

**Aleksandra Kuchta**

*Szkoła Główna Służby Pożarniczej w Warszawie*

## **Badanie nasycania płyty pilśniowej roztworami środków pianotwórczych jako propozycja metody badania zdolności zwilżających**

### **Abstrakt**

Brak znormalizowanych metod badawczych, dotyczących stosowanych w pożarnictwie środków zwilżających, skłania do podejmowania badań związanych z oceną zdolności zwilżających wodnych roztworów koncentratów pożarniczych. W artykule zaproponowano metodę badawczą, będącą alternatywą dla stosowanych do tej pory metod, dającą możliwość oceny wpływu dodatków do wody na zdolności zwilżające uzyskanych roztworów. W szerokim zakresie stężeń zbadano dynamiczne napięcie powierzchniowe używanych koncentratów środków pianotwórczych różnych typów, zwilżaczy pożarniczych oraz surfaktantu wzorcowego. W prostych, łatwo odtwarzalnych warunkach pomiarowych, nasycano próbki płyty pilśniowej o wymiarach 2,5 cm × 8 cm × 0,5 cm roztworami badanych środków. Miarą zdolności zwilżającej był przyrost masy płytki po określonym czasie nasycania. Wyniki przedstawiono w formie wykresów, obrazujących izotermy dynamicznego napięcia powierzchniowego oraz zależność zdolności zwilżających od stężenia roztworu. Dokonano analizy porównawczej zdolności zwilżających badanych koncentratów pożarniczych.

**Słowa kluczowe:** zwilżanie, dynamiczne napięcie powierzchniowe, nasycanie kapilarne, środki pianotwórcze, zwilżacze pożarnicze

## **Research into the Saturation of the Wood Fiber Board by the Foaming Agents Solutions as a Form of a Testing Method for the Wetting Agents**

### **Abstract**

The lack of the standardized test methods on the wetting agents used in fire-fighting, tends to conduct the researches related to the evaluation of the wetting ability of the aqueous solutions fire concentrates. The articles presents the research

method which is different from the used so far . It gives the opportunity to evaluate the effect of additives to the water on the ability of wetting solutions. In a broad concentration range the dynamic surface tension of the foaming agents concentrates of various types, wetting agents and the standard surfactant have been tested. In the simple and easily reproducible measurement conditions, the samples of the wood fiber board measuring 2,5 cm × 8 cm × 0,5 cm have been saturated by some solutions of the testing agents. The measure of the wetting ability was the weight gained of plates after a specified time of saturation. The results have been presented in the charts showing the isothermal dynamic surface tension and the dependence of the wetting ability on the solution concentration. A comparative analysis of the wetting ability of test fire concentrates has been done.

**Keywords:** wetting, dynamic surface tension, capillary saturation, foaming agents, wetting agents

## Wstęp

Z danych statystycznych Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej (KG PSP) wynika, że znaczna część zdarzeń, w których uczestniczą jednostki PSP, to pożary mieszkań, budynków i lokali użyteczności publicznej. Większość występujących w nich elementów wyposażenia to ciała stałe, zakwalifikowane do grupy pożarów A w rozumieniu normy PN-EN 2:1998/A1:2006 [1]. Obok pożarów budynków, znaczny procent działań gaśniczych ma miejsce w rolnictwie i leśnictwie [2]. Materiały występujące w tych dziedzinach działalności człowieka, takie jak drewno, trociny, słoma, siano czy torf również kwalifikują się do grupy pożarów A. Zróżnicowane struktury tego rodzaju ciał oraz ich różne właściwości fizyko-chemiczne skutkują odmiennym przebiegiem procesu spalania poszczególnych materiałów, który może przebiegać zarówno płomieniowo, jak i bezpłomieniowo. Skuteczność zwalczania tego typu pożarów, oprócz zgaszenia płomienia, polega na likwidacji spalania bezpłomieniowego oraz na zabezpieczeniu materiałów przed ponownym zapaleniem.

Istotnym elementem działań straży pożarnej jest dobór odpowiedniego środka gaśniczego do rodzaju palącego się materiału. Najczęściej stosowanym środkiem w działaniach gaśniczych jest woda [3]. Jej skuteczność

gaśnicza opiera się głównie na chłodzącym działaniu podawanych prądów wodnych, rozumianym jako zwiększenie szybkości odprowadzania ciepła ze strefy spalania do otoczenia, zmniejszenie szybkości zasilania płomienia produktami pirolizy spalanego materiału stałego i zapobieganie nagrzewaniu ciał narażonych na osiągnięcie temperatury zapłonu [4]. Zwiększenie skuteczności gaśniczej wody można uzyskać przez zastosowanie dodatków surfaktantów, które zmniejszając napięcie powierzchniowe wody, powodują lepsze rozplątanie po płaskich powierzchniach oraz szybsze wnikanie w strukturę materiałów porowatych przy mniejszym zużyciu wody [5].

Najczęściej wykorzystywanymi w pożarnictwie dodatkami poprawiającymi zdolności zwilżające wody są środki pianotwórcze typu S [6]. Wynika to z uniwersalności ich zastosowania zarówno przy gaszeniu pożarów grupy A, jak i niewielkich rozlewisk cieczy palnych, zakwalifikowanych normalnie do grupy pożarów B [7]. Rzadziej używane są środki pianotwórcze klasy A, które przeznaczone są do gaszenia pożarów ciał stałych, m.in. przy zastosowaniu systemów piany „sprężonej” typu CAFS [8]. Sporadycznie wykorzystuje się zwilżacze pożarnicze, które przeznaczone są do podawania w postaci roztworów wodnych. Środki fluoroproteinowe oraz syntetyczne tworzące film wodny stosowane są głównie do gaszenia pożarów cieczy, jednak środki AFFF, ze względu na bardzo niskie napięcie powierzchniowe roztworów i związane z tym dobre zdolności rozplątania po powierzchniach, znajdują zastosowanie w podręcznym sprzęcie gaśniczym oraz w stałych urządzeniach gaśniczych.

## 1. Nasycanie kapilarne roztworami surfaktantów

Pojęcie zwilżania można zdefiniować jako sposób oddziaływania cieczy na ciało stałe. Zjawisko to jest zależne od sił adhezji, rozumianych jako siły wzajemnego oddziaływania cząsteczek ciała stałego i cieczy oraz od sił kohezji – spójności cieczy, których miarą jest napięcie powierzchniowe.

Charakterystyczną wielkością odnoszącą się do zdolności zwilżających jest kąt zwilżania  $\theta$ , którego jedno ramię tworzy styczna do powierzchni kropli, poprowadzona w punkcie zetknięcia trzech faz – ciało stałe, gaz (powietrze), ciecz – drugie natomiast utworzone jest przez płaską powierzchnię zwilżanego materiału. Wartość kąta  $\theta$  mierzona jest między jego ramionami, w miejscu występowania cieczy. Gdy wartość kąta  $\theta$  jest równa  $0^\circ$ , substancja

całkowicie zwilża daną powierzchnię. Dobre zwilżanie ma miejsce dla zakresu kąta  $\theta$  od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ , natomiast kąt  $\theta > 90^\circ$  świadczy o ograniczonej zwilżalności. Całkowity brak zdolności zwilżającej ( $\theta = 180^\circ$ ) jest pojęciem wyłącznie teoretycznym. Ciała stałe zwilżane wodą, gdy  $\theta < 90^\circ$ , zwane są hydrofilowymi, kąt  $\theta > 90^\circ$  wskazuje na ich charakter hydrofobowy [9].

Popularnym badaniem, stosowanym do pomiarów kąta zwilżania, jest metoda osadzanej kropli. Polega ona na umieszczeniu kropli cieczy na płycie wykonanej z gładkiego, dokładnie oczyszczonego materiału, której obraz następnie poddawany jest analizie. Przy pomocy specjalnego typu oprogramowania wyznaczane są styczne do powierzchni kropli w punkcie styku trzech faz, tworzące kąt zwilżania. Jest to metoda, w której wykorzystuje się specjalne przyrządy pomiarowe, w celu usprawnienia prowadzonych badań, jednak możliwe jest wykonywanie pomiarów przy pomocy stanowisk własnej konstrukcji [10].

Innym testem, służącym do wyznaczania wartości kątów zwilżania jest metoda Wilhelmięgo, w której element pomiarowy stanowi odpowiednio przygotowana, w celu wyeliminowania chropowatości i zanieczyszczeń, platynowa płytka, zanurzona w badanej cieczy. Za pomocą specjalnego układu wagowego mierzona jest siła, z jaką płytka jest podnoszona do granicy faz. Kąty zwilżania wyznaczane są przez urządzenie, wykorzystujące zależności między napięciem powierzchniowym cieczy, długością zanurzenia płytki i zmierzoną siłą [11].

W przeciwieństwie do gładkich powierzchni, stosowanych w wyżej wymienionych metodach pomiaru kąta zwilżania, materiały porowate charakteryzują się zróżnicowanym kształtem powierzchni oraz zawartością porów o różnych rodzajach, kształtach i wymiarach. W uproszczonym modelu, stosowanym w badaniach zwilżania materiałów porowatych, warstwę materiału stanowi pęk równoległych kapilar przelotowych o jednakowej średnicy [12]. Podczas kontaktu cieczy z powierzchnią kapilary występuje zakrzywienie powierzchni cieczy zwane meniskiem. Meniski wklęsłe tworzą się, gdy ciecz dobrze zwilża powierzchnię kapilary, w przeciwnym wypadku mamy do czynienia z meniskami wypukłymi. Pojęcia te są związane również z wysokością wzniesienia cieczy w kapilarze, wyznaczaną ze wzoru:

$$h = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{r \cdot \rho \cdot g} \text{ [m]} \quad (1)$$

gdzie:

$\sigma$  – napięcie powierzchniowe roztworu [N/m],

$r$  – promień kapilary [m],

$\rho$  – gęstość cieczy [kg/m<sup>3</sup>],

$g$  – przyspieszenie grawitacyjne [m/s<sup>2</sup>],

$\theta$  – kąt zwilżania [°].

Szybkość wnikania cieczy w kapilary maleje wraz ze wzrostem wysokości wzniesienia cieczy, co zależne jest od różnicy ciśnień  $\Delta p$ , rozumianej jako różnica ciśnienia kapilarnego oraz hydrostatycznego. W procesie nasycania kapilarnego roztworami surfaktantów istotną rolę odgrywa szybkość dyfuzji cząsteczek związków powierzchniowo czynnych do granicy faz. Cząsteczki surfaktantów adsorbują się w powierzchniowej warstwie cieczy, tworząc tzw. warstwę adsorpcyjną. Tworzenie takiej warstwy powoduje zmianę oddziaływania cząsteczek cieczy na zwilżane ciało [13]. Zjawisko dyfuzji oraz zagęszczenie warstwy adsorpcyjnej zależne jest od stężenia zawartych w roztworze cząsteczek związku powierzchniowo czynnego.

W celu przeprowadzenia badań zdolności zwilżającej roztworów związków powierzchniowo czynnych i ich koncentratów w stosunku do materiałów porowatych, można posłużyć się testem stosowanym w przemyśle włókienniczym, opisanym w polskiej normie PN-EN 1772:2001. Metoda ta polega na pomiarze zależności czasu nasycania ciał porowatych, jakimi są bawełniane krążki, od stężenia roztworu. Jest to badanie umożliwiające analizę porównawczą zdolności zwilżających badanych roztworów względem roztworu wzorcowego, jednak nie uwzględnia istotnego, z punktu widzenia pożarnictwa, parametru, jakim jest zdolność gaśnicza [14].

Badania zdolności zwilżających i gaśniczych środków powierzchniowo czynnych wykorzystywanych w pożarnictwie nie zostały ujęte w polskich przepisach. Metodę takich badań przedstawiono w amerykańskiej normie NFPA 18. Badania te polegają na zapaleniu próbki płyty pilśniowej, a następnie próbie jej zgaszenia przy użyciu wody oraz wodnych roztworów środków powierzchniowo czynnych. Biorąc pod uwagę fakt, że w standardach tych zapisy dotyczące przebiegu rozpalania oraz sposobu podawania badanego roztworu nie zostały ściśle sprecyzowane, możliwe jest opracowanie różnych wariantów metody [6]. Miarą zdolności gaśniczej jest fakt ugaszenia bądź nieugaszenia palącej się płyty pilśniowej, a miarą zdolności zwilżających – masa

wykorzystanego roztworu (zatrzymanego w płytce). Analiza uzyskanych wyników umożliwia porównanie zdolności zwilżających badanych środków oraz pozwala na określenie minimalnego stężenia stosowanych roztworów środków powierzchniowo czynnych, przy którym następuje zgaszenie próbki.

Innym testem dającym pogląd na zdolności zwilżające roztworów środków stosowanych w pożarnictwie jest gaszenie surowej, odziarnionej bawełny. Procedura ta również opiera się na zapisach zawartych w NFPA 18. W przeciwieństwie do próby z gaszeniem płyty pilśniowej, gdzie zapalenie inicjowane jest powierzchniowo (od spodu próbki), bawełnę poddaje się działaniu bodźca energetycznego wewnątrz warstwy. W obu próbach miarą zdolności zwilżającej jest masa roztworu, który nie został zatrzymany w gazonym materiale. Środek dobrze zwilżający charakteryzuje się mniejszym odciekiem roztworu gaśniczego niż w przypadku gaszenia wodą. Obok oceny zdolności zwilżającej wynikiem testu jest również pozytywna lub negatywna ocena skuteczności gaśniczej (ugaszenie lub nieugaszenie) [15].

Kolejną odmianą testu zdolności zwilżającej wzorowanym na NFPA 18 jest tzw. *dynamiczny test zdolności zwilżającej*, polegający na wylaniu porcji wody i roztworu środka pianotwórczego lub zwilżającego na próbkę płyty pilśniowej, poziomo umieszczonej na stelażu. Zasadnicza różnica między opisanymi metodami polega na podpaleniu lub braku podpalenia próbki. Wynikiem zdolności zwilżającej jest przyrost masy próbki płyty spowodowany wnikiem cieczy w strukturę materiału. Wyniki nieopublikowanych badań przeprowadzonych w Szkole Głównej Służby Pożarniczej [16] wykazywały zbliżone zdolności zwilżające (pomijając efekt gaśniczy) w obu wariantach metody wzorowanej na NFPA 18 dla poszczególnych koncentratów pożarniczych.

W niniejszym artykule zaproponowano alternatywną, statyczną metodę oceny zdolności zwilżającej środków pianotwórczych i zwilżaczy pożarniczych polegającą na nasycaniu roztworami badanego koncentratu próbek płyty pilśniowej. Mierzoną, w tej metodzie, wielkością jest masa wchłoniętego przez płytkę roztworu w określonym czasie.

## **2. Charakterystyka materiału i badanych środków**

Gatunek drewna, rodzaj spoiwa, rodzaj i liczba stosowanych dodatków czy sposób ułożenia włókien materiału istotnie wpływa na szybkość wchłaniania wody przez płyty pilśniowe. Wykorzystana w badaniach płyta pilśniowa,

której dystrybutorem jest Barlinek S.A. wyprodukowana została przez firmę Steico CEE Sp. z o.o. Badana płyta jest materiałem o niesymetrycznym ułożeniu włókien drzewnych. Budowa tego rodzaju materiałów wskazuje na strukturę porowatą, w której pory ułożone są w różnych kierunkach. Materiał oznaczony symbolem EN 622-4 SB-E1 wykonano zgodnie z normą PN-EN 622-4: *Płyty pilśniowe – Wymagania techniczne – Część 4: Wymagania dla płyt porowatych*. Płyta zawiera włókna drzewne, siarczan glinu, środek hydrofobizujący i barwnik. Jej gęstość wynosi ok.  $0,25 \text{ g/cm}^3$  [17].

Zmierzono trzy ważne parametry płyty: gęstość właściwą i gęstość pozorną, służące do wyznaczenia porowatości, oraz wilgotność. Gęstość właściwą płytki, oznaczoną symbolem  $\rho_w$  wyznaczono, korzystając z zależności:

$$\rho_w = \frac{m_p}{V_p - V_c} [\text{g/cm}^3] \quad (2)$$

gdzie:

$m_p$  – masa suchej płytki [g],

$V_p$  – objętość płytki [ $\text{cm}^3$ ],

$V_c$  – objętość wchłoniętej cieczy [ $\text{cm}^3$ ].

Po całkowitym nasyceniu heptanem prostopadłościenną próbkę o ustalonych wymiarach, zmierzono masę wchłoniętej cieczy. Następnie, przyjmując gęstość heptanu równą  $0,684 \text{ g/cm}^3$  (w temperaturze  $20^\circ\text{C}$ ) wyznaczono objętość wchłoniętej przez próbkę cieczy, oznaczoną symbolem  $V_c$ . Objętość rzeczywista materiału stałego była różnicą objętości płytki i objętości wchłoniętego heptanu.

Gęstość pozorną  $\rho_p$  obliczono jako stosunek masy płytki do jej objętości.

Porowatość płytki  $\varepsilon$  obliczono z zależności:

$$\varepsilon = \frac{\rho_w - \rho_p}{\rho_w} \quad (3)$$

Wilgotność płytek wyznaczono przy użyciu wagosuszarki MAX 50/NH firmy RADWAG, przy temperaturze wygrzewania równej  $105^\circ\text{C}$ .

Uzyskano następujące wartości charakteryzujące badany materiał porowaty (średnie z trzech niezależnych prób):

- gęstość właściwa –  $0,76 \pm 0,06 \text{ g/cm}^3$ ,
- gęstość pozorną –  $0,24 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ ,

- porowatość –  $0,68 \pm 0,03$ ,
- wilgotność –  $5,9\% \pm 0,03\%$ .

W badaniach wykorzystane zostały środki pianotwórcze typu S, klasy A oraz specjalne zwilżacze pożarnicze. Z uwagi na ograniczony dostęp od informacji dotyczących poszczególnych koncentratów, ich charakterystyka opiera się głównie na informacjach pozyskanych od producentów oraz kartach charakterystyk. W tabeli 1 zestawiono podstawowe właściwości fizykochemiczne badanych środków pianotwórczych i zwilżaczy pożarniczych.

Tabela 1. Właściwości badanych środków pianotwórczych i zwilżaczy pożarniczych

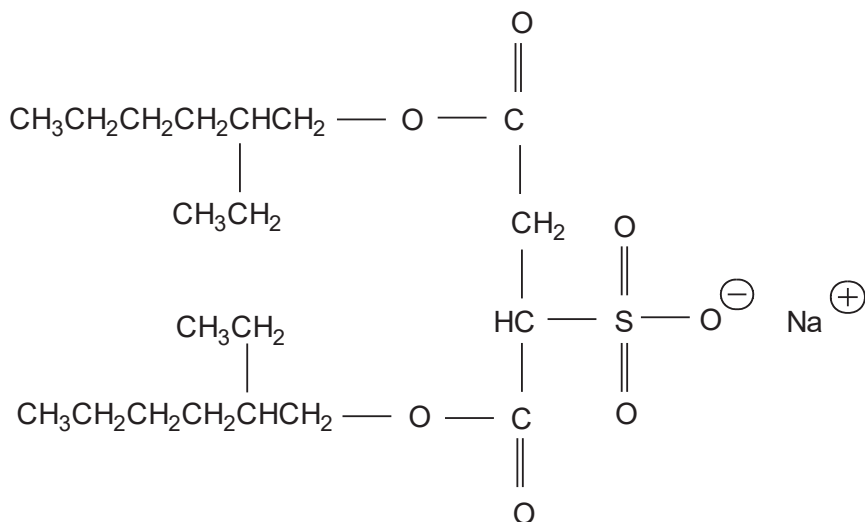
Oznaczenie koncentratu	Typ środka	Gęstość (20 °C) [g/cm <sup>3</sup> ]	pH	Temperatura krzepnięcia [°C]	Zalecane stężenie stosowania [%]*
S1	środek pianotwórczy typu S	$1,05 \pm 0,02$	$8,0 \pm 1,0$	$-15 \pm 2$	3
S2	środek pianotwórczy typu S	$1,04 \pm 0,02$	6,5–8,5	-15	0,3–1
A	środek pianotwórczy klasy A	$1,03 \pm 0,01$	6,5–9,0	-5	0,1–1
Z1	zwilżacz pożarniczy	$1,00 \pm 0,02$	6,5–8,5	-10	0,5
Z2	zwilżacz pożarniczy	$1,04 \pm 0,02$	6,5–8,5	-25	0,1
AFFF	środek pianotwórczy typu AFFF	$1,05 \pm 0,02$	$7,0 \pm 0,5$	$-22 \pm 2$	3

Źródło: opracowano na podstawie [18]

W charakterze substancji wzorcowej wykorzystano anionowy związek powierzchniowo czynny o handlowej nazwie Aerosol OT (AOT). Jest to sól sodowa sulfobursztynianu di(2-etyloheksylu), której wzór strukturalny został przedstawiony na rys. 1. Podstawowe właściwości fizykochemiczne



oraz informacje dotyczące tego surfaktantu przedstawiono w tabeli 2. Jest on także substancją wzorcową w metodzie oceny zdolności zwilżającej opisanej w normie PN-EN 1772:2001 [14].



Rys. 1. Wzór strukturalny di(2-etyloheksylo) sulfobursztynianu sodu

Źródło: [19]

Tabela 2. Właściwości surfaktantu wzorcowego

Nazwa handlowa	Wzór sumaryczny	M [u]	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Czystość, [%]	cmc*, [g/dm <sup>3</sup> ]	Forma	Barwa	Producent	Struktura przestrzenna
Aerosol OT	C <sub>20</sub> H <sub>37</sub> NaO <sub>7</sub> S	445	1,1	96	0,81	woskowa substancja stała	biała	Alfa Aesar GmbH & Co KG	

\*) – cmc – krytyczne stężenie micelarne (critical micelle concentration)

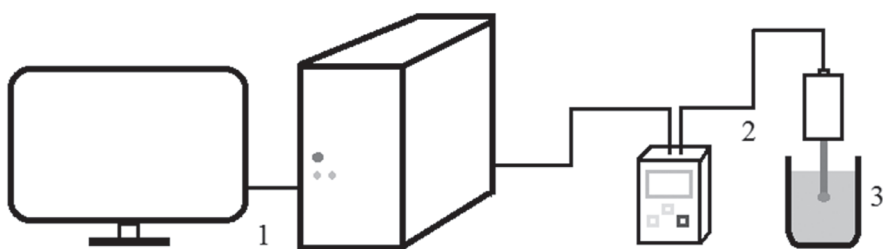
Źródło: opracowano na podstawie [18]

### 3. Metodyka badań

#### 3.1. Aktywność powierzchniowa

Dla wszystkich koncentratów pożarniczych i surfaktantu wzorcowego wykonano pomiary dynamicznego napięcia powierzchniowego. Próby przeprowadzono dla wodnych roztworów środków pianotwórczych i zwilżaczy o stężeniach wagowych: 4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,0625 i 0,03125%. Do sporządzania roztworów używano wody demineralizowanej o temp.  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ , w temperaturze otoczenia  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ . Pomiary z wykorzystaniem roztworów wzorcowego surfaktantu przeprowadzono dla stężeń 8, 4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 i  $0,0625 \text{ g/dm}^3$ . Zakładając, że średnia zawartość surfaktantu w koncentracie pożarniczym wynosi ok. 20% wag., stężeniu środka pianotwórczego równemu 1% odpowiada stężenie surfaktantu równe  $2 \text{ g/dm}^3$ .

Pomiary dynamicznego napięcia powierzchniowego wykonywano metodą maksymalnego ciśnienia pęcherzyka dla czasów tworzenia pęcherzyków od 0,03 do 10 s. Badania przeprowadzono w Centrum Naukowo Badawczym Ochrony Przeciwożarowej Państwowy Instytut Badawczy w Józefowie, przy pomocy tensjometru pęcherzykowego *SITA science line t60*, na stanowisku przedstawionym na rys. 2.



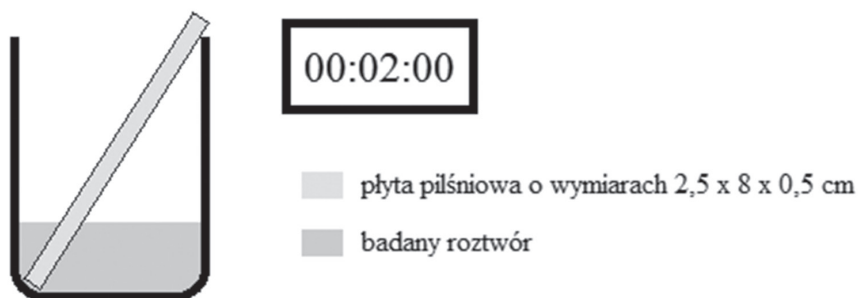
Rys. 2. Schemat stanowiska do pomiaru dynamicznego napięcia powierzchniowego, 1 – komputer, 2 – tensjometr pęcherzykowy, 3 – badana ciecz

Źródło: opracowanie własne

Krytyczne stężenia micelarne wyznaczano z izoterm napięcia powierzchniowego, sporządzonych dla czasów tworzenia pęcherzyków ok. 5,5 s (rys. 7).

### 3.2. Zdolności zwilżające

Badania nasycania kapilarnego wykonywane były przy wykorzystaniu prostego układu pomiarowego, którego schemat przedstawiono na rys. 3.



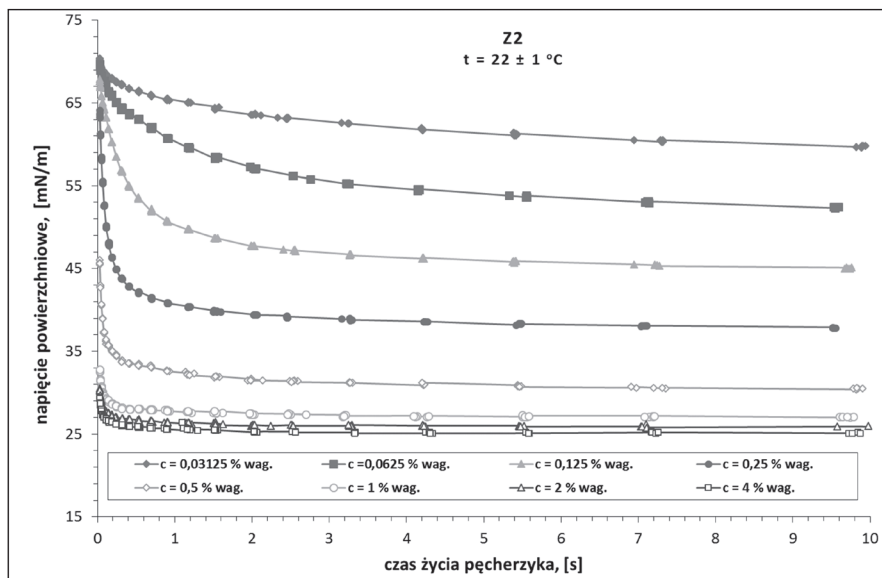
Rys. 3. Schemat stanowiska do badania nasycania kapilarnego próbek płyty pilśniowej  
Źródło: opracowanie własne

Do zlewki o pojemności  $150\text{ cm}^3$  wlewano  $30\text{ cm}^3$  wcześniej przygotowanego roztworu o zadanym stężeniu lub cieczy wzorcowej. Płytkę pilśniową o wymiarach  $2,5\text{ cm} \times 8\text{ cm} \times 0,5\text{ cm}$  ważono i zapisywano jej masę początkową. Płytkę wstawiano do zlewki z badanym roztworem w sposób pokazany na rys. 3. Stosowana ilość roztworu pozwalała na zanurzenie płytki na wysokość  $1,5\text{ cm}$ , co umożliwiło bezpośredni kontakt części próbki z badaną cieczą oraz nasycanie kapilarne próbki nad powierzchnią cieczy. Badania wykonywano dwukrotnie dla każdego stężenia roztworu lub cieczy wzorcowej (woda, heptan i etanol), a otrzymane wyniki uśredniano. Zdolność zwilżającą w opisanym badaniu definiowano jako procentowy przyrost masy próbki ( $Z$ ) po określonym czasie nasycania. Badanie nasycania prowadzono dla takich samych koncentratów i przy takich samych stężeniach roztworów, jak w przypadku badania dynamicznego napięcia powierzchniowego.

## 4. Wyniki pomiarów

Badania dynamicznego napięcia powierzchniowego przeprowadzono w szerokim zakresie stężeń roztworów, otrzymując charakterystyczne izotermy, które pokazano na rys. 4 na przykładzie zwilżacza pożarniczego Z2. Ze wzrostem stężenia maleje czas osiągnięcia napięcia powierzchniowego bliskiego stanowi

równowagi. Znajomość zależności dynamicznego napięcia powierzchniowego od czasu pomaga w interpretacji różnic w szybkości przepływu roztworów surfaktantów przez materiały porowate, a więc w sytuacjach, gdy o zdolnościach zwilżających roztworów decyduje szybkość dyfuzji cząsteczek surfaktantów do powierzchni międzyfazowych.



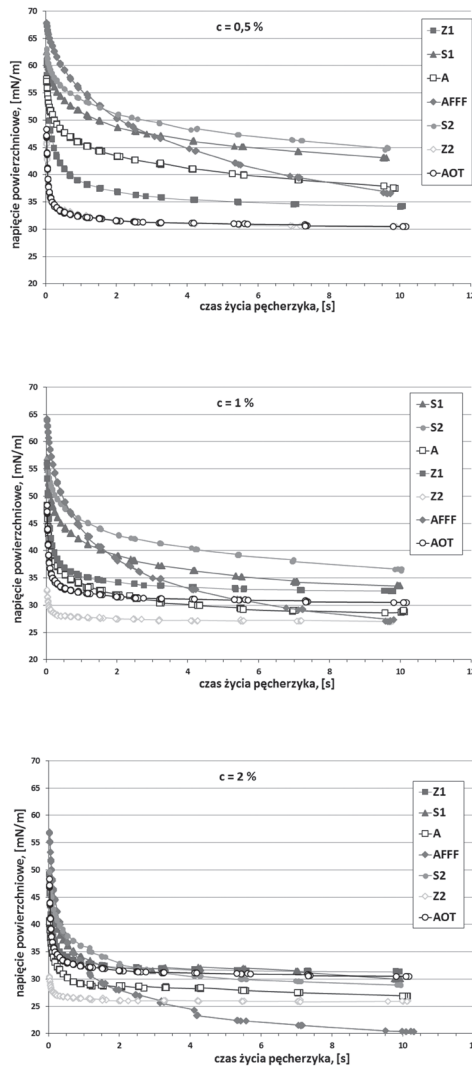
Rys. 4. Izotermy dynamicznego napięcia powierzchniowego roztworów zwilżacza pożarniczego Z2

Źródło: opracowanie własne

Na rys. 5 zestawiono izotermy dynamicznego napięcia powierzchniowego badanych koncentratów i surfaktantu wzorcowego dla roztworów o stężeniach 0,5, 1 i 2%. W przypadku wzorcowego surfaktantu Aerosol OT przyjęto, że stężeniom 0,5, 1 i 2% odpowiadają w przybliżeniu stężenia 1, 2 i 4 g/dm<sup>3</sup>. Wynika to z faktu, iż zawartość substancji powierzchniowo czynnych w pianotwórczych koncentratkach gaśniczych typu S wynosi zwykle około 20% wag.

Na wykresach (rys. 5) zależności napięcia powierzchniowego roztworu od czasu życia pęcherzyka widoczny jest podobny kształt charakterystyk roztworów środków typu S, klasy A oraz zwilżaczy pożarniczych, co wynika ze zbliżonej szybkości dyfuzji zawartych w nich związków powierzchniowo

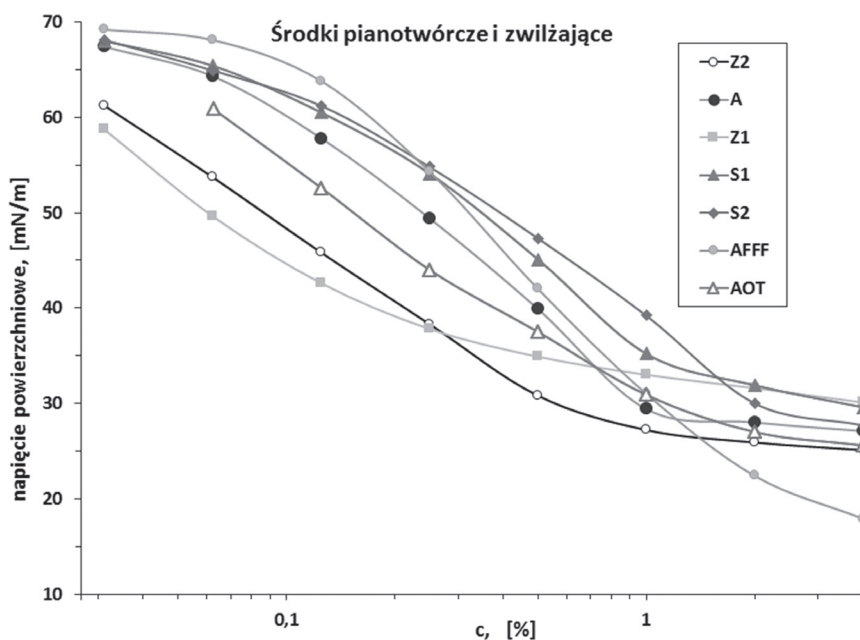
czynnych. Odmienny kształt przyjmują izotermy uzyskiwane dla środka pianotwórczego AFFF. Widoczny jest znaczny spadek wartości napięcia powierzchniowego, co wskazuje na mniejszą szybkość ustalania się równowagowego napięcia powierzchniowego w stosunku do pozostałych koncentratów.



Rys. 5. Izotermy dynamicznego napięcia powierzchniowego badanych środków pianotwórczych o stężeniach 0,5, 1 i 2% (odpowiednio 1, 2 i 4 g/dm<sup>3</sup> dla surfaktantu wzorcowego)

Źródło: opracowanie własne

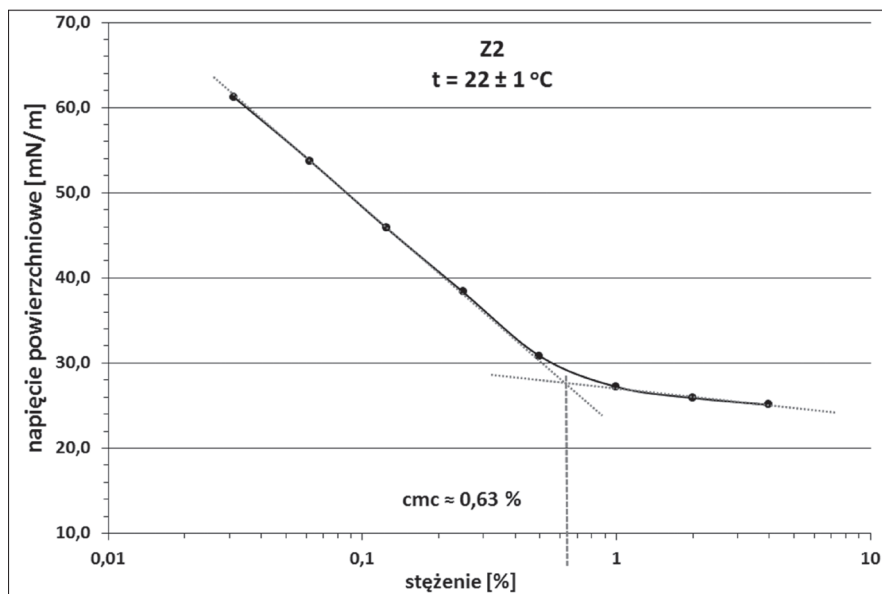
Izotermie napięcia powierzchniowego badanych koncentratów i surfaktantu wzorcowego, dla czasu tworzenia pęcherzyka równego ok. 5,5 s, przedstawiono na rys. 6. Na podstawie przebiegu izoterm wyznaczono wartości krytycznego stężenia micelnarnego w sposób pokazany na przykładzie zwilżacza Z2 na rys. 7. Wybrane wartości charakterystyczne zestawiono w tabeli 3.



Rys. 6. Izotermie napięcia powierzchniowego badanych koncentratów pożarniczych i surfaktantu AOT ( $t = 22 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Źródło: opracowanie własne

Dla większości badanych preparatów uzyskano wartości cmc bliskie 1% lub nieco niższe (0,6% dla Z2). Znacznie niższą wartość cmc wykazuje zwilżacz Z1 – 0,1%. Najniższe napięcie powierzchniowe przy stężeniu 0,5% odnotowano dla zwilżacza pożarniczego Z2 ( $\sigma = 30,8 \text{ mN/m}$ ), najwyższe natomiast dla środka typu S2. Najniższe napięcie powierzchniowe osiąga 2% roztwór środka pianotwórczego AFFF –  $\sigma = 22,4 \text{ mN/m}$ . Tak niskie napięcie powierzchniowe charakterystyczne jest dla środków mających zdolność tworzenia filmu wodnego, których roztwory o stężeniach roboczych osiągają wartości  $\sigma = 16\text{--}18 \text{ mN/m}$ .



Rys. 7. Sposób wyznaczania wartości krytycznego stężenia micelarnego

Źródło: opracowanie własne

Tabela 3. Napięcie powierzchniowe oraz krytyczne stężenie micelarne (cmc) badanych środków

Substancja	cmc [% wag.] <sup>*</sup>	Napięcie powierzchniowe dla czasu tworzenia pęcherzyka 5,5 s [mN/m]		
		0,5%	1%	2%
AOT	0,8	30,9 <sup>*</sup>	27,0 <sup>*</sup>	25,6 <sup>*</sup>
Z2	0,6	30,8	27,2	25,9
A	1,0	45,1	35,2	31,9
Z1	0,1	34,9	33,0	31,6
S1	1,0	45,1	35,2	31,9
S2	1,1	47,3	39,2	30,0
AFFF	1,0	42,0	31,0	22,4

<sup>\*</sup>) – stężeniom koncentratów 0,5, 1 i 2% odpowiadają stężenia AOT odpowiednio 1, 2 i 4 g/dm<sup>3</sup>

Źródło: opracowanie własne

Miarą zdolności zwilżającej (Z) w opisanej próbie nasycania kapilarnego płytek pilśniowych jest przyrost masy płytki [g] po określonym czasie nasycania. Otrzymane dane są stosunkowo dobrze powtarzalne. Odchylenie standardowe obliczone dla czasów 1, 2 i 5 min, dla 10 pomiarów w jednakowych warunkach, wyniosły odpowiednio: 0,18, 0,25 i 0,36 g. Rezultaty badań zdolności zwilżających koncentratów i surfaktantu wzorcowego zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Zdolności zwilżające koncentratów pożarniczych i surfaktantu wzorcowego

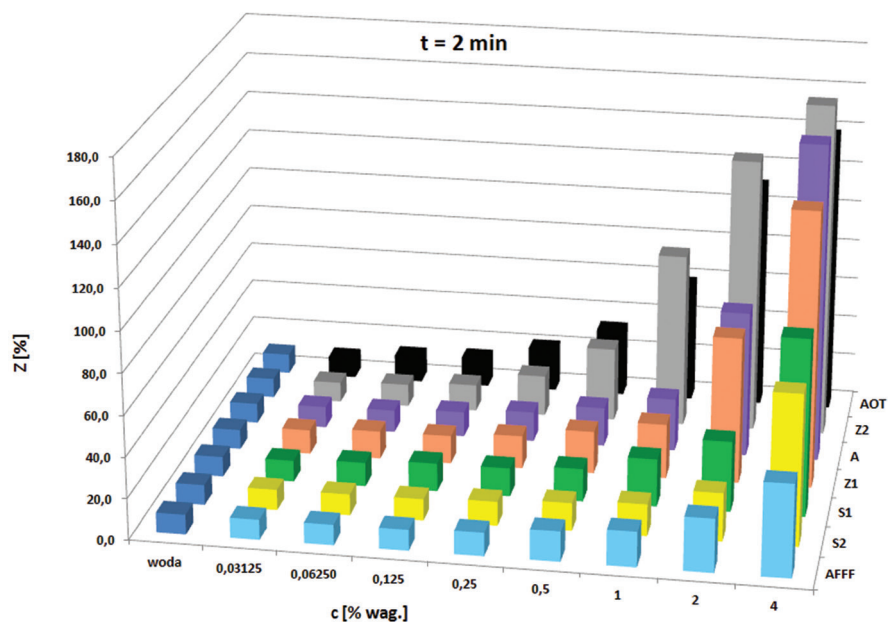
$\tau$ , [min]	c [%]	Z, [%]									
		AOT	Z2	A	Z1	S1	S2	AFFF	woda	etanol	heptan
1	0,125	12,2	12,7	11,3	11,4	12,0	9,2	9,8	8,8	192,1	139,8
	0,25	19,7	15,0	13,9	13,7	12,8	9,5	10,4			
	0,5	31,4	37,1	17,8	17,7	13,5	11,0	12,2			
	1	57,5	76,4	23,9	27,5	19,5	15,0	14,1			
	2	111,1	137,0	61,6	61,5	28,8	22,9	20,9			
2	0,125	14,0	13,2	12,4	13,8	13,8	10,3	10,2	9,7	192,1	149,7
	0,25	21,2	20,2	14,7	16,1	13,9	11,6	11,3			
	0,5	33,1	36,3	19,2	20,8	16,1	13,5	14,6			
	1	59,2	85,9	26,0	26,8	23,3	15,5	17,0			
	2	111,5	135,4	71,6	71,8	34,4	23,4	25,9			
5	0,125	16,4	16,7	19,9	14,2	13,6	14,1	14,1	13,5	192,5	149,7
	0,25	23,0	22,9	21,8	16,4	14,4	14,2	14,2			
	0,5	36,4	44,0	22,9	21,3	16,3	14,6	18,6			
	1	66,7	85,0	29,8	31,0	24,6	17,1	23,0			
	2	111,5	138,8	76,7	72,2	35,0	32,6	32,0			

<sup>\*)</sup> – stężeniom koncentratów 0,125, 0,25, 0,5, 1 i 2% odpowiadają stężenia AOT odpowiednio 0,25, 0,5, 1, 2 i 4 g/dm<sup>3</sup>

Źródło: opracowanie własne



Zdolności zwilżające badanych koncentratów, przy czasie zanurzenia płytki równym 2 min, przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Zdolności zwilżające koncentratów,  $\tau = 2$  min

Źródło: opracowanie własne

Najlepsze zdolności zwilżające, mierzone metodą nasycania płyty pilśniowej, wykazały zwilżacze pożarnicze, środek pianotwórczy klasy A oraz surfaktant AOT, którego zdolności zwilżające tylko nieznacznie ustępowały zdolnościom zwilżającym cieczy wzorcowych (heptan i etanol – tabela 4). Nieco gorsze właściwości wykazały syntetyczne środki pianotwórcze, natomiast najslabszymi zdolnościami zwilżającymi charakteryzował się środek pianotwórczy typu AFFF. W przypadku nasycania próbki roztworami o niskich stężeniach, tj. od 0,03125 do 0,5% nie zauważono znaczących przyrostów masy płytki w stosunku do nasycania wodą, świadczących o poprawie zdolności zwilżających. Wyniki dla poszczególnych środków nieznacznie różniły się od siebie i od wody. Istotny wpływ dodatków zaobserwowano od stężenia 1%, przy którym już można zauważyć znacznie lepsze właściwości zwilżające zwilżacza Z2 oraz surfaktantu Aerosol OT.

Dla roztworu koncentratu Z2 o stężeniu 1% uzyskano ponad 18-krotną poprawę zdolności nasycania płytki pilśniowej w stosunku do czystej wody, przy czasie zanurzenia płytki równym 1 min. Zaznaczyć należy jednak, że jest to stężenie wyższe niż zalecane przez producenta do stosowania tego preparatu w charakterze zwilżacza (0,1%).

Środek AFFF przy tych samych warunkach czasu nasycania i stężeniu roztworu wykazał zaledwie kilkukrotnie lepsze właściwości zwilżające w stosunku do wody, za to aż 4-krotnie słabsze niż najlepszy z badanych koncentratów. Jednak wyznaczona dla tego środka najniższa wartość napięcia powierzchniowego świadczyć może o bardzo dobrych zdolnościach zwilżających, rozumianych jako rozpląwanie się po powierzchniach materiałów nieporowatych.

## Wnioski

- Zaproponowana metoda pozwala ocenić zdolności nasycania kapilarnego struktury materiału porowatego roztworami badanych środków przy zastosowaniu prostego układu pomiarowego, niewymagającego użycia specjalnego sprzętu laboratoryjnego.
- W badaniach wykorzystano materiał porowaty o normatywnych właściwościach. Jego zaletą jest łatwa dostępność na rynku, w odróżnieniu od normatywnej bawełny technicznej stosowanej w metodzie według PN-EN 1772.
- Opracowana metoda ilustruje zdolność zwilżającą badanych środków powierzchniowo czynnych rozumianą jako zdolność do penetracji materiału porowatego, w warunkach bardziej wymagających niż ma to miejsce w metodzie według PN-EN 1772, w której zwilżany materiał ma grubość około 1 mm.
- Uzyskane wyniki różnicują badane koncentraty w zakresie nasycania kapilarnego, zatem badanie można uznać jako metodę porównawczą zdolności zwilżającej w stosunku do surfaktantu wzorcowego i cieczy wzorcowej.
- Przeprowadzone pomiary umożliwiły uszeregowanie badanych grup koncentratów pożarniczych w następującej kolejności, poczynając od najlepszych do najgorszych właściwości zwilżających:

zwilżacze i środki klasy A > środki typu S > środki typu AFFF

Taką kolejność zdolności zwilżających uzyskiwano też w badaniach innymi metodami [16].

- Najlepszym środkiem zwilżającym spośród wszystkich badanych koncentratów okazał się zwilżacz Z2, wykazując blisko dwukrotnie lepsze zdolności zwilżające od środków tego samego typu (Z1 i A).
- Największe szybkości przyrostu masy płytki uzyskiwano przy czasach nasycania równych 1 i 2 min. Następujące po tym zmniejszenie szybkości wzrostu masy płytek jest charakterystyczne dla nasycania hydrofobowych materiałów porowatych roztworami surfaktantów [9].

## Literatura

- [1] Polska Norma PN-EN 2:1998/A1:2006: Podział pożarów.
- [2] Pożary według kodu obiektu w rozbiciu na jednostkę podziału administracyjnego. Dane statystyczne KG PSP [źródło: [www.kgppsp.gov.pl](http://www.kgppsp.gov.pl), dostęp: 25.12.2016].
- [3] Rakowska J., Szczygieł R., Kwiatkowski M., Porycka B., Radwan K., Prochaska K.: Application Tests of New Wetting Compositions for Wildland Firefighting, [[link.springer.com](http://link.springer.com), dostęp: 09.02.2017].
- [4] Mizerski A., Sobolewski M., Król B.: Piany gaśnicze, SGSP, Warszawa 2006.
- [5] Mizerski A., Neffe S.: Investigations of imbibition and wetting properties of aqueous solutions of sodium dodecyl sulfate on porous beds of hydrophilic and hydrophobic materials, *Biul. WAT* 2012, nr 61.
- [6] Król B., Sobolewski M., Szalkowski K.: Badania porównawcze zdolności zwilżających i gaśniczych roztworów środków pianotwórczych na bazie testu zwilżania płyty pilśniowej, *Zeszyty Naukowe SGSP* 2014, nr 49 (1).
- [7] Janeczek M., Jakubiec J., Mizerski A.: Ocena zdolności zwilżających i gaśniczych surfaktantów anionowych i niejonowych w warunkach zbliżonych do praktycznych z wykorzystaniem metod opartych na normie NFPA 18, *Przem. Chem.*, 2015, 94, nr 10.
- [8] Mizerski A., Sobolewski M.: Rozszerzona charakterystyka środków pianotwórczych stosowanych w pożarnictwie i ratownictwie chemicznym, *Zeszyty Naukowe SGSP* 2007, nr 35.
- [9] Aksielrud G.A., Altszuler M.A.: Ruch masy w ciałach porowatych, WNT, Warszawa 1987.
- [10] Bieliński D., Lipiński P., Wolska B., Jagielski J.: Porównanie metod oznaczania statycznego kąta zwilżania powierzchni cieczą małowcząsteczkową, *Problemy Eksploatacji* 2006, nr 1.

- 
- [11] Rogowska R., Rogowski A.: Pomiary kąta zwilżania metodą osadzanej kropli oraz metodą Wilhelmięgo, *Logistyka* 2011, nr 3.
  - [12] Mizerski A., Jakubiec J.: Wood dust capillary absorbency kinetics by surfactant solutions, „Wood and Fire Safety”, 7 International Scientific Conference, Strbske Pleso 2012.
  - [13] Jakubiec J., Mizerski A.: Badanie kinetyki nasycania kapilarnego tkanin bawełnianych roztworami surfaktantów, *Zeszyty Naukowe SGSP* 2012, nr 43.
  - [14] Polska Norma PN-EN 1772:2001: Środki powierzchniowo czynne. Oznaczanie zdolności zwilżania przez zanurzenie.
  - [15] NFPA 18 „Standard on Wetting Agents”, 2011 Edition, National Fire Protection Association.
  - [16] Jakubiec J.: Prace własne, niepublikowane, SGSP.
  - [17] Materiały informacyjne firmy Steico CEE Sp. z o.o.
  - [18] Karty charakterystyk badanych substancji opracowane przez producentów.
  - [19] Mizerski A.: Prace własne, niepublikowane, SGSP.