

inż. Piotr Galek

Komenda Powiatowa Państwowej Straży Pożarnej w Człuchowie

dr inż. Bernard Król

mgr inż. Dominika Gancarczyk

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Badania skuteczności gaszenia pożarów trocin drewna sosnowego środkami gaśniczymi na bazie wody

Streszczenie

W celu zwiększenia skuteczności działań gaśniczych, zwłaszcza wobec pożarów grupy A, stosuje się dodatki do wody. Są to z reguły zwilżacze oraz środki pianotwórcze typu S i AFFF. Testy gaśnicze stosowane do określania minimalnej skuteczności gaśniczej środków gaśniczych lub podręcznego sprzętu gaśniczego bazują na wizualnej ocenie efektów gaszenia. Nie uwzględniają one także różnorodności materiałów palnych występujących w realnych warunkach, zwłaszcza materiałów, które spalają się z wytworzeniem dużej ilości żaru i tzw. pożarów ukrytych. W artykule przedstawiono wyniki testów gaśniczych przeprowadzonych z użyciem wody i dodatków środków pianotwórczych na specjalnie zaprojektowanym stanowisku badawczym. Wykazują one, że stosowanie środków pianotwórczych może zwiększyć skuteczność gaszenia pożaru grupy A, w tym przypadku pożaru warstwy trocin drewna sosnowego.

Słowa kluczowe: pożary grupy A, dodatki zwilżające, gaszenie

Tests to Determine the Effectiveness of Firefighting Pine Sawdust Fires Using the Water Additive Agents

Abstract

Water additives are used to enhance the extinguishing effects, especially in case of solid fires. They are usually specially prepared wetting agents or synthetic and

AFFF type foams. The tests used to determine the lowest firefighting effectiveness of extinguishing agents or extinguishers are based on a visual assessment of the firefighting effects (fire is put out or not). These tests don't take into account specific flammable materials occurring in real conditions, especially smoldering materials when large amounts of glowing layers as well as so called "hidden fires" occur. The material used in the test was pine sawdust. The results of tests consisting in the use of water and wetting and foaming additives have shown that the application of foam concentrates may increase the efficiency of water while extinguishing class A fires.

Keywords: class A fires, wetting agents, extinguishing

WSTĘP

Mimo szerokiego zakresu działań ratowniczych prowadzonych przez jednostki ochrony przeciwpożarowej w Polsce i rosnącego udziału innych zdarzeń, gaszenie pożarów wciąż stanowi od 30 do niemal 50% podejmowanych akcji ratowniczych [1]. Zdecydowana większość tych pożarów to pożary grupy A. Gaszenie pożarów to nie tylko domena jednostek interwencyjnych straży pożarnych, lecz także działania z użyciem podręcznego sprzętu gaśniczego oraz stałych urządzeń gaśniczych.

W odróżnieniu od innych pożarów, spalanie materiałów stałych charakteryzuje się występowaniem zjawiska tlenia, które towarzyszy spalaniu płomieniowemu lub przebiega bez wystąpienia płomienia. Skuteczne gaszenie pożarów grupy A polega na dostarczeniu środka gaśniczego do miejsca, w którym przebiega proces spalania bezpłomieniowego. W przypadku materiałów rozdrobnionych miejsce takie może znajdować się pod warstwami niespalonego materiału [2].

Analizując dotychczas stosowane procedury przeprowadzania testów gaśniczych dla pożarów grupy A, stwierdzić można, że wynikiem zdecydowanej większości testów jest jedynie odpowiedź na pytanie, czy pożar testowy został ugaszony? Ocena taka ma charakter wyłącznie wizualny i nie pozwala na dogłębną analizę skuteczności działania środka gaśniczego. W artykule podjęto próbę zaprojektowania testu umożliwiającego porównanie skuteczności gaśniczej środków gaśniczych na bazie wody podczas gaszenia pożarów materiałów stałych nie tylko na podstawie oceny wizualnej.

1. PROBLEMY GASZENIA POŻARÓW GRUPY A

Zgodnie z polską normą *PN-EN 2:1998/A1:2006 Podział pożarów*, pożarami grupy A nazywamy pożary materiałów stałych, zwykle pochodzenia organicznego, których normalne spalanie zachodzi z tworzeniem żarzących się węgli [3]. Definicja ta obejmuje materiały, które w odróżnieniu od materiałów pozostałych grup pożarów, mogą ulegać spalaniu zarówno płomieniowemu, jak i bezpłomieniowemu. Do materiałów tych zakwalifikować można np.: papier, węgiel, tkaniny oraz szereg naturalnych materiałów organicznych, takich jak drewno, słoma czy siano.

Z uwagi na występujące w pożarach grupy A zjawiska spalania płomieniowego i tlenia, wyróżnić możemy dwa etapy gaszenia materiałów stałych. Pierwszym jest wyeliminowanie spalania płomieniowego, drugim – ugaszenie wszystkich ognisk żaru i przerwanie spalania bezpłomieniowego. Aby wyeliminować spalanie płomieniowe, stosowane są metody chłodzenia strefy spalania za pomocą środków gaśniczych na bazie wody, metody polegające na izolowaniu strefy spalania od materiału palnego lub utleniacza, którym w praktyce jest tlen zawarty w powietrzu, a także metody inhibicji reakcji spalania płomieniowego. Wyeliminowanie spalania bezpłomieniowego sprawia większą trudność, gdyż ogniska żaru mogą znajdować się w miejscach trudno dostępnych dla środków gaśniczych, głęboko pod warstwą nieobjętego spalaniem materiału, co powoduje, że schłodzenie ich uzależnione jest od możliwości dostarczenia w to miejsce środka gaśniczego. W przypadku małych pożarów grupy A przedostanie się środka gaśniczego do ogniska żaru jest stosunkowo łatwe, gdy mamy do czynienia z cienką warstwą materiału palnego. W przypadku gdy materiał palny jest przechowywany w dużych ilościach, rozprzestrzenianie się żaru wewnątrz materiału ma charakter przestrzenny. Żar nie znajduje się tylko na powierzchni, spalanie może przebiegać głęboko wewnątrz warstwy materiału i dostarczenie środka gaśniczego tak, aby możliwe było schłodzenie i tym samym ugaszenie ognisk żaru, staje się bardzo trudne. Dotarcie środka gaśniczego do ukrytego ogniska żaru wymaga nie tylko intensywnego podawania środków gaśniczych, ale także długotrwałego i pracochłonnego procesu fizycznej ingerencji w strukturę materiału lub w warstwy materiału palnego [4].

W przypadku gdy mamy do czynienia z głęboko umiejscowionymi ogniskami żaru, jedynie woda pozwala na skuteczne gaszenie pożaru. Duża

skuteczność wody jako środka gaśniczego wynika z jej własności fizykochemicznych. Duża pojemność cieplna wody – ciepło właściwe wynoszące 4,19 kJ/kg·K i jej bardzo wysokie ciepło parowania wynoszące 2257 kJ/kg powoduje, że woda charakteryzuje się bardzo dobrymi własnościami chłodzącymi [2]. Podawanie wody bezpośrednio na palący się materiał stały powoduje chłodzenie powierzchni materiału palnego, w wyniku czego spowalnia się proces termicznego rozkładu materiału. Podanie wody na powierzchnię nie objętą spalaniem pozwala na zabezpieczenie materiału palnego przed ogrzewaniem się i osiągnięciem temperatury umożliwiającej zapalenie.

Pomimo tego że podczas rzeczywistych działań efektywnie wykorzystywane jest jedynie około kilku-, kilkunastu procent wody podawanej na pożar, woda do dzisiaj jest najpowszechniej stosowanym środkiem gaśniczym. Zdecydowana większość wody gaśniczej nie uczestniczy w odbieraniu ciepła od palącego się materiału i spływa bezużytecznie. Konieczność używania nadmiarowej objętości wody w trakcie akcji gaśniczej jest jedną z głównych przyczyn strat materialnych niespowodowanych bezpośrednim działaniem ognia [2].

Próby zwiększania stopnia wykorzystania wody podczas gaszenia pożarów grupy A podejmowane są od wielu lat. W obszarze tym wykształciły się standardowe procedury stosowania dodatków do wody. Najpowszechniej stosowane są środki zwiększające zdolność wody do zwilżania materiałów stałych. Jako dodatki stosowane są zwilżacze oraz środki pianotwórcze typu S i klasy A. Środki te to mieszaniny wielu składników, przede wszystkim dobrze rozpuszczalnych w wodzie związków powierzchniowo czynnych, które znacząco obniżają napięcie powierzchniowe wody z wartości 72,4 mN/m do 20÷29 mN/m [2]. Zmniejszenie napięcia powierzchniowego pozwala na wnikiwanie wody w występujące w materiale szczeliny i pęknięcia oraz we wszelkie otwory i pory w materiałach porowatych, włóknistych i sypkich. Obecność surfaktantów pozwala także na zwilżanie materiałów hydrofobowych, które woda bez dodatków zwilża w bardzo ograniczonym zakresie.

W praktyce najczęściej wykorzystywanym dodatkiem zwilżającym do wody są środki pianotwórcze syntetyczne (typu S). Podstawowym zastosowaniem środków typu S jest wytwarzanie pian gaśniczych ciężkich, średnich i lekkich, co powoduje, że np. w Polsce praktycznie każda jednostka interwencyjna straży pożarnej posiada je na stanie. Dużo rzadziej stosowane są roztwory środków pianotwórczych typu AFFF. Środki te wykorzystywane

są przede wszystkim do gaszenia pożarów cieczy palnych. Występują jednak praktycznie we wszystkich gaśnicach przenośnych i przewoźnych przeznaczonych do gaszenia pożarów grup A i B oraz jako dodatki do wody zwiększające skuteczność działań w instalacjach tryskaczowych i zraszaczowych [5].

2. BADANIA SKUTECZNOŚCI GASZENIA POŻARÓW GRUPY A

W ochronie przeciwpożarowej na całym świecie stosowane są procedury oceny skuteczności działania różnych środków gaśniczych. Z reguły ograniczają się one do określonych grup pożarów i mają za zadanie potwierdzenie spełnienia minimalnych wymagań. Nie służą do badań porównawczych. Przykładowo, w systemie prawodawstwa europejskiego, w stosunku do pian gaśniczych przeznaczonych do gaszenia pożarów grupy B, stosuje się wymagania normy EN 1568 [6]. Piany te mogą być jednak stosowane do gaszenia pożarów grupy A. W większości krajów nie ma dla nich minimalnych wymagań w zakresie określania skuteczności gaszenia pożarów materiałów stałych. Np. proszki gaśnicze (typu BC i ABC), które spełniają wymagania normy EN 615 muszą zostać przebadane pod kątem skuteczności gaśniczej przy pożarach A i B zgodnie z procedurą przewidzianą dla podręcznego sprzętu gaśniczego (Norma EN 3-7) [2, 7, 8].

Odesłanie do testów gaśniczych wykorzystywanych do określania skuteczności gaśniczej podręcznego sprzętu gaśniczego, jak w przypadku proszków gaśniczych, nie jest przypadkiem odosobnionym. Standard NFPA 18, zawierający wymagania dla zwilżaczy, zaleca przeprowadzenie testu gaśniczego (jednego z trzech) wg standardowej metodyki badań podręcznego sprzętu gaśniczego. Rozwiązanie takie wydaje się sensowne, gdyż w dużej mierze przyczynia się do standaryzacji metod badawczych [9].

Testy pożarowe grupy A, powszechnie stosowane do oceny skuteczności działania podręcznego sprzętu gaśniczego nie odzwierciedlają wszystkich scenariuszy pożarowych. Stosowany powszechnie stos luźno ułożonych beleczek sosnowych zapewnia łatwy dostęp środka gaśniczego do materiału palnego, a wynik testu uzależniony jest także od sprawności działania operatora. Wspomniany już standard NFPA 18 wymienia także dwa inne testy zdolności gaszenia i zwilżania: płyty pilśniowej oraz bawełny [9].

Stworzenie uniwersalnego testu, ze względu na różnorodność występujących materiałów palnych, wydaje się niemożliwe. Można jednak podjąć

próby stworzenia testu gaśniczego wykorzystującego inny materiał palny, np. zamiast bawełny – trociny, zrębki drewniane, granulaty itp., który pozwalałby na porównanie skuteczności gaszenia takich materiałów różnymi środkami gaśniczymi.

3. CEL BADAŃ

Celem badań była ocena różnic w skuteczności gaszenia pożaru trocin sosnowych przy użyciu wody i wody z dodatkami środków pianotwórczych typu S i AFFF. Do badań wykorzystano specjalnie do tego celu skonstruowane stanowisko badawcze.

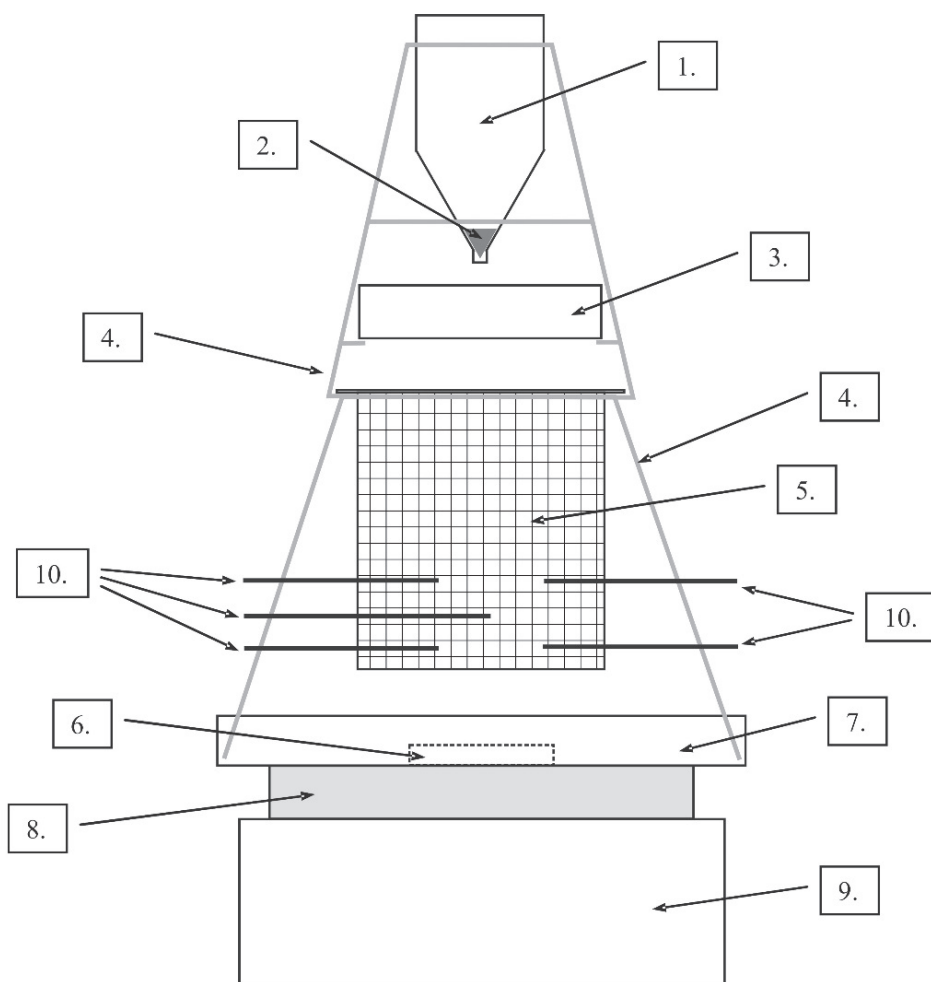
Przeprowadzając badania porównawcze skuteczności gaszenia z użyciem wody oraz wodnych roztworów środków pianotwórczych, skupiono się na analizie możliwych do zmierzenia wielkości odzwierciedlających efekty działania gaśniczego, tj.: temperatura warstwy palącego się materiału oraz ubytek jego masy w wyniku spalania materiału i odparowania wody. Zebranie jak największej liczby parametrów może pozwolić na ocenę skuteczności gaśniczej, nie tylko wizualną, lecz także jakościową. Wzorując się na testach dla zwilżaczy opisanych w NFPA, dokonywano także pomiaru ilości środka gaśniczego, który wyciekł z gaszonej próbki materiału, tzw. odcieku, co wskazuje na brak jego działania gaśniczego lub zabezpieczającego przed paleniem (woda nie pozostaje w warstwie materiału palnego).

3.1. Stanowisko i materiały użyte w badaniach

Podstawę stanowiska do badania skuteczności gaszenia pożarów stanowiło stalowe rusztowanie (rys. 1). Na rusztowaniu umieszczono kosz na materiał palny, wykonany z siatki stalowej. W koszu umieszczono 300 g trocin sosnowych. Do wnętrza kosza, przez otwory siatki, wprowadzano 5 termopar.

Nad koszem umieszczono zbiornik z blachy miedzianej z nawierconymi otworami. Zbiornik ten stanowił tzw. wylewkę służącą do równomiernego podawania środka gaśniczego. Nad wylewką zamontowano pojemnik na środek gaśniczy. Pod koszem na materiał palny umieszczono naczynie z izopropanolem, który służył do rozpalania trocin oraz pojemnik służący do zbierania niewykorzystanego w procesie gaszenia środka gaśniczego (tzw. odcieku). Rusztowanie wraz z elementami składowymi stanowiska

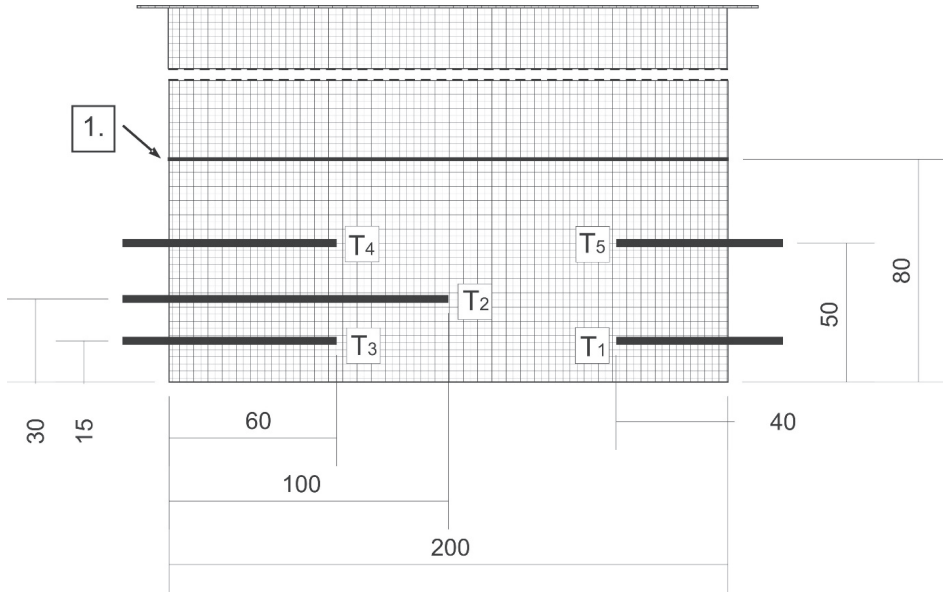
badawczego ustawione było na wadze. Całość umieszczono wewnątrz dygestorium z mechanicznym wyciągiem spalin. Na rys. 2 i 3 przedstawiono sposób umieszczenia termopar w warstwie materiału palnego.



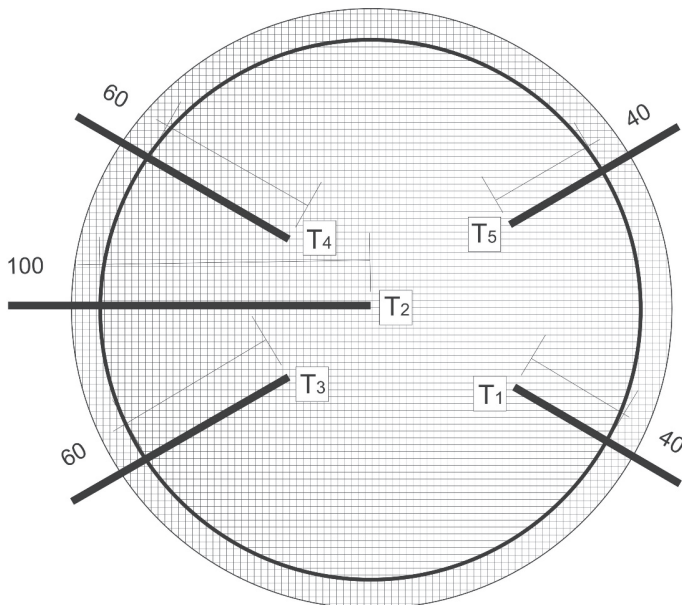
Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

1 – zbiornik na środek gaśniczy; 2 – korek; 3 – wylewka; 4 – stelaż; 5 – kosz z siatki stalowej; 6 – hnacznik na izopropanol; 7 – pojemnik na odciek; 8 – izolacja termiczna; 9 – waga; 10 – termopary.

Źródło: rys. M. Skwierawski



Rys. 2. Schemat umieszczenia termopar wewnątrz kosza z trocinami – widok z boku (wymiary w mm; 1 – górna granica warstwy trocin)



Rys. 3. Schemat umieszczenia termopar wewnątrz kosza z trocinami – widok z góry (wymiary w mm)

Materiałem palnym użytym w badaniach było rozdrobnione drewno w postaci trocin, będących produktem ubocznym obróbki drewna sosnowego. Źródłem pozyskania trocin był tartak firmy Poltarex w Nowej Wsi, gmina Przechlewo, powiat człuchowski. Wilgotność trocin wynosiła 9,8%. Określona została za pomocą wagosuszarki Radwag MAX 50/NH. Gęstość nasypowa warstwy trocin wynosiła 162,8 g/dm³. Przybliżony skład ziarnowy próbki trocin określono na zestawie sit o wielkości: 1 mm, 0,5 mm i 0,2 mm. Wyniki pomiaru przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład ziarnowy próbki trocin

Frakcja	Udział wagowy
> 1 mm	13,8 %
> 0,5 mm ÷ ≤ 1 mm	36,2 %
> 0,2 mm ÷ ≤ 0,5 mm	36,7 %
≤ 0,2 mm	13,3 %

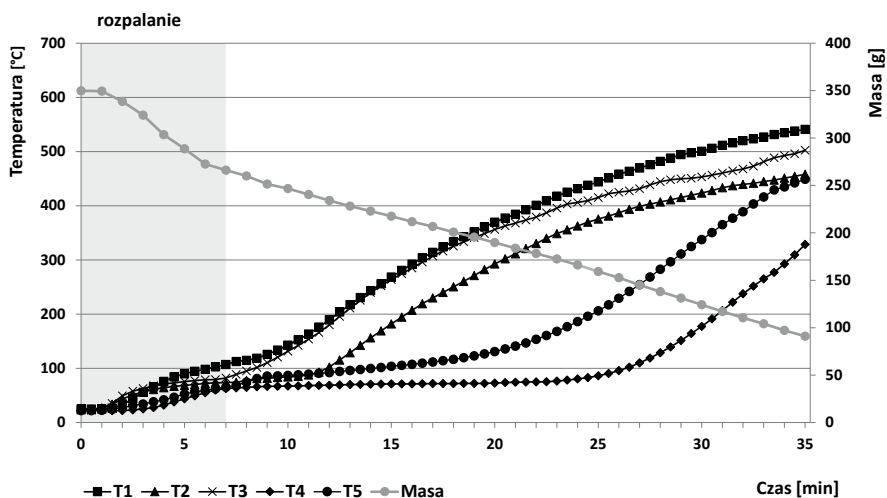
Typowe zalecane stężenia środków pianotwórczych stosowanych w charakterze zwilzaczy nie przekraczają wartości 1% obj. Do badania porównawczego wykorzystano trzy środki gaśnicze: wodę wodociągową, 1% wodny roztwór środka pianotwórczego typu AFFF oraz 1% wodny roztwór środka pianotwórczego typu S.

4. PRZEBIEG BADAŃ

Przed rozpoczęciem właściwych testów gaśniczych wykonano trzy próby spalania trocin bez podawania środka gaśniczego. Miało to na celu wyznaczenie właściwego momentu, w którym należy rozpocząć gaszenie. Do badania użyto 300 g trocin. Trociny zostały wysypane do kosza. Kosz umieszczono na stelażu, który następnie został umieszczony na wadze. Wprowadzone do wnętrza kosza termopary podłączone zostały do komputera za pośrednictwem modułu pomiarowego. Temperatura rejestrowana była automatycznie w odstępach 30 sekundowych. Pomiar masy zestawu badawczego dokonywany był co minutę. Pomiary rozpoczęto w momencie zapalenia izopropanolu. Próba kontynuowana była do momentu pojawienia się żaru i/lub płomienia na powierzchni badanych trocin, co nastąpiło w 33. i dwukrotnie

w 35. minucie badania. Począwszy od 7. minuty badania, kiedy spaleni uległ cały izopropanol użyty do rozpalania, we wszystkich trzech próbach, masowa prędkość spalania osiągała stałą wartość około 6 g/min.

Masa przedstawiona na wykresach jest sumą masy trocin i użytego do ich rozpalania izopropanolu. Szarym kolorem tła oznaczono czas do całkowitego wypalenia się izopropanolu – czas rozpalania. Na rys. 4 przedstawiono przebieg zmian temperatury oraz ubytek masy układu podczas jednej z trzech prób.



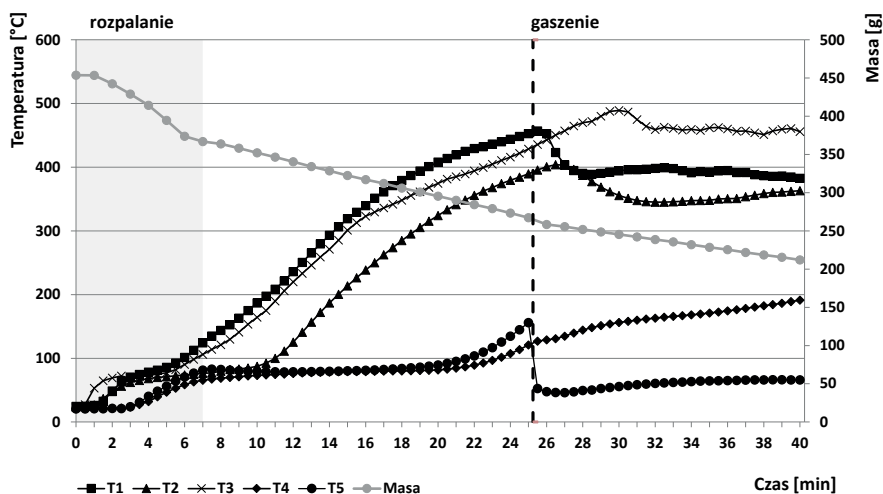
Rys. 4. Przebieg palenia trocin sosnowych (bez gaszenia)

Po 25 minutach masa badanych trocin zmniejszała się do około połowy początkowej wartości. Położone najdalej od źródła ognia termopary T4 i T5, pomiędzy 20. a 30. minutą badania, zaczynały odnotowywać wyraźny wzrost temperatury. Na tej podstawie wyznaczono moment otwarcia zaworu spustowego zbiornika środka gaśniczego i rozpoczęcia gaszenia – to czas między 25. a 26. minutą pomiaru.

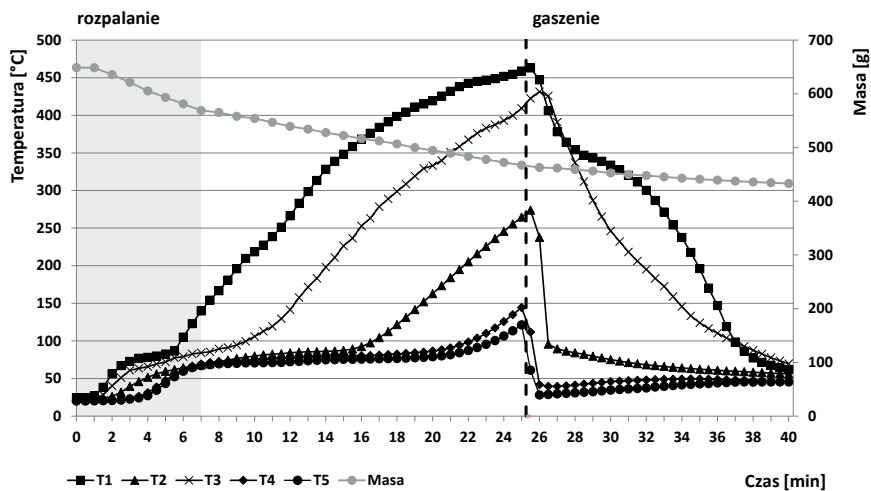
Badania skuteczności gaszenia rozpoczęto od prób gaszenia 300 g trocin sosnowych przy użyciu 100 cm³ środka gaśniczego. Następnie wykonano próby

gaszenia przy użyciu 300 cm³ oraz 500 cm³ środka gaśniczego. Każdą próbę przeprowadzano trzykrotnie.

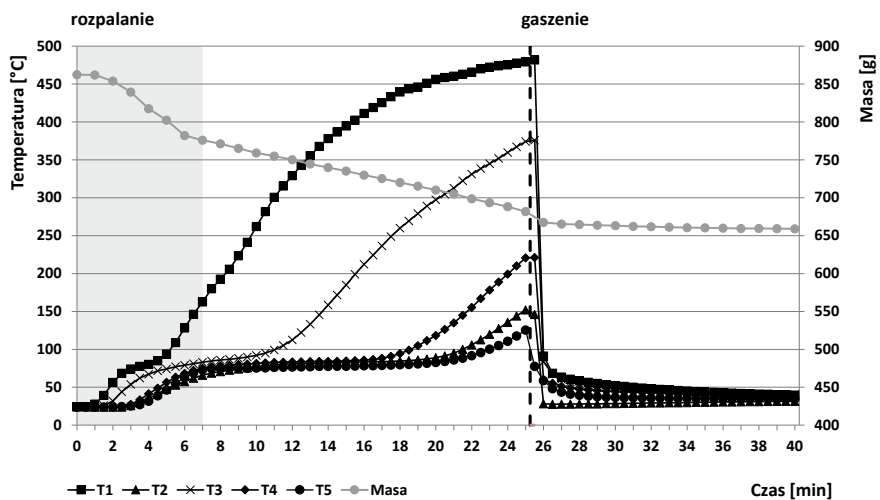
Testy gaszenia przeprowadzono analogicznie jak podczas prób spalania bez gaszenia. Środek gaśniczy umieszczony został w zbiorniku zamocowanym na rusztowaniu ponad wylewką służącą do równomiernego podawania środka na gaszony materiał. Pomiar czasu badania rozpoczęto w momencie podpalenia izopropanolu umieszczonego w zbiorniku pod koszem z trocinami. Po 7 minutach izopropanol ulegał całkowitemu wypaleniu i następnie, do 25. minuty badania, trwało swobodne spalanie badanych trocin sosnowych. Po upływie 25 minut otwierano zawór spustowy zbiornika na środek gaśniczy i rozpoczynano gaszenie (przerwana pionowa linia na wykresach). Po podaniu środka gaśniczego, pomiary masy i temperatury prowadzono do 40. minuty badania. Gaszenie uznawano za skuteczne, jeżeli w czasie od podania środka gaśniczego do zakończenia badania na żadnej z termopar nie odnotowano wzrostu temperatury. Prowadzono również obserwację oznak spalania takich jak wydobywający się dym oraz widoczne ogniska żaru. Na rysunkach 5÷7 przedstawiono wyniki pomiarów trzech wybranych prób gaśniczych spośród 27 łącznie przeprowadzonych.



Rys. 5. Gaszenie wodą ($V=100\text{ cm}^3$)



Rys. 6. Gaszenie roztworem środka pianotwórczego AFFF ($c = 1\%$; $V = 300\text{ cm}^3$)



Rys. 7. Gaszenie roztworem środka pianotwórczego S ($c = 1\%$; $V = 500\text{ cm}^3$)

5. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

5.1 Efekt gaśniczy

Podczas badania skuteczności gaszenia pożarów przeprowadzono 27 prób gaśniczych. Wykonano testy gaśnicze z użyciem trzech różnych objętości (100 cm³, 300 cm³, 500 cm³) i trzech rodzajów środka gaśniczego (woda, roztwór AFFF, roztwór S). Każdy test wykonywano trzykrotnie. W tabeli 2 przedstawiono wynik procesu gaszenia w formie: **TAK** – dla próby, która zakończyła się ugaszeniem pożaru testowego; **NIE** – dla próby, w której pożar testowy nie został ugaszony. Dla każdej próby odnotowano także objętość środka gaśniczego, który przeciekł przez gaszone trociny i został zebrany na umieszczonej poniżej tacy (tzw. odciek).

Tabela 2. Efekty gaszenia pożaru trocin sosnowych

Objętość środka gaśniczego [cm ³]	Rodzaj środka gaśniczego	Efekt gaszenia [TAK/NIE] Objętość odcieku [cm ³]		
		Próba nr 1	Próba nr 2	Próba nr 3
100	Woda	NIE	NIE	NIE
		0	0	0
	AFFF	NIE	NIE	NIE
		0	0	0
	S	NIE	NIE	NIE
		0	0	0
300	Woda	TAK	TAK	TAK
		0	0	4
	AFFF	TAK	TAK	TAK
		0	0	0
	S	TAK	TAK	TAK
		0	0	0
500	Woda	TAK	TAK	TAK
		13	14	28
	AFFF	TAK	TAK	TAK
		0	0	0
	S	TAK	TAK	TAK
		0	0	0

Analizując wyniki badań przedstawione w tabeli 2, można zauważyć brak wyraźnych różnic pomiędzy efektami działania różnych środków gaśniczych. Przy zastosowaniu 100 cm³ żaden z badanych środków gaśniczych nie ugasił skutecznie pożaru testowego. Po zwiększeniu objętości do 300 cm³, wszystkie badane roztwory były już skuteczne. Podobnie, po dalszym zwiększeniu objętości środka gaśniczego do 500 cm³.

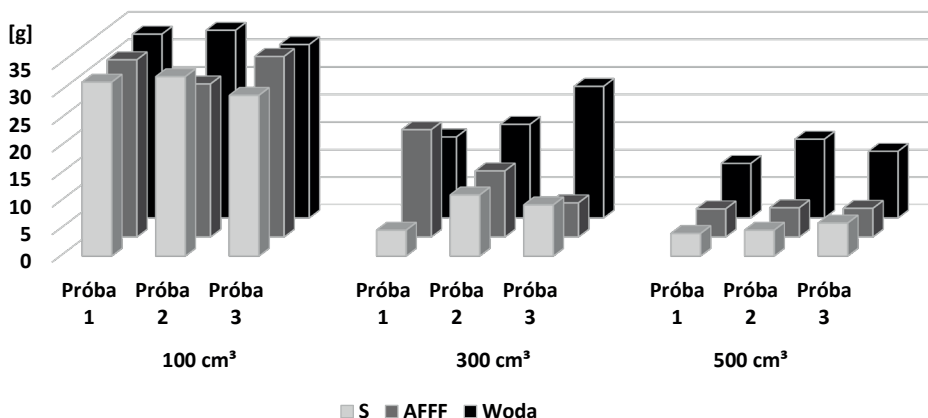
Różnica między stosowanymi środkami zaznacza się w przypadku analizy stopnia wykorzystania ich w procesie gaszenia. Cała użyta w gaszeniu objętość roztworu AFFF oraz roztworu środka pianotwórczego typu S pozostała wewnątrz gaszonych trocin do zakończenia próby w 40. minucie. W przypadku wody niewielka część jej objętości przesiąknęła przez gaszony materiał lub z niego spływała. W przypadku zastosowania 300 cm³ wody, część środka gaśniczego zebrana w zbiorniku na tzw. odciek, stanowiła zaledwie 0,8% zastosowanej objętości i wystąpiła tylko w jednej próbie. Dla 500 cm³ wody, objętość ta wzrosła do poziomu od 2,6% do 5,6% i wystąpiła podczas każdego z trzech przeprowadzonych testów gaszenia.

Wykorzystane do badań stanowisko testowe nie ogranicza testów wyłącznie do oceny wizualnej procesu gaszenia oraz analizy objętości odcieku. Dzięki prowadzonym podczas testów pomiarom masy układu i temperatury gaszonych trocin możliwa jest analiza porównawcza procesu gaszenia. Analizę przeprowadzono na podstawie zmian następujących wielkości:

5.2. Ubytek masy

Przeprowadzono analizę zmian masy układu, na którą składa się łączna masa środka gaśniczego oraz gaszonego materiału. Do analizy wykorzystano różnicę pomiędzy masą układu w 30. minucie testu oraz w 40. minucie testu. Analiza zmiany masy w końcowym etapie testu umożliwia ocenę efektywności procesu gaszenia. Większy ubytek masy po zakończeniu podawania środka gaśniczego wskazuje na proces gaśniczy rozciągnięty w czasie lub nadal trwające spalanie materiału palnego oraz nasilone parowanie wody. Porównanie ubytku masy w poszczególnych testach gaśniczych przedstawiono na rys. 8.

Brak skutecznego ugaszenia pożaru testowego przy użyciu 100 cm³ środka gaśniczego skutkuje stosunkowo dużym ubytkiem masy w ostatnich 10. minutach testu. Niezależnie od użytego środka gaśniczego, ubytek masy po gaszeniu przy użyciu 100 cm³ osiąga podobne wartości.

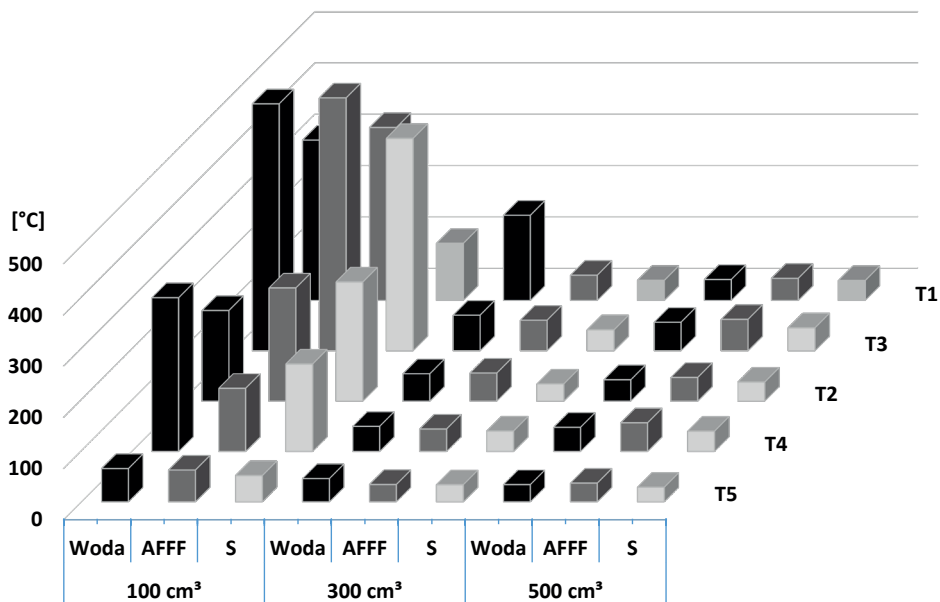


Rys. 8. Ubytek masy układu (trocin-y-woda) po zakończonym procesie gaszenia, pomiędzy 30. i 40. minutą testu

Skuteczne ugaszenie trocin sosnowych przy użyciu 300 cm³ oraz 500 cm³ środka gaśniczego skutkuje mniejszym ubytkiem masy układu. Na wykresach widać jednak różnice wynikające z różnego przebiegu procesu gaszenia. Efekt gaśniczy, oceniany jako ubytek masy układu, w poszczególnych powtórzeniach nie był identyczny. Ubytek masy układu po gaszeniu wodą bez dodatków jest zdecydowanie większy niż po zastosowaniu roztworu AFFF lub S. Jest to szczególnie widoczne przy próbach z wykorzystaniem 500 cm³ środka gaśniczego. Wynika to z faktu, że woda bez dodatków dużo wolniej przesiąkała przez warstwę trocin, gaszenie następowało po dłuższym czasie. Ubytek masy w tym przypadku nie wynikał z tzw. odcieku, gdyż przez cały czas masa odcieku była uwzględniana w pomiarach.

5.3. Zmiany temperatury

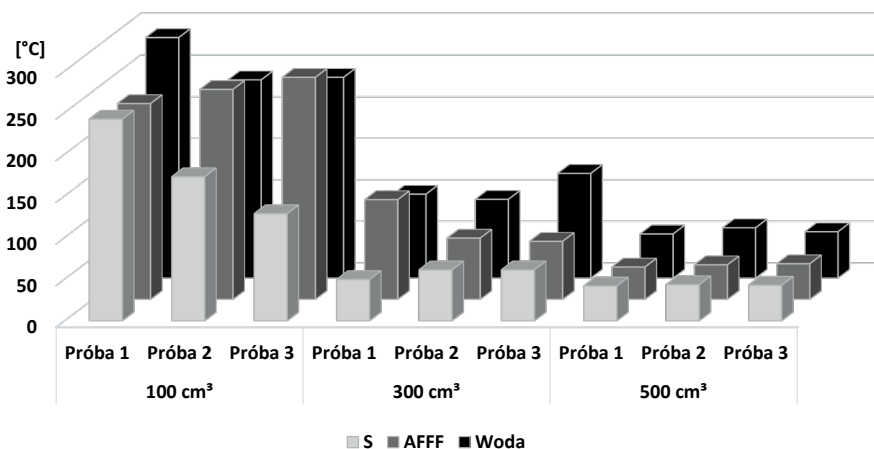
Analizę temperatury trocin po zakończeniu gaszenia przeprowadzono na podstawie danych uzyskanych z 5 termopar umieszczonych w koszu z trocinami. Do analizy wybrano temperaturę końcową testu, czyli zarejestrowaną w 40. minucie badania. Na rys. 9 przedstawiono średnią temperaturę z trzech kolejnych testów dla określonej objętości środka gaśniczego odczytaną z poszczególnych termopar w 40. minucie badania.



Rys. 9. Średnia temperatura trzech kolejnych prób dla poszczególnych termopar (T1–T5) po gaszeniu, w 40. minucie testu

Porównanie końcowej temperatury po gaszeniu przy użyciu 300 cm³ środka oraz przy użyciu 500 cm³ pozwala na wyciągnięcie wniosku, że zastosowanie roztworu AFFF oraz S pozwoliło na uzyskanie pełnej skuteczności gaszenia już przy 300 cm³ roztworu. Temperatura końcowa praktycznie nie zmieniła się po zwiększeniu objętości środka gaśniczego z 300 cm³ do 500 cm³. Woda bez dodatków wykazuje natomiast znaczną poprawę skuteczności gaszenia dopiero po zwiększeniu jej objętości do 500 cm³. Analiza wyników pomiaru temperatury przy gaszeniu przy użyciu 100 cm³ środka gaśniczego wskazuje na pewną nierównomierność podawania środka na gaszone trociny. Pojawiają się wyraźne różnice pomiędzy temperaturą osiągniętą na termoparach T4 i T5, które umieszczone były na tej samej wysokości. Podobne różnice występują pomiędzy temperaturą odnotowaną przez termopary T1 i T3, które również znajdowały się na tej samej wysokości.

Na rys. 10 przedstawiono średnią temperaturę odczytaną z wszystkich 5 termopar dla poszczególnych prób gaśniczych.

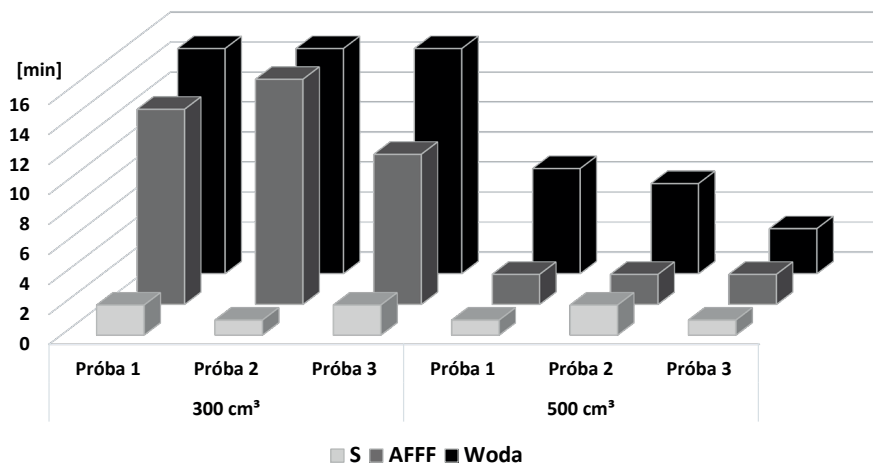


Rys. 10. Średnia temperatura trocin (dla termopar T₁-T₅) po gaszeniu, w 40. minucie testu

Analizując średnią temperaturę trocin po gaszeniu, można spostrzec wyraźnie skuteczniejsze działanie chłodzące roztworu środka pianotwórczego typu S, szczególnie przy podaniu 100 i 300 cm³ środka gaśniczego. Podanie 500 cm³ środka gaśniczego jest wyraźnie objętością nadmiarową w stosunku do ilości materiału palnego, jednak i w tym przypadku woda wykazuje gorsze zdolności chłodzenia materiału niż roztwory obu środków pianotwórczych.

5.4. Dynamika chłodzenia

Jako dynamikę chłodzenia określano czas od momentu rozpoczęcia gaszenia do momentu, w którym najwolniej chłodzona termopara (umieszczone najniżej termopary T₃ lub T₁) uzyskiwała temperaturę niższą niż 100 °C (temperatura wrzenia wody), a dalszy spadek temperatury nie przekraczał wartości 3°C/min. W analizie pominięto wszystkie testy z użyciem 100 cm³ środka gaśniczego, z uwagi na wzrost temperatury po procesie gaszenia (brak efektu gaśniczego). Wyniki przedstawiono na rys. 11.



Rys. 11. Dynamika chłodzenia

Analiza dynamiki chłodzenia pokazuje wyraźną przewagę wody z dodatkami środków pianotwórczych. Gaszenie z użyciem 300 cm³ wody wodociągowej skutkowało powolnym chłodzeniem, aż do zakończenia testu w 40. minucie. Dodatek środka pianotwórczego AFFF skracał czas, w którym temperatura osiągała wartość poniżej 100°C, a jej spadek spowalniał do poziomu 2-3 °C/min. Dodatek środka pianotwórczego typu S powodował, że już w pierwszej lub drugiej minucie po rozpoczęciu gaszenia spadek temperatury osiągał wartość 1-2 °C/min. Po zwiększeniu objętości środka gaśniczego do 500 cm³ podobną skuteczność osiągały oba roztwory środków gaśniczych. Gaszenie wodą nadal wymagało dłuższego czasu.

WNIOSKI

Na podstawie obserwacji prowadzonych testów oraz analizy wyników wyciągnięto następujące wnioski:

- Zauważyć można bardzo dużą powtarzalność masowej prędkości spalania trocin sosnowych. Zarówno podczas testów bez gaszenia, jak i w czasie do rozpoczęcia gaszenia w trakcie testów gaśniczych, masowa prędkość spalania trocin utrzymywała się na poziomie zbliżonym do 6 g/min.
- Wykazano, że ocena skuteczności gaszenia ograniczająca się do obserwacji wizualnej, nie pozwala na pełną ocenę efektywności procesu gaszenia.

Analiza wizualna nie wykazała praktycznie żadnej różnicy pomiędzy wodą wodociągową, a wodą z dodatkami środków pianotwórczych.

- Analiza przebiegu zmian temperatury oraz ubytku masy układu w czasie procesu gaszenia wykazuje, że najefektywniejszym środkiem gaśniczym do gaszenia trocin sosnowych okazał się roztwór środka pianotwórczego typu S.
- Porównanie dynamiki procesu chłodzenia i ubytku masy materiału palnego pozwala na ocenę efektywności poszczególnych środków gaśniczych. Zastosowanie środków pianotwórczych w charakterze zwilzaczy pozwoliło na szybsze ugaszenie pożaru testowego niż przy użyciu wody bez dodatków.
- Aby zwiększyć dokładność oceny efektywności środka gaśniczego, należałoby zmodyfikować proces testowy przez dodanie elementu badania końcowej masy materiału palnego po jego wysuszeniu, tak aby zbadać rzeczywisty ubytek masy w wyniku spalania.
- Docelowo badania powinny skupić się na możliwości oceny stopnia wpływu dodatków do wody na efekt gaszenia.

PODSUMOWANIE

Analiza istniejących uregulowań dotyczących testowania środków gaśniczych ujawniła, że w praktyce nie ma procedury testowej, która pozwoliłaby na równoczesną ocenę nie tylko skuteczności, ale i efektywności procesu gaszenia materiałów stałych. Obowiązujące w Polsce i na świecie standardy testowe dają jedynie odpowiedź na pytanie, czy pożar testowy możliwy jest do ugaszenia daną objętością i rodzajem środka gaśniczego. W związku z tym stwierdzono potrzebę zaprojektowania testu gaśniczego umożliwiającego ocenę porównawczą efektywności środków gaśniczych.

Opracowane stanowisko testowe zaprojektowano tak, aby do minimum ograniczyć ingerencję człowieka i otrzymać maksymalnie dużą powtarzalność wyników. Jako testowy materiał palny wybrano trocinę drewna sosnowego. Stosowany w testach służących do oceny skuteczności działania podręcznego sprzętu gaśniczego stos beleczek zapewnia swobodny dostęp środka gaśniczego do całości materiału palnego oraz koncentruje się na spalaniu płomieniowym. Zaproponowany w autorskim teście pożar trocin sosnowych przebiega bezpłomieniowo i jest pożarem ukrytym. Środek gaśniczy musi dotrzeć do źródła pożaru poprzez nieobjętą spalaniem warstwę

trocin, co symuluje często spotykane warunki podczas rzeczywistych działań gaśniczych.

W trakcie projektowania testu wzorowano się częściowo na procedurze testowej dla zwilżaczy opisanej w standardzie NFPA 18. Podobnie jak w NFPA 18, zastosowano kosz z siatki stalowej jako pojemnik na materiał palny. Dodatkowo wprowadzono ciągły pomiar temperatury materiału palnego prowadzony w pięciu punktach oraz ciągły pomiar ubytku masy. Pozwoliło to na przeanalizowanie przebiegu procesu gaszenia, a w efekcie porównanie szybkości procesu gaszenia dla poszczególnych środków gaśniczych.

Mimo pewnych wad, zaprojektowane stanowisko pozwala na analizę porównawczą badanych środków gaśniczych na bazie wody podczas gaszenia pożarów materiałów stałych drewnopochodnych. Dalsza modyfikacja stanowiska, procesu gaszenia i sposobu analizy wyników być może pozwoli na pełniejsze porównanie skuteczności i efektywności działania środków gaśniczych.

LITERATURA

- [1] Czerwona księga pożarów, pod red. Guzewski P., Wróblewski D., Małozieć P., CNBOP-PIB, Józefów 2014.
- [2] Król B., Sobolewski M., Jakubiec J., Szczech K., Badania zdolności zwilżających roztworów wodnych stosowanych do gaszenia pożarów materiałów stałych, *Zeszyty Naukowe SGSP* 2013, nr 46.
- [3] Polska Norma PN-EN 2:1998/A1:2006: Podział pożarów.
- [4] Diekmann N., Bekämpfung größerer Feststoffbrände, *Brandschutz Deutsche-Feuerwehr Zeitung* 2011, nr 8.
- [5] 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.
- [6] Polska Norma PN-EN 1568:2008: Środki gaśnicze – Pianotwórcze środki gaśnicze.
- [7] Polska Norma PN-EN 615:2009: Środki gaśnicze – Wymagania techniczne dotyczące proszków (innych niż do gaszenia pożarów grupy D).
- [8] Polska Norma PN-EN 3-7+A1:2008: Gaśnice przenośne – Część 7: Charakterystyki, wymagania eksploatacyjne i metody badań.
- [9] NFPA 18, Standard on Wetting Agent, 2011 Edition, National Fire Protection Association.