

mł. bryg. dr inż. Bernard Król

st. bryg. dr inż. Mirosław Sobolewski

kpt. mgr inż. Dominika Gancarczyk

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

kpt. inż. Maurycy Swebodziński

Komenda Miejska Państwowej Straży Pożarnej w Gdańsku

Badania wzrostu ciśnienia w pomieszczeniu w wyniku niewłaściwego gaszenia pożaru grupy F

Abstrakt

Analiza przypadków pożarów grupy F, przeprowadzone badania oraz obliczenia teoretyczne dowodzą, że przy nieodpowiednim gaszeniu płonącego oleju w pomieszczeniu powstaje zagrożenie nagłym wzrostem ciśnienia. Wzrost ciśnienia może powodować zniszczenia elementów konstrukcji budynku, w tym okien, lekkich ścianek działowych, a nawet ścian z cegły. W artykule przedstawiono analizy wybranych przypadków pożarów grupy F, wyniki przeprowadzonych badań wzrostu ciśnienia oraz szacunkowe obliczenia teoretyczne. Pomiary przeprowadzone na opisanym w artykule stanowisku nie wykazały wzrostów ciśnienia większych niż 20 mbar. Analiza literaturowa przypadków pożarów grupy F i obliczenia teoretyczne wskazują jednak na możliwość wystąpienia większych wzrostów ciśnienia, nawet do 100 mbar.

Słowa kluczowe: wybuch tłuszczu, pożary grupy F, gaszenie

Testing the Overpressure in the Room as a Result of Improper Extinguishing of Class F Fire

Abstract

The analysis of class F fire cases, research and calculations show that improper extinguishing the fats with water creates possibility of overpressure in a closed room. An increase of pressure can cause damage of structural components including not

only windows, light partition walls but also brick walls. In the paper a preliminary analysis was carried out and the results of measurements and calculations were presented. The increase of pressure, measured during experiments was no more than 20 mbar (2 kPa). The literature analysis and calculations allow to conclude that higher pressure can be generated up to about 100 mbar or more.

Keywords: fat explosion, class F fires, extinguishing

Wstęp

W europejskiej nomenklaturze pożarniczej pojęcie pożarów grupy F pojawiło się stosunkowo późno, bo dopiero w 2005 r. Początkowo pożary olejów i tłuszczów spożywczych zaliczano do pożarów grupy B, czyli pożarów cieczy palnych i ciał stałych topiących się pod wpływem temperatury. Było to spowodowane zbliżonymi do siebie cechami fizycznymi substancji. Konieczność wyodrębnienia pożarów grupy F wynikała ze wzrostu liczby pożarów spowodowanych samozapalaniem się tłuszczu podczas przygotowywania posiłków. Okazało się, że takie pożary mają specyficzny przebieg i są bardzo trudne do ugaszenia przy użyciu konwencjonalnych środków (np. wody i roztworów pianotwórczych) oraz metod opracowanych i wprowadzonych na rynek z myślą o pożarach grupy B. Co więcej, próby gaszenia pożarów tłuszczów wodą, a nawet gaśnicami proszkowymi czy pianowymi, w wyniku skierowania na płonący olej strumienia gaśniczego ze zbyt małej odległości, często powodowały obrażenia osób gaszących pożar w wyniku wyrzutu gorącego tłuszczu, a także w wielu przypadkach szybkie rozprzestrzenienie się pożaru na całe pomieszczenie. Wprowadzenie do przepisów przeciwpożarowych nowej grupy pożarów – F, spowodowało z kolei konieczność opracowania i wprowadzenia do użytkowania odpowiednich środków umożliwiających skuteczne i bezpieczne gaszenie tych pożarów.

1. Zagrożenie pożarowe stwarzane przez tłuszcze

Głównymi składnikami olejów i tłuszczów jadalnych są triglicerydy kwasów tłuszczowych. Substancje te są estrami kwasów tłuszczowych i gliceryny. W skład olejów i tłuszczów wchodzi także, w mniejszych ilościach, inne

składniki, takie jak mono- i diglicerydy kwasów tłuszczowych, wolne kwasy tłuszczowe, fosfolipidy, sterole, tokoferole i karotenoidy. Oleje i tłuszcze są mieszaninami triglicerydów zawierających kilka różnych kwasów tłuszczowych, przy czym w produktach pochodzenia roślinnego jest więcej kwasów tłuszczowych jedno- i wielonienasyconych, a w produktach pochodzenia zwierzęcego przeważają kwasy tłuszczowe nasycone [1, 2, 3].

Tłuszcze, w tym także oleje roślinne, nie stwarzają zagrożenia pożarowego w typowych warunkach ich przechowywania. Charakteryzują się stosunkowo wysoką temperaturą zapłonu oraz samozapłonu. Na przykład dla oleju rzepakowego temperatura zapłonu określona według normy PN-EN ISO 2595 wynosi 339°C, temperatura palenia 369°C, a temperatura samozapłonu, wyznaczona zgodnie z normą PN-EN 14522:2006, to około 395°C [badania własne, 4, 5]. Trudno zatem uznać przechowywane tłuszcze i oleje jadalne za niebezpieczne pożarowo. Jednak temperatura rozgrzanego tłuszczu wykorzystywanego do obróbki żywności często zbliża się do 200°C. Podczas ogrzewania w kontakcie z powietrzem, przy dostatecznie wysokiej temperaturze, olej zaczyna się rozkładać. Powstające produkty rozkładu są widoczne w postaci dymu, którego gęstość rośnie w miarę ogrzewania [6]. Dalsze ogrzewanie prowadzi do samozapłonu produktów rozkładu termicznego i rozprzestrzeniania się ognia na całej powierzchni cieczy. Typowym scenariuszem próby gaszenia płonącego oleju jest wlanie do niego wody, powszechnie uważanej za dobry środek gaśniczy. Prowadzi to do gwałtownego odparowania wody i wyrzucenia płonącego oleju poza naczynie. W konsekwencji może to prowadzić do rozprzestrzenienia pożaru. W pewnych sprzyjających okolicznościach (odpowiednio duża ilość oleju w naczyniu, szczelne pomieszczenie), efektem wyrzutu i przestrzennego spalania stopionego tłuszczu lub oleju mogą być zniszczenia elementów konstrukcyjnych i wyposażenia mieszkań np. ścianek działowych, okien [7, 8].

Parametry opisujące stabilność termiczną tłuszczów spożywczych ogrzewanych w kontakcie z powietrzem są zwykle definiowane trzema parametrami temperaturowymi:

- temperatura dymienia;
- temperatura zapłonu;
- temperatura samozapłonu.

Wartości tych parametrów zależą od warunków prowadzenia badań i często w źródłach literaturowych można znaleźć różniące się dane dla tego

samego stopionego tłuszczu lub oleju [9, 10]. Podkreślić należy, że dodatkowe, wstępne badania przeprowadzone w Szkole Głównej Służby Pożarniczej (dalej: SGSP) pozwalają na stwierdzenie, że oleje mogą ulegać zapłonowi i samozapłonowi w niższych temperaturach niż te wyznaczone metodami normatywnymi. Zwłaszcza oleje wykorzystywane wielokrotnie do obróbki żywności.

2. Gaszenie pożarów tłuszczów

Jako typowy pożar tłuszczu, pożar grupy F wg PN-EN 2, należy rozumieć pożar powstały w wyniku samozapłonu. Takie podejście do pożarów tłuszczów i olejów znajduje potwierdzenie w normie PN-EN 3-7, która nakazuje przeprowadzenie testów gaśniczych dla gaśnic w warunkach, w których stopiony tłuszcz lub olej uległ samozapłonowi, a nie zapłonowi [11, 12].

Jest kilka możliwości ugaszenia pożarów tłuszczów. Wyodrębnić można wśród nich metody „domowe” oraz „profesjonalne” – np. przy użyciu dedykowanego podręcznego sprzętu gaśniczego. W przypadku pożaru tłuszczu w niewielkim naczyniu najskuteczniejszą metodą gaszenia jest odcięcie płomieni od dostępu utleniacza – szczelne przykrycie naczynia pokrywką, ręcznikiem itp. Przy wykonywaniu takich operacji zachować należy szczególną ostrożność, zważając, by do płonącego oleju nie dostały się krople wody, które tonąc, mogą powodować drobne wyrzuty oleju i chwilowy wzrost intensywności spalania. Według relacji świadków jednego z tego typu zdarzeń, próba nakrycia płonącego naczynia pokrywką z mokrym dnem spowodowała gwałtowne odparowanie wody i wyrzucenie w górę pokrywki, która z dużą siłą uderzyła w sufit [inf. prywatna].

Podczas gaszenia pożarów tłuszczów z użyciem podręcznego sprzętu gaśniczego, wykorzystywane są dwa mechanizmy gaśnicze: chłodzenie oraz izolowanie. Wszystkie dostępne na rynku gaśnice do gaszenia pożarów grupy F zawierają środki gaśnicze na bazie wody lub wodę. Środki gaśnicze bez dodatków (woda) mają wyłącznie działanie chłodzące. Większą skutecznością działania gaśniczego charakteryzują się gaśnice z roztworami wodnymi soli, najczęściej potasowych oraz z roztworami pianotwórczymi. W wyniku zachodzenia reakcji zmydlania, sole rozpuszczone w wodzie, w wysokiej temperaturze, reagują z tłuszczem tworząc trwałą, odporną na wysoką temperaturę warstwę [10, 13].

3. Skutki niewłaściwego gaszenia pożarów tłuszczów wodą

Próba gaszenia oleju w naczyniu kuchennym, który uległ samozapłonowi w wyniku przegrzania, przez wlanie wody zwartym strumieniem do naczynia powoduje przebieg następujących zjawisk:

- tonięcie wody w oleju i jej gwałtowne odparowanie (woda ma większą gęstość od oleju i stopionego tłuszczu);
- wyrzucenie oleju z naczynia przez rozprężającą się parę wodną;
- chłodzenie oleju w wyniku odparowania wody i kontaktu z powietrzem;
- zapłon wyrzuconego przez parę wodną oleju w kontakcie z powietrzem i intensyfikację procesów spalania w wyniku jego rozpylenia;
- spalanie oleju w powietrzu powodujące szybki wzrost temperatury i gwałtowny wzrost ciśnienia w pomieszczeniu.

Z doniesień medialnych oraz danych straży pożarnej można pozyskać informacje o poważnych konsekwencjach prób gaszenia wodą płonącego oleju: wybitych szybach, wyrwanych oknach i drzwiach lub zniszczonych ściankach działowych. Przykłady kilku takich zdarzeń, przedstawiono poniżej jako cytaty z materiałów źródłowych:

Wolfsburg (Niemcy), 14.12.2006 r. – „Centrum dowodzenia straży pożarnej otrzymało telefon z policji z informacją, że jedna z mieszkańek zauważyła przy ul. Rothenfelder, że nagle rozpadła się szyba okienna, a z okna wydobywa się czarny dym. W chwili przybycia na miejsce siły ratownicze nie stwierdziły już zadymienia. W mieszkaniu znajdował się 13-latek oraz jego 15-letnia siostra i matka. Chłopak przygotowywał na tłuszczu sajgonki. Gdy w garnku pojawiły się płomienie, wziął miskę z wodą, by ugasić pożar. Następujący w wyniku tego wybuch tłuszczu doprowadził do takiego wzrostu ciśnienia, że szyby w oknach i ściana do przedpokoju nie wytrzymały.” [8]

Rywałd (woj. pomorskie), 22.08.2013 r. – „Wybuch par oleju spożywczego. W pomieszczeniach mieszkalnych stwierdzono olej spożywczy na ścianach i na podłodze, okopcone ściany i sufit w części kuchennej i przedpokoju, a w jednym pokoju wybite szyby w oknach i wypchnięte futryny na zewnątrz.” [14]

Warszawa, 14.10.2015 r. – „Przed godziną 19.00 do Stanowiska Kierowania Komendanta Miejskiego PSP m. st. Warszawy wpłynęło zgłoszenie o wybuchu w mieszkaniu na 9 piętrze budynku wielorodzinnego. Po przybyciu na miejsce potwierdzono informacje uzyskane przez osobę zgłaszającą. W wyniku

zdarzenia oparzeń doznała lokatorka mieszkania, której pierwszej pomocy udzielali sąsiedzi.” [15]



Rys. 1. Skutki „wybuchu” oleju spożywczego w mieszkaniu

Źródło: fot. Adrian Domański

Olsztyn, 12.04.2016 r. – „O prawdziwym pechu może mówić mieszkanka ulicy Dworcowej, która usiłowała ugasić płonący w garnku olej. Nieświadoma zagrożenia kobieta połała go wodą. I to był kardynalny błąd. Wybuchł ogień, który rozprzestrzenił się w kuchni. Spaliły się firanki, okleina kuchennych szafek i okopciły ściany. Od temperatury stopiła się kratka wentylacyjna. Wybuch wyrwał szybę z kuchennych drzwi, a fala uderzeniowa, która rozszła się po mieszkaniu spowodowała częściowe przesunięcie lekkiej ścianki z płyty gipsowej, oddzielającej sąsiednie mieszkanie.” [16]

Tak poważne skutki wyrzutu i spalania oleju nie są regułą. W zdecydowanej większości zdarzeń szkody ograniczone są do pomieszczenia kuchni i wynikają z krótkotrwałego oddziaływania płomienia na elementy wyposażenia. Stosowane do opisu tego rodzaju zdarzeń pojęcie „wybuch tłuszczu” lub „eksplozja tłuszczu” jest jedynie zwyczajowe. Zjawisko to ma charakter szybko przebiegającego spalania cieczy, raczej o charakterze deflagracji, gdyż nadciśnienie nie przekracza wielkości 1 bar.

Wzrost ciśnienia w pomieszczeniu wynika ze zwiększenia objętości gazów w pomieszczeniu, co związane jest z kilkoma procesami zachodzącymi podczas wyrzutu i spalania oleju:

- odparowaniem wody,
- powstawaniem gazowych produktów rozkładu i spalania oleju,
- wzrostem temperatury w pomieszczeniu.

Udział poszczególnych procesów w całości zjawiska trudno jest ocenić, ponieważ zależy on w bardzo dużym stopniu od okoliczności zdarzenia, takich jak ilość i temperatura płonącego oleju, kształt naczynia, ilość wody i sposób jej wiania do oleju [9].

4. Skutki gwałtownego przyrostu ciśnienia w pomieszczeniu

Literatura przedmiotu jest bogata w ocenę skutków zniszczeń elementów budynków w zależności od wielkości przyrostu ciśnienia. Niecałkowite zniszczenia szyb w oknach mogą występować już przy przyroście ciśnienia wynoszącym 10–20 mbar, a całkowite przy nadciśnieniu powyżej 20 mbar (do 70 mbar). Produkowane obecnie okna i drzwi balkonowe charakteryzują się dużą odpornością na zniszczenia i w przypadku nieprofesjonalnie wykonanego mocowania, stosunkowo niewielki przyrost ciśnienia powoduje ich wyrwanie z muru. Przy takim samym nadciśnieniu może dojść do zniszczenia lekkich ścianek działowych, np. gipsowo-kartonowych, ale także wykonanych z cegły [17].

Według autorów relacji ze zdarzenia z 14.12.2006 r. w Wolfsburgu, oszacowany wzrost ciśnienia, który spowodował zniszczenie ceglanej ścianki działowej i wybite szyb w oknie, wynosił około 80 mbar [8].

Istotny dla wielkości zniszczeń jest nie tylko przyrost ciśnienia, ale także czas oddziaływania na elementy konstrukcyjne. Szybkość przyrostu ciśnienia przy wyrzucie i przestrzennym spalaniu oleju jest niewielka w porównaniu z wybuchami mieszanin gazowych i pyłowych. Rzeczywisty czas oddziaływania nadciśnienia w omawianych przypadkach wynosi od 1 do 3 s. Zniszczenia ograniczone są z reguły do elementów o stosunkowo dużej powierzchni (okna, drzwi, ścianki działowe). Przykładowo nadciśnienia rzędu 20 mbar odpowiadają w przybliżeniu naciskowi 400 kg na okno o powierzchni 2 m² lub oddziaływaniu wiatru o prędkości około 200 km/h.

Analiza dokumentacji fotograficznej ze zdarzeń pozwala na wyciągnięcie kolejnego wniosku potwierdzającego stosunkowo powolny przyrost ciśnienia

i rozchodzenie się fali ciśnienia. W pomieszczeniach z uszkodzonymi oknami i ściankami znajdują się lekkie elementy wyposażenia lokali, które nie zostały przemieszczone. Takich obrazów nie odnotowuje się np. po wybuchach gazu [7].

5. Badania skutków wyrzutów i przestrzennego spalania tłuszczów

5.1. Cel i zakres badań

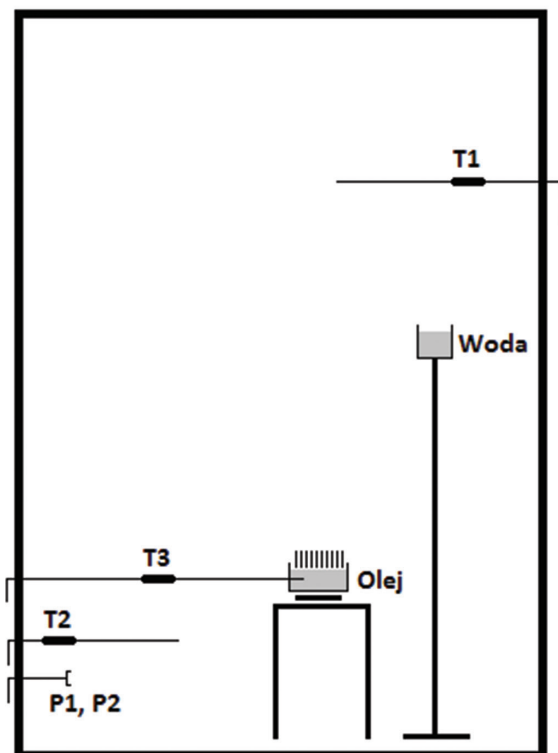
W celu bliższego poznania specyfiki przebiegu pożarów tłuszczów i olejów, zwłaszcza pochodzenia roślinnego, w SGSP zaplanowano i przeprowadzono wiele eksperymentów mających na celu empiryczne poznanie charakteru wyrzutu tłuszczu i jego spalania w powietrzu, zwłaszcza w przestrzeni zamkniętej. W obiekcie treningowym SGSP, w typowym kontenerze transportowym, zbudowano niewielkie pomieszczenie o kubaturze 7,6 m³ przeznaczone do przeprowadzenia testów wyrzutu płonącego oleju w warunkach maksymalnie zbliżonych do typowych występujących w kuchniach domowych. Badania polegały na pomiarach zmian temperatury i ciśnienia wewnątrz pomieszczenia.

5.2. Procedura badań i aparatura pomiarowa

Stanowisko do badań składało się z dwóch podstawowych zespołów:

- sprzętu do podgrzewania oleju i wlewania wody – odwzorowującego typowe warunki niewłaściwego gaszenia pożaru oleju polegającego na bezpośrednim wlewu wody do rozgrzanego i płonącego oleju,
- sprzętu pomiarowego do rejestracji zmian temperatury i ciśnienia: termopary TP 202K firmy Czaki, przetworniki ciśnienia (PXM 24,5 oraz PLC 64-1 firmy Peltron), moduły pomiarowe ADAM firmy Advantech.
- Olej rzepakowy znajdujący się w typowym garnku kuchennym w objętości 500 lub 750 cm³ podgrzewany był na palniku gazowym aż do wystąpienia samozapłonu (następowało to przy ogrzaniu oleju do temperatury 360–375°C), następnie podgrzewany był przez co najmniej minutę do osiągnięcia temperatury około 400°C i ustawiany pod naczyniem z wodą (250 cm³). Naczynie z wodą na uchylnym stelażu mogło być za pomocą ciągną przechylane, w wyniku czego woda wlewała się wprost do płonącego oleju. Naczynie z olejem umieszczono na wysokości 75 cm nad

podłogą, naczynie z wodą znajdowało się 60 cm nad lustrem płonącego oleju. Na rys. 1 przedstawiono szkic pomieszczenia z rozmieszczeniem aparatury pomiarowej i naczyń z olejem i wodą.



Rys. 2. Rozmieszczenie elementów pomiarowych i symulujących w pomieszczeniu badawczym (oznaczenia: T1, T2, T3 – termopary, P1, P2 – przetworniki ciśnienia)

Źródło: rys. Bernard Król

Podczas badań rejestrowano zmiany ciśnienia i temperatury w pomieszczeniu badawczym, a także pozostałość oleju i wody w naczyniu.

5.3. Wyniki badań

W tabeli 1 zestawiono informacje i dane o ilości oleju wykorzystanego do symulacji pożaru F, ilości wody i oleju, które po wyrzucie pozostały w naczyniu oraz maksymalnej temperaturze i przyroście ciśnienia w pomieszczeniu.

Po zakończeniu każdej z prób i pomiarów, dokonano analizy zawartości naczynia. W każdej z prób stwierdzono, że w naczyniu znajduje się woda oraz olej. Ślady na ścianach, suficie i podłodze pomieszczenia pozwalały także na wyciągnięcie wniosku, że znaczna część oleju nie uległa wypaleniu, a woda odparowaniu. O ile pozostałość wody i oleju w naczyniu można określić ilościowo, o tyle ilość wyrzuconego oleju i wody, które nie uległy spaleni lub odparowaniu, można tylko oszacować. Prawdopodobnie odparowaniu ulegało nie więcej niż 1/3 podawanej wody, a spaleni nie więcej niż połowa oleju znajdującego się pierwotnie w naczyniu.

Tabela 1. Wyniki pomiarów: pozostałości oleju i wody w naczyniu oraz przyrostu temperatury i ciśnienia w pomieszczeniu

Nr próby	Ilość oleju w naczyniu podczas podgrzewania [cm ³]	Pozostałość oleju [cm ³]	Pozostałość wody [cm ³]	Maks. przyrost ciśnienia [mbar]	Maks. temperatura w górnej części pomieszczenia [°C]	Maks. temperatura w dolnej części pomieszczenia [°C]
1	500	60	120	12	410	50
2	500	40	110	7,5	325	56
3	500	40	100	2	455	80
4	500	40	120	7	500	100
5	500	50	50	13,5	500	155
6	500	40	140	12,5	480	90
7	750	40	40	20	625	225
8	750	80	140	3	500	100
9	750	50	60	6,5	500	80
10	750	40	30	10	600	250

Źródło: opracowanie własne

Pomiary temperatury wykazały znaczne jej zwiększenie w górnej części pomieszczenia i mniejszy wzrost w dolnej części, co było zgodne z oczekiwaniami. Spowodowane jest to przede wszystkim wymuszonym kierunkiem wyrzutu oleju – ku górze.

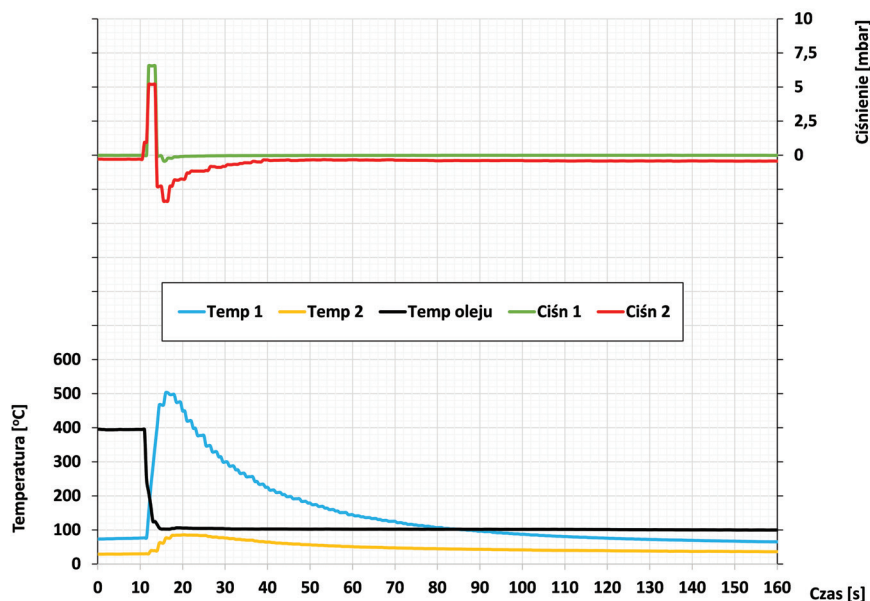
Maksymalny zarejestrowany przyrost ciśnienia w pomieszczeniu nie przekraczał 20 mbar (2 kPa). Nie można wykazać prostej zależności przyrostu ciśnienia np. od ilości oleju w naczyniu przed wyrzutem lub pozostałości oleju i wody w naczyniu po wyrzucie. Największy przyrost ciśnienia (20 mbar) odnotowano jednak w próbie użyciem 750 cm³ oleju, w której jednocześnie zarejestrowano największą temperaturę w górnej i jedną z większych w dolnej części pomieszczenia (odpowiednio: 625°C i 225°C). W próbie tej także odnotowano jedną z najmniejszych pozostałości oleju i wody w naczyniu (po 40 cm³).

Na rys. 3 przedstawiono przykładowe wyniki wybranej (próba nr 9) próby gaszenia pożaru oleju z użyciem wody w pomieszczeniu. Zmiany ciśnienia oraz temperatury, zwłaszcza w kluczowym dla przebiegu eksperymentu momencie wyrzutu, nie są odwzorowane dostatecznie precyzyjnie, ze względu na ograniczenia aparatury. Urządzenia pomiarowe i rejestrujące umożliwiały zapisywanie danych tylko co 1 s, co jest częstotliwością niewystarczającą do dokładnego poznania charakteru i przebiegu zjawiska wyrzutu oleju. Wartości maksymalne ciśnienia prawdopodobnie, a temperatury z pewnością uznać można za wiarygodne.

Przyrost ciśnienia w pomieszczeniu spowodowany wyrzutem i przestrzennym spalaniem oleju spożywczego jest krótkotrwały (do 2 s). Oba przetworniki ciśnienia zarejestrowały podobne zmiany ciśnienia w pomieszczeniu. Wadą jednego z przetworników ciśnienia jest konieczność jego umieszczenia wewnątrz pomieszczenia, co naraża go na działanie podwyższonej temperatury. Przetwornik PLC 64-1 charakteryzuje się zakresem temperatur pracy 0 ÷ 60°C. Większa temperatura zakłóca jego wskazania. Na rys. 3 zakłócenie pracy widoczne jest jako wskazanie ciśnienia poniżej wartości 0 (linia czerwona). Czujnik ten znajdował się w pomieszczeniu w dolnej jego części tuż przy termoparze (oznaczona jako Temp 2). Wzrost temperatury w tej części pomieszczenia powyżej górnego zakresu pracy przetwornika powodował zafałszowanie sygnału wyjściowego. Tego typu problemów nie odnotowano w przypadku czujnika PXM 24,5, gdyż zamontowany był poza pomieszczeniem i nie był narażony na działanie podwyższonej temperatury (linia zielona).

Na rys. 3 przedstawiono także zmiany temperatury w pomieszczeniu. Zwraca uwagę duża, aczkolwiek oczekiwana, różnica między temperaturą panującą w górnej i dolnej części pomieszczenia. Brak wymiany powietrza w pomieszczeniu skutkuje stosunkowo wolnym wychładzaniem jego wnętrza.

Termopara zamontowana w naczyniu (linia czarna na rys. 3) służyła do odczytywania temperatury oleju przed waniem wody i mieszaniny wody i oleju po wyrzucie oleju. Temperatura pozostałości oleju i wody w naczyniu po wyrzucie ustabilizowała się na poziomie 100°C, czyli temperatury wrzenia wody. Po waniu wody do płonącego oleju następuje gwałtowna wymiana ciepła pomiędzy cieczami. Ogrzanie wody tonącej w oleju powoduje jej odparowanie i wyrzut oleju. Część oleju i wody pozostaje jednak w naczyniu. W zakresie temperatur początkowych oleju (ok. 400°C) i wody (ok. 20°C) w przypadku oleju nie następuje wyłącznie oziębianie. Jednak w przypadku wody nastąpi ogrzewanie oraz odparowanie. Woda pozostająca w naczyniu (także woda z olejem) nie może mieć temperatury wyższej niż 100°C. W kilku próbach odnotowano temperaturę niższą.



Rys. 3. Przykładowy przebieg zmian ciśnienia i temperatury w pomieszczeniu podczas wyrzutu i spalania oleju spożywczego (próba nr 9)

Źródło: opracowanie własne

6. Teoretyczne oszacowanie przyrostu ciśnienia w pomieszczeniu

Na końcowy efekt próby gaszenia pożaru grupy F wpływa dynamika kilku procesów, zależna przede wszystkim od ilości oleju w naczyniu kuchennym, ale także, jak dowiodły prowadzone eksperymenty, od kształtu naczynia oraz ilości i sposobu wiania wody. Jak wykazano, tylko część oleju ulega wyrzuceniu przez tworzącą się parę wodną, także spalanie oleju w powietrzu nie jest całkowite. W przedstawionych rozważaniach za dominujący proces wpływający na przyrost ciśnienia w pomieszczeniu uznano wzrost temperatury w pomieszczeniu.

Efekt cieplny spalania masy oleju wyrzuconego przez odparowanie wody można oszacować teoretycznie przyjmując szereg założeń. Ciepło spalania ogrzewa powietrze w pomieszczeniu o objętości V od temperatury początkowej T_1 do końcowej T_2 . Jeśli założymy, że wzrost temperatury powietrza w całym pomieszczeniu jest stosunkowo niewielki i gęstość oraz ciepło właściwe niewiele się zmieniają, można przedstawić następujący bilans:

$$mQ_{sp} = V\rho_p c_p (T_2 - T_1) \quad (1)$$

gdzie Q_{sp} oznacza wartość opałową oleju, a ρ_p i c_p odpowiednio gęstość i ciepło właściwe powietrza w temperaturze T_1 . Stąd po przekształceniu otrzymujemy:

$$T_2 - T_1 = \frac{mQ_{sp}}{V\rho_p c_p} \quad (2)$$

Z równania Clapeyrona wynika, że ciśnienie w zamkniętym pomieszczeniu wzrośnie w wyniku ogrzania z wartości początkowej P_1 do P_2 :

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} \quad (3)$$

Przyrost ciśnienia ΔP wyniesie więc:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \frac{P_1(T_2 - T_1)}{T_1} \quad (4)$$

a po podstawieniu zależności (2):

$$\Delta P = \frac{P_1 m Q_{sp}}{V \rho_p c_p T_1} \quad (5)$$

Zależność (5) została wyprowadzona przy założeniu wielu uproszczeń. Zakłada ona nie tylko brak wpływu ogrzania powietrza na jego gęstość i ciepło właściwe, ale także całkowitą szczelność pomieszczenia, całkowite spalanie oleju oraz ogrzewanie całej objętości powietrza. Także masa rzeczywiście spalającego się oleju jest trudna do określenia. Należy więc oczekiwać mniejszych rzeczywistych wartości ΔP_r przy pomiarach ciśnienia prowadzonych w warunkach eksperymentu. Uwzględnia to zależność (6):

$$\Delta P_r = \frac{w_s w_o P_1 m_o Q_{sp}}{V \rho_p c_p T_1} \quad (6)$$

w której masę rzeczywiście spalającego się w powietrzu oleju m wyrażono jako iloczyn początkowej masy oleju w naczyniu m_o i całkowitego współczynnika spalania w_s oraz wprowadzono współczynnik w_o określający niecałkowite ogrzewanie powietrza. Pomieszczenie eksperymentalne nie wykazywało całkowitej szczelności, a zanotowane różnice temperatur w dolnej i górnej części pomieszczenia wskazują na niecałkowite ogrzewanie powietrza w pomieszczeniu. W przeprowadzonych eksperymentach wyrzutowi ulegało szacunkowo ok. 0,2–0,4 początkowej ilości płonącego oleju, a część wyrzuconego oleju, która ulegała spalaniu w powietrzu oceniano na około 0,5. Pozwala to ocenić wartość współczynnika spalania na ok. 0,1–0,2. Porównanie teoretycznej temperatury powietrza w całym pomieszczeniu oszacowanej ze wzoru (2) dla warunków eksperymentu (objętość oleju 0,5 dm³, $w_s = 0,1$, temp. pocz. 80°C) na ok. 600°C, z uśrednionymi wartościami pomiarowymi oraz wzięcie pod uwagę nieszczelności pomieszczenia, pozwala przyjąć oszacowanie wartości w_o na ok. 0,2–0,5.

Do obliczenia teoretycznego przyrostu ciśnienia w pomieszczeniu w warunkach eksperymentu, na podstawie wzoru (6) przyjęto wartości:

współczynnik spalania: $w_s = 0,1$,

współczynnik ogrzewania powietrza: $w_o = 0,25$,

ciśnienie powietrza: $P_1 = 100$ kPa,

objętość oleju: $V_o = 0,5$ dm³,

gęstość oleju: $\rho_o = 0,92$ kg/dm³,

ciepło spalania oleju: $Q_{sp} = 38$ MJ/kg [2],

objętość pomieszczenia: $V = 7,6$ m³,

gęstość powietrza w temp. 80°C: $\rho_p = 1,0$ kg/m³,

ciepło właściwe powietrza w temp. 80°C: $c_p = 1,01$ kJ/(kg·K),

temperatura początkowa powietrza w pomieszczeniu: $T_1 = 353$ K.

$$\Delta P_r = \frac{0,10 \cdot 0,25 \cdot 100 \text{ kPa} \cdot 0,5 \text{ dm}^3 \cdot \frac{0,92 \text{ kg}}{\text{dm}^3} \cdot 38000 \text{ kJ/kg}}{7,6 \text{ dm}^3 \cdot 1,0 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,01 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 353 \text{ K}} = 17 \text{ kPa} \quad (7)$$

Ponieważ ocena współczynników wyrzutu i stopnia spalania oraz współczynnika określającego niecałkowite ogrzewanie powietrza i nieszczelność pomieszczenia wyrzuconego oleju jest bardzo utrudniona, obliczenie wzrostu ciśnienia na podstawie wzoru 7 jest tylko szacunkowe. Wartość 17 kPa (170 mbar) odbiega wyraźnie od danych eksperymentalnych, ale należy wziąć pod uwagę, że w doświadczeniach nie udało się zachować całkowitej szczelności pomieszczenia.

Wnioski

Analiza literaturowa, badania oraz obliczenia dowodzą, że podczas próby gaszenia wodą płonącego tłuszczu istnieje możliwość powstawania nadciśnienia w zamkniętym pomieszczeniu. Wzrost ciśnienia może powodować uszkodzenia elementów konstrukcyjnych budynków, w tym okien, lekkich ścianek działowych, ale także ścian murowanych. Podczas przeprowadzonych na opisanym stanowisku symulującym wlewanie wody do płonącego oleju w pomieszczeniu kuchennym, nie odnotowano przypadku wzrostu ciśnienia w pomieszczeniu ponad 20 mbar (2 kPa). Należy jednak zaznaczyć, że pomiary ciśnienia mogą być zaniżone ze względu na charakterystykę pomieszczenia eksperymentalnego i parametry aparatury pomiarowej. Analiza literaturowa w zakresie oceny skutków wybuchów (gazów, par i pyłów) oraz oszacowania teoretyczne mogą sugerować, że podczas wyrzutów płonącego oleju można liczyć się z przyrostem ciśnienia nawet do 100 mbar (10 kPa). Świadczą o tym dokumentowane zniszczenia będące efektem wyrzutu płonącego tłuszczu.

Wstępne badania potwierdzają powstawanie efektu ciśnieniowego w przypadku niewłaściwego gaszenia pożaru grupy F w pomieszczeniach oraz pozwalają na jakościowy opis zjawiska i jednoznaczne określenie przyczyny podobnych zdarzeń.

Literatura

- [1] Przybylski R., Canola oil: Physical and chemical properties, Vegetable Oils in Food Technology – Composition, Properties and Uses, Blackwell Publishing 2002.

- [2] Fasina O.O., Colley Z., Viscosity and specific heat of vegetable oils as a function of temperature: 35°C to 180°C, *International Journal of Food Properties* 2008, 11, s. 738–746.
- [3] Jakóbiec J., Bocheński C., Badania wpływu parametrów tłoczenia na zawartość kwasów karboksylowych oraz glicerolu w oleju rzepakowym, *Acta Agrophysica* 2006, 8(1), 95–102.
- [4] PN-EN ISO 2592:2008 Oznaczanie temperatury zapłonu i palenia – Metoda otwartego tygla Clevelanda.
- [5] PN-EN 14522:2006 Oznaczanie temperatury samozapłonu gazów i par.
- [6] Food, Fats and Oils. Institute of Shortenings and Edible Oils, 9th Edition 2006, <http://www.ise.org/foodfats.htm>, dostęp 27.10.2016.
- [7] Król B., Sobolewski M., Smoliński P., Wybuch tłuszczu w pomieszczeniu, *Przegląd Pożarniczy* 2016, nr 8, s. 22–24.
- [8] Ebner Ch., Fettexplosion in einem geschlossenen Raum, *Brandschutz Deutsche Feuerwehr-Zeitung* 2007, 7, s. 463–467.
- [9] Lauterbach J., Voigtländer R., Fettbrände – ein Dauerthema für Versicherer?, *Schadenprisma* 2004, nr 4/1, www.schadenprisma.de (dostęp: 25.10.2016).
- [10] Sobolewski M., Król B., Tłusty problem, *Przegląd Pożarniczy* 2016, nr 6, s. 18–19.
- [11] Polska Norma PN-EN 3-7:2004+A1:2008, Gaśnice przenośne, Część 7: Charakterystyki, wymagania eksploatacyjne i metody badań.
- [12] Polska Norma PN-EN 2:1998/A1:2005, Grupy pożarów.
- [13] Król B., Sobolewski M., Czubak-Ptasińska A., Badania skutków niewłaściwego użycia podręcznego sprzętu gaśniczego do gaszenia pożarów grupy F, *Zeszyty Naukowe SGSP* 2013, nr 46(2), s. 5–17.
- [14] http://starogardgdanski.naszemiasto.pl/artukul/rywald-wybuch-w-kuchni-poparzona-kobieta,1976178,art,t,id,tm.html?sesja_gratka=faa66acf2f0c53d2159b42b1fee801cf (dostęp: 25.10.2016)
- [15] <http://www.warszawa-straz.pl/index.php/interwencje/2850-14-10-2015-wybuch-w-mieszkaniu-budynku-wielorodzinnego-przy-ul-pulawskiej> (dostęp: 10.09.2017).
- [16] <https://www.smp.olsztyn.pl/content/chcia%C5%82-ugasi%C4%87-po%C5%BCar-wybuch-przesun%C4%85%C5%82-%C5%9Bcian%C4%99> (dostęp: 25.09.2017).
- [17] Woliński M., Ogrodnik G., Tomczuk J., Ocena zagrożenia wybuchem, Warszawa 2002.