3		Sthamex F-15		Prsointex A		Amber One		SupraWet	
	t [s]	dt/dc	t [s]	dt/dc	t [s]	dt/dc	t [s]	dt/dc	t [s]	dt/dc	t [s]	dt/dc
8	nb	nb	3	-0,393	2	-0,354	1	-0,151	nb	nb	nb	nb
4	nb	nb	5	-1,967	3	-2,081	2	-0,815	4	-1,033	nb	nb
2	1	-2,554	13	-9,857	15	-12,222	4	-4,409	8	-4,900	1	-0,969
1	19	-12,106	50	-49,391	80	-71,775	19	-23,858	15	-23,243	3	-5,215
0,5	53	-57,388	113	-247,480	199	-421,504	55	-129,103	47	-110,256	10	-28,066
0,25	81	-272,041	206	-1240,040	416	-2475,324	148	-698,629	125	-523,018	38	-151,037
0,125	141	-1289,576	544	-6213,400	739	-14536,592	384	-3780,558	221	-2481,019	88	-812,803
0,063	312	-6113,068	nb	nb	nb	nb	659	-20458,082	349	-11769,107	136	-4374,074
0,031	559	-28978,209	nb	nb	nb	nb	nb	nb	2245	-55828,617	nb	nb
0,016	1226	-137367,463	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb

t – czas tonięcia krążka; nb – nie badano w danym stężeniu

Źródło: opracowanie własne



Rys. 4. Zależność dt/dc od rodzaju i stężenia roztworu koncentratu pożarniczego
Źródło: opracowanie własne

Z punktu widzenia praktycznych zastosowań roztworów koncentratów pożarniczych, zdolności do zwilżania są tym lepsze, im niższe jest stężenie koncentratu, przy którym roztwór ma dobre właściwości zwilżające. W omawianej metodzie można je wyznaczyć jako stężenie, przy którym kończy się szybki spadek czasu tonięcia krążka. Stężenie takie odczytane z wykresu przedstawionego na rys. 4 można nazwać „minimalnym stężeniem stosowania” lub „zdolnością do zwilżania”.

Najlepsze zdolności zwilżające w tym badaniu wykazał specjalnie opracowany zwilżacz SupraWet, a najgorsze środek syntetyczny Sthamex F-15. Można również uszeregować wyniki zdolności zwilżającej otrzymane w tej metodzie względem grup koncentratów pożarniczych, poczynając od zwilżaczy (SupraWet, Amber One), następnie środek klasy A (Prosintex A), kończąc na środkach pianotwórczych typu S (Pianol S3, Sthamex F-15), co zgadza się z danymi literaturowymi [3, 4, 9]. Pozostałe środki pianotwórcze wykorzystywane w ochronie przeciwpożarowej wykazują znacznie gorsze zdolności zwilżające w stosunku do badanych preparatów (środki typu AFFF) lub nie poprawiają ich w ogóle w stosunku do wody (wszystkie środki proteinowe). Badane roztwory surfaktantu AOT uzyskały zdolności zwilżające porównywalne z roztworami środka klasy A – nieco gorsze właściwości zwilżające niż specjalne zwilżacze i lepsze niż środki typu S.

Metoda pomiaru czasu tonięcia krążka z bawełny hydrofobowej daje zróżnicowane wyniki minimalnego stężenia stosowania. Nawet w poszczególnych grupach środków oscyluje ono w przedziale od 0,25 do 1%, więc należy je ustalać indywidualnie dla konkretnych koncentratów. Podkreślić jednak trzeba, że już najmniejszy dodatek badanych substancji do wody powodował poprawę zdolności zwilżających.

5.2. Badanie zdolności zwilżających metodą z wykorzystaniem płyty pilśniowej

Dzięki zastosowaniu dyszy rozpylającej, powodującej podawanie roztworu każdorazowo w taki sam sposób, uzyskano powtarzalność przeprowadzonych prób na zadowalającym poziomie. Względny przyrost masy próbki Z wynikający z wchłonięcia roztworu obliczano z następującej zależności:

$$Z = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100\% \quad (3)$$

gdzie:

Z – względny przyrost masy płytki w %,

m_1 – masa początkowa płytki,

m_2 – masa płytki po zwilżeniu.

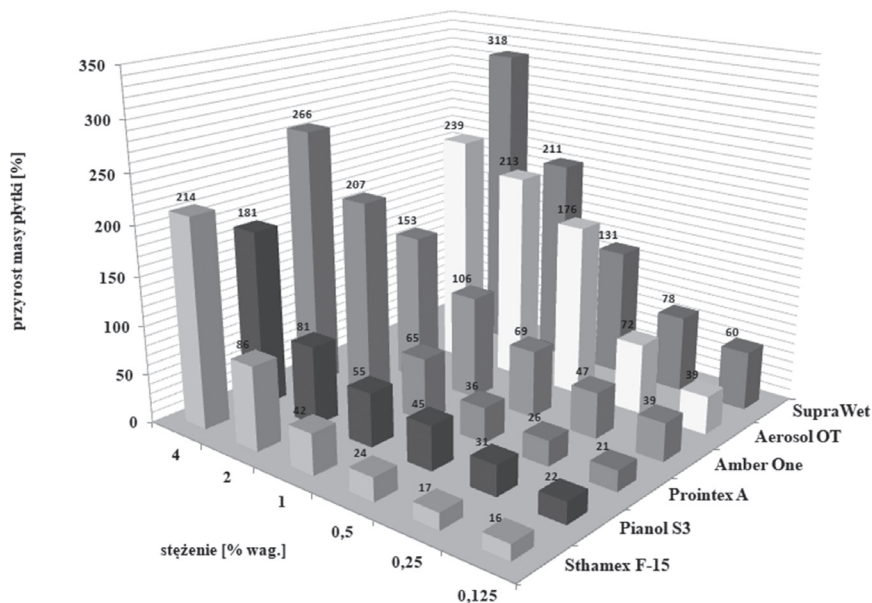
Wyniki pomiarów przedstawiono w formie tabeli 3 oraz wykresu zależności procentowego przyrostu masy płytki od rodzaju i stężenia koncentratu w roztworze (rys. 5).

Przyjmując za kryterium zwilżalności procentowy przyrost masy płytki, najlepszym zwilżaczem okazał się SupraWet, dla którego roztworów przyrost masy był największy dla stężeń 0,1255 i 0,25% oraz 2% i 4%. Dla stężeń 0,5% i 1% nieco lepsze wyniki odnotowano dla Aerosolu OT. W stężeniach od 0,25% do 1%, procentowy przyrost masy płytki dla środka Sthamex F-15 był wyraźnie mniejszy od pozostałych, co świadczy o jego najgorszych zdolnościach zwilżających w stosunku do płyty pilśniowej spośród badanych koncentratów. Procentowy przyrost masy płytki ma bezpośrednie przełożenie na stopień wykorzystania wody w trakcie gaszenia pożaru. Im większy przyrost masy w stosunku do początkowej masy badanej płytki, tym więcej roztworu zatrzymuje się w materiale gaszonymi i wnika w jego strukturę, a więc tym większy jest efekt chłodzący wody.

Tabela 3. Zależność procentowego przyrostu masy płytki (Z) oraz powierzchni zwiłzonej spodniej części płytki (A) od rodzaju i stężenia koncentratu pożarniczego

c [%]	Aerosol OT		Pianol S3		Sthamex F-15		Prointex A		Amber One		SupraWet		Woda	
	Z [%]	A [cm ²]	Z [%]	A [cm ²]	Z [%]	A [cm ²]	Z [%]	A [cm ²]	Z [%]	A [cm ²]	Z [%]	A [cm ²]	Z [%]	A [cm ²]
4	nb	nb	181	62	214	71	266	90	nb	nb	nb	nb		
2	239	80	81	50	86	54	207	51	153	66	81			
1	213	72	55	48	42	37	65	39	106	62	77			
0,5	176	61	45	41	24	13	36	20	69	52	71			
0,25	72	54	31	32	17	12	26	14	47	40	60			1
0,125	39	18	22	5	16	6	21	9	39	19	55			
0,0625	17	5	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	41	48		

nb – nie badano w danym stężeniu; Z – procentowy przyrost masy płytki [% wag.]; A – powierzchnia zwiłzonej spodniej części płytki [cm²]
 Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Zależność procentowego przyrostu masy płytki od stężenia i rodzaju koncentratu pożarniczego w teście z wykorzystaniem płyty pilśniowej według NFPA 18
Źródło: opracowanie własne

W przedstawianych badaniach używano za każdym razem po 100 g roztworu, zatem stopień wykorzystania wody można wyliczyć z następującej zależności:

$$S = \frac{m_2 - m_1}{100g} \times 100\% \quad (4)$$

gdzie:

S – stopień wykorzystania wody,

m_1 – masa początkowa płytki,

m_2 – masa płytki po zwilżeniu.

W tabeli 4 zestawiono stopień wykorzystania roztworu w procesie zwilżania od rodzaju zastosowanego koncentratu (przedstawione wyniki dotyczą 2% i 0,5% roztworów wodnych oraz wody destylowanej).

Tabela 4. Zależność stopnia wykorzystania roztworu w procesie zwilżania od rodzaju koncentratu pożarniczego

Stężenie [% wag.]	Aerosol OT	Pianol S3	Sthamex F-15	Prointex A	Amber One	SupraWet	Woda
	S [%]						
2	45,0	15,8	16,1	39,0	29,4	60,7	2,5
0,5	28,1	7,1	4,0	5,9	7,8	13,0	2,5

S – procentowy stopień wykorzystania roztworu w procesie zwilżania [% wag.]

Źródło: opracowanie własne

Roztwory surfaktantu AOT, w metodzie płyty pilśniowej, mają bardzo wysokie właściwości zwilżające (lepsze właściwości ma jedynie zwiłzacz SupraWet). Fakt ten jest ciekawy z tego względu, że w badaniach zgodnych z normą PN-EN1772:2001, do której został on przewidziany jako substancja wzorcowa, Aerosol OT miał średnie wartości zwilżające.

W przypadku zastosowania, jako kryterium zdolności zwilżających, stopnia zwilżenia spodniej części płytki (A), uszeregowanie koncentratów pod względem właściwości zwilżających okazało się takie same jak w przypadku zastosowania procentowego przyrostu masy płytki (Z), przy czym zakres otrzymanych wartości jest znacznie mniejszy a więc parametr ten (A) gorzej różnicuje zdolności zwilżające poszczególnych środków.

Podsumowanie i wnioski

Z powodu braku polskich norm oraz regulacji prawnych w zakresie stosowania zwiłzaczy stosowanych w pożarnictwie, do oceny praktycznej zdolności zwilżającej tych preparatów, podjęto badania nad zaadaptowaniem metod opisanych w standardzie NFPA 18 oraz zweryfikowano przydatność do tego celu metody badawczej wskazanej w normie PN-EN1772:2001 przeznaczonej dla przemysłu włókienniczego. Opisane metody umożliwiają analizowanie zwilżania materiału palnego w aspekcie rozplływania się po powierzchni jak i wsiąkania w jego strukturę.

Badanie zdolności zwilżających zgodnie z normą PN-EN1772:2001 z użyciem krążków z tkaniny bawełnianej, pozwala w prosty i szybki sposób doko-

nać wstępnej oceny badanego preparatu. Należy jednak pamiętać, że metoda oparta jest na wykorzystaniu szczególnego materiału hydrofobowego, jakim jest technologiczna hydrofobowa tkanina bawełniana oraz nie pozwala na odniesienie wyników do wody jako podstawowego środka gaśniczego do gaszenia pożarów grupy A.

W przypadku badań z wykorzystaniem płyty pilśniowej, materiału częściowo zwilżalnego wodą, kryteriami zwilżania badanej próbki były przyrost masy płytki po badaniu oraz powierzchnia zwilżonej spodniej części płytki. Test ten pozwala na rozróżnienie zdolności zwilżających w warunkach dynamicznych (krótki kontakt badanego roztworu z materiałem zwilżanym), zbliżonych do praktycznych zastosowań oraz na porównanie działania roztworów do działania czystej wody.

Opisane metody oceny zdolności zwilżających, pomimo zastosowania różnych materiałów testowych, dały zbliżone do siebie wyniki dla poszczególnych środków. Rozbieżności wynikają przede wszystkim z charakteru materiału i jego struktury oraz przebiegu procesów zwilżania, na które miały wpływ zróżnicowane właściwości roztworów i materiałów. Należy również podkreślić, że na podstawie zaproponowanych testów właściwości gaśnicze badanych koncentratów można ocenić tylko pośrednio. W pracy nie prowadzono testów gaśniczych. Ten problem należy uwzględnić przy tworzeniu regulacji prawnych w zakresie oceny i charakterystyki właściwości użytkowych zwilżaczy pożarniczych.

Literatura

- [1] PN-EN-2:1998/A1:2005 Grupy Pożarów.
- [2] NFPA 18 „Standard on Wetting Agents”, 2017 Edition, National Fire Protection Association NFPA.
- [3] Jakubiec J., Mizerski A., Janeczek M., Ocena zdolności zwilżających i gaśniczych surfaktantów anionowych i niejonowych w warunkach zbliżonych do praktycznych z wykorzystaniem metod opartych na normie NFPA 18, *Przemysł Chemiczny* 2015, nr 10.
- [4] Król B., Sobolewski M., Jakubiec J., Szczech K., Badania porównawcze zdolności zwilżających i gaśniczych roztworów środków pianotwórczych na bazie testu zwilżania płyty pilśniowej wg NFPA 18, *Zeszyty Naukowe SGSP* 2013, nr 46.

- [5] PN-EN1772:2001 Środki powierzchniowo czynne – Oznaczanie zdolności zwilżania przez zanurzenie.
- [6] PN-EN 3-7+A1:2008: Gaśnice przenośne – Część 7: Charakterystyki, wymagania eksploatacyjne i metody badań.
- [7] <http://www.chemicaland21.com/specialtychem/perchem/DIOCTYL%20SODIUM%20SULFOSUCCINATE.htm> (dostęp: 03.01.2018).
- [8] Jakubiec J., Mizerski A., Badanie kinetyki nasycania kapilarnego tkanin bawełnianych roztworami surfaktantów, *Zeszyty Naukowe SGSP* 2012, nr 43.
- [9] Mizerski A., Sobolewski M., Król B., *Piany gaśnicze*, SGSP, Warszawa 2006.