

mgr inż. Grzegorz Kotulek

mgr inż. Grzegorz Ogrodnik

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego,
Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Zagrożenia pożarowo-wybuchowe i zasady bezpieczeństwa podczas pokazów edukacyjnych z wykorzystaniem palącego się alkoholu

Streszczenie:

W opracowaniu przedstawiono zagrożenia pożarowo-wybuchowe związane z wykorzystaniem palącego się alkoholu podczas wybranych doświadczeń i pokazów edukacyjnych z udziałem publiczności. Określono podstawowe zasady bezpiecznego przeprowadzania opisywanych eksperymentów.

Słowa kluczowe: zagrożenia pożarowe, alkohole, doświadczenia chemiczne

Fire and Explosion Hazards and Rules of Safety During the Educational Demonstrations with the Application of Burning Alcohol

Abstract:

The paper presents the fire and explosion hazards associated with the application of burning alcohol in the selected experiments and in the educational demonstrations with audience. The basic safety rules for carrying out the described experiments have been indicated.

Keywords: fire hazards, alcohol, chemical experiments

1. WPROWADZENIE

Przechowywanie i manipulowanie cieczami palnymi niesie ze sobą szeroki wachlarz zagrożeń różnorodnej natury – od toksycznych po pożarowe i wybuchowe, od zagrożeń dla życia i zdrowia ludzi do zagrożeń dla środowiska. Zagrożenia te wynikają głównie z właściwości fizykochemicznych tych cieczy, a także z warunków ich stosowania. Istnieje szereg regulacji prawnych ukierunkowanych na ograniczenie zagrożeń i zapewnienie właściwego poziomu bezpieczeństwa podczas stosowania cieczy palnych. Do podstawowych z nich należą przepisy ochrony środowiska, przepisy ochrony przeciwpożarowej, przepisy bhp, przepisy techniczno-budowlane. Ze względu na szeroki zakres ich zastosowania mają one dość ogólny charakter i z reguły nie zawierają szczegółowych rozwiązań dotyczących konkretnych aplikacji. W przypadku stosowania dużych ilości cieczy palnych zagrożenia z nimi związane są „intuicyjnie” wyczuwalne. Dla wielu podmiotów odpowiedzialnych za zapewnienie bezpieczeństwa użytkowników obiektu, budynku lub terenu oczywistym jest konieczność analizy sytuacji w celu pełnego wypełnienia spoczywających na nich obowiązków. Jednak w przypadku występowania i stosowania względnie małych ilości cieczy palnych, np. typowo od poniżej 1 dm³ do kilku dm³ zagrożenia z nimi związane mogą wydawać się znikome, wręcz pomijalne, a więc mogą być lekceważone. Do przypadków takich można zaliczyć stosowanie alkoholi, typowo etanolu, metanolu i izopropanolu, w doświadczeniach laboratoryjnych i pokazach edukacyjnych z udziałem uczniów, studentów i osób postronnych (obserwatorów). Popularnymi doświadczeniami prezentowanymi podczas takich pokazów są tzw. „kolorowe płomienie” oraz „ogniste tornado”.

W artykule przedstawiono typowe zagrożenia pożarowo-wybuchowe związane z użyciem alkoholi podczas ww. pokazów oraz określono podstawowe zasady bezpiecznego ich przeprowadzania.

2. OGÓLNY OPIS PRZEBIEGU WYBRANYCH POKAZÓW

Jednym z dość często prezentowanych i zarazem widowiskowych doświadczeń jest tzw. pokaz „kolorowych płomieni”. W doświadczeniu tym wykorzystuje się rozpuszczalnik organiczny w postaci alkoholu np. etylowego (dokładnie alkohol etylowy skażony, tj. denaturat o zawartości alkoholu ok. 92 % obj.)

oraz różne odczynniki chemiczne. Eksperyment polega na podpaleniu alkoholu znajdującego się w metalowym naczyniu i dodaniu właściwego związku chemicznego w celu uzyskania określonej barwy płomienia. W pokazie stosowane są z reguły niewielkie naczynia w kształcie talerza, tacy, misy lub kubka o pojemnościach rzędu kilkuset cm^3 – pojemność porównywalna z pojemnością typowej szklanki lub kubka. Przykładowe stanowisko pokazano na rys. 1. Po wypaleniu się rozpuszczalnika w naczyniu uzupełniane jest ono nową porcją. W celach kilkukrotnego powtórzenia eksperymentu w oddzielnym naczyniu utrzymywany jest jego zapas. Przechowywany jest on najczęściej w opakowaniach jednostkowych o pojemnościach rzędu 4 do 5 dm^3 . Są to typowe opakowania stosowane w handlu detalicznym – ogólnodostępne w sklepach z artykułami chemii gospodarczej.



Rys. 1. Eksperyment „Kolorowe płomienie”

Źródło: [7]

Innym doświadczeniem jest tzw. „ogniste tornado”. Podobnie jak w pokazie „kolorowych płomieni”, w doświadczeniu tym wykorzystuje się rozpuszczalnik palny. Stosowanym często rozpuszczalnikiem jest alkohol, np. metylowy lub izopropylowy. Alkohol spalany jest w płaskim naczyniu (tacka) umieszczonym w koszu siatkowym na obracającej się, w trakcie pokazu, platformie. Efektem tych czynności jest uzyskanie „wirującego płomienia” obrazującego zjawisko powstawania tornada, jakie ma miejsce podczas dużych pożarów w warunkach naturalnych. Przykładowe stanowisko do przeprowadzania tego doświadczenia pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Eksperyment „Ogniste tornado”

Źródło: [8]

Przeprowadzane są także pokazy, które łączą oba opisane eksperymenty (rys. 3.).



Rys. 3. Eksperyment „Ogniste tornado” ze zmianą barwy płomienia

Źródło: [9]

3. ZAGROŻENIA POŻAROWO-WYBUCHOWE ZWIĄZANE ZE STOSOWANIEM ALKOHOLI PODCZAS POKAZÓW

W warunkach prowadzenia opisywanych pokazów wykorzystanie w doświadczeniach alkoholi może przede wszystkim skutkować wystąpieniem pożaru. Zagrożenie wybuchowe może być także brane pod uwagę (rozważane). Są to główne i typowe zagrożenia związane z użyciem cieczy palnych. W klasycznym ujęciu tematu możliwość wystąpienia ww. zjawisk uzależniona jest od jednoczesnej obecności trzech składników:

- 1) paliwa (w tym przypadku cieczy palnej zwykle w postaci alkoholu),
- 2) źródła zapłonu (w ww. pokazach typowo w postaci otwartego płomienia),
- 3) utleniacza (powietrza – tlenu zawartego w powietrzu).

Paliwo i jego właściwości

Warunek pierwszy – obecność paliwa – w trakcie pokazów jest zawsze spełniony. Typowym stosowanym paliwem są alkohole: etylowy, metylowy i izopropylowy. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia [1] alkohole te zaliczane są do grupy produktów wysoce łatwopalnych. Podstawowe ich właściwości i parametry pożarowo-wybuchowe przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Podstawowe właściwości stosowanych wybranych alkoholi

LP	Nazwa	wzór	M	T _{wrz}	T _{zapł.}	T _{s.zapł.}	MIE	P _{max}	DGW	C _{st}	GGW	P _{S(20)}
			[g/mol]	[°C]	[°C]	[°C]	mJ	bar	% (V)	% (V)	% (V)	[hPa]
1	Etanol	C ₂ H ₆ O	46,07	78	12	400	0,23	8,4	3,10	6,44**	27,70	58,0
2	Izopropanol	C ₃ H ₈ O	60,10	82	12	425	0,21	–	2,00	4,39**	13,40	42,6
3	Metanol	CH ₄ OH	32,04	65	9	440	0,14	8,5	6,00	12,11**	50,00	129,0

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [4, 10]

** wartości obliczeniowe – obliczenia wykonano zgodnie z wytycznymi Rozporządzenia MSWiA [2]

Ze względu na ich temperaturę zapłonu, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji [2] zaliczane są także do materiałów niebezpiecznych pożarowo. Ich temperatury zapłonu nie przekraczają 20°C. Powyższe dotyczy także postaci handlowej alkoholu etylowego skażonego, tj. denaturatu o zawartość alkoholu etylowego około 92% obj. W temperaturze otoczenia rzędu 20°C rozlewiska alkoholi łatwo ulegają zapaleniu od wysoce energetycznych punktowych źródeł zapłonu. Temperatury samozapłonu alkoholi są stosunkowo wysokie, co wpływa korzystnie na ograniczenie zagrożenia związanego z możliwością zapłonu od gorących powierzchni. Z kolei minimalne energie zapłonu alkoholi wynoszą dziesiąte części mJ, co czyni je podatnymi na zapłon od wyładowań elektrostatycznych.

Istotnym czynnikiem wpływającym na zagrożenie pożarowo-wybuchowe jest fakt, że w temperaturach otoczenia w przestrzeniach parowo-powietrznych zbiorników (opakowań) stężenia par alkoholi mogą oscylować w zakresie stężeń stechiometrycznych, a więc optymalnych z punktu widzenia podatności na zapłon.

Źródło zapłonu

Warunek drugi – obecność źródła zapłonu. W przypadku czynnika drugiego, tj. źródła zapłonu w trakcie pokazów typowo występują lub mogą wystąpić następujące potencjalne źródła zapłonu, z typowo rozważanych źródeł zgodne z koncepcją określoną w normie PN-EN-1127-1 [3]:

- otwarty ogień,
- gorące powierzchnie,
- elektryczność statyczna.

Inne rodzaje źródeł zapłonu w omawianych pokazach typowo nie występują, lecz należy podkreślić, iż mogą wystąpić wyjątki wynikające z lokalnych warunków i rozwiązań przyjętych przez organizatora lub prowadzącego takie doświadczenia.

Ze względu na wysoką temperaturę samozapłonu alkoholi, wystąpienie zapłonu od gorących powierzchni jest mało prawdopodobne (przy uwzględnieniu specyfiki i przebiegu pokazu).

Zapłon od wyładowań elektrostatycznych w warunkach prowadzenia pokazów jest możliwy, jednak należy go ocenić jako mało prawdopodobny.

Najbardziej efektywnym źródłem zapłonu jest otwarty płomień, który w omawianych pokazach jest ich inherentną częścią.

Utleniacz

Utleniacz – warunek trzeci – występuje zawsze i jest nim tlen zawarty w otaczającej atmosferze.

Możliwość wystąpienia wybuchu

Pary alkoholi w mieszaninie z powietrzem mogą tworzyć atmosfery wybuchowe. W sprzyjających okolicznościach, w obecności efektywnego źródła zapłonu, istnieje możliwość zainicjowania wybuchu. Jednakże w opisywanych eksperymentach wykorzystywane są stosunkowo niewielkie ilości alkoholu we względnie dużych przestrzeniach (przestrzeń pomieszczeń lub przestrzeń całkowicie otwarte), co praktycznie wyklucza możliwość powstania wybuchu. Z tego względu zagrożenie wybuchowe i ryzyka z nim związane, z punktu widzenia prowadzonych eksperymentów, można uznać za znikome.

Możliwość wystąpienia pożaru

Podczas pokazów istnieje potencjalna możliwość zainicjowania spalania i wystąpienia pożaru w wyniku samozapłonu lub zapłonu par alkoholu.

Samozapłon alkoholu

W trakcie trwania doświadczenia alkohol zwykle jest spalany w metalowym naczyniu. W wyniku spalania dochodzi do jego ogrzewania (naczynia). Aby doszło do zapalenia wlewanej nowej partii alkoholu od rozgrzanych ścianek naczynia, konieczne jest osiągnięcie przez to naczynie co najmniej temperatury samozapłonu danego alkoholu. W przypadku alkoholu etylowego, np. pod postacią denaturatu fioletowego, wartość ta wynosi 425°C [5], a w przypadku alkoholu metylowego wartość 464°C [6]. W celu określenia stopnia nagrzewania metalowego naczynia, przeprowadzono eksperyment

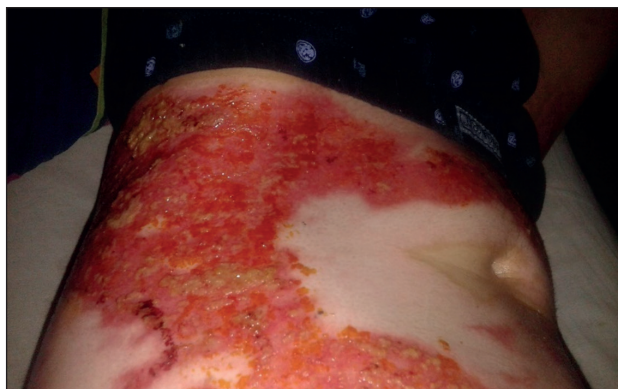
polegający na pomiarze temperatury ścianek naczynia po wcześniejszym spalaniu w nim alkoholu etylowego pod postacią denaturatu. W trakcie końcowej fazy badania zgaszono płomień i dokonano pomiaru temperatury naczynia przy pomocy pirometru. Wartość zmierzonej temperatury wynosiła 95,9°C. Jest to zbyt niska wartość, aby mogło dojść do samozapłonu par alkoholu wlewane do gorącego naczynia. Uwzględniając powyższe, można pominąć zagrożenia wynikające z obecności źródeł zapłonu w postaci gorących powierzchni.

Zapłon alkoholu

Zarówno alkohol etylowy, jak i alkohol metylowy posiadają stosunkowo niskie temperatury zapłonu. Wynoszą one dla obu alkoholi 12°C [5, 6]. W typowych warunkach prowadzenia pokazów (okres wiosenno-letni) występujące temperatury powietrza przekraczają te wartości, co powoduje że temperatura przechowywanej i stosowanej cieczy przekracza jej temperaturę zapłonu. Warunki te zapewniają, a także zwiększają jej podatność na zapłon. Dodatkowym czynnikiem zwiększającym zagrożenie jest kolor płomieni (blando-niebieski) powodujący słabą ich widoczność, głównie w warunkach dobrego poziomu oświetlenia dziennego (słonecznego). Płomienie obu spalanych alkoholi mogą nie zostać zauważone przez obserwatorów oraz przeprowadzających pokazy, co w konsekwencji może prowadzić do błędnego przeświadczenia, że alkohol w naczyniu się wypalił i konieczne jest jego uzupełnienie. W takim przypadku próba dolania (uzupełnienia) alkoholu, szczególnie z większego i zamkniętego wcześniej naczynia, może w efekcie skutkować zapłonem oraz gwałtownym wyrzutem par alkoholu z pojemnika. W konsekwencji może to doprowadzić do powstania poważnych oparzeń u uczestników pokazów, a w szczególnie niekorzystnych sytuacjach doprowadzić do zgonu.

4. SKUTKI I EFEKTY NIEPRAWIDŁOWO PRZEPROWADZONYCH POKAZÓW

W przypadku niewłaściwie przeprowadzonych pokazów istnieje ryzyko poważnego poparzenia uczestników pokazów. Zdarzenia takie miały miejsce w przeszłości. Na rys. 4. przedstawiono przykłady poparzeń odniesionych przez obserwatorów podczas opisywanych powyżej przypadków pokazów.



Rys. 4. Przykłady poparzeń odniesionych przez obserwatorów pokazów edukacyjnych
Źródło: [11].

W celu oceny skali zagrożenia związanego z niezamierzonym zapłonem par alkoholu podczas pokazu przeprowadzono eksperyment. Polegał on na odtworzeniu warunków prowadzenia pokazu z użyciem alkoholu. Na palącą się tackę wylewano alkohol z kanistra, co miało na celu zasymulowanie uzupełniania alkoholu podczas trwającego pokazu. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów stwierdzono, że:

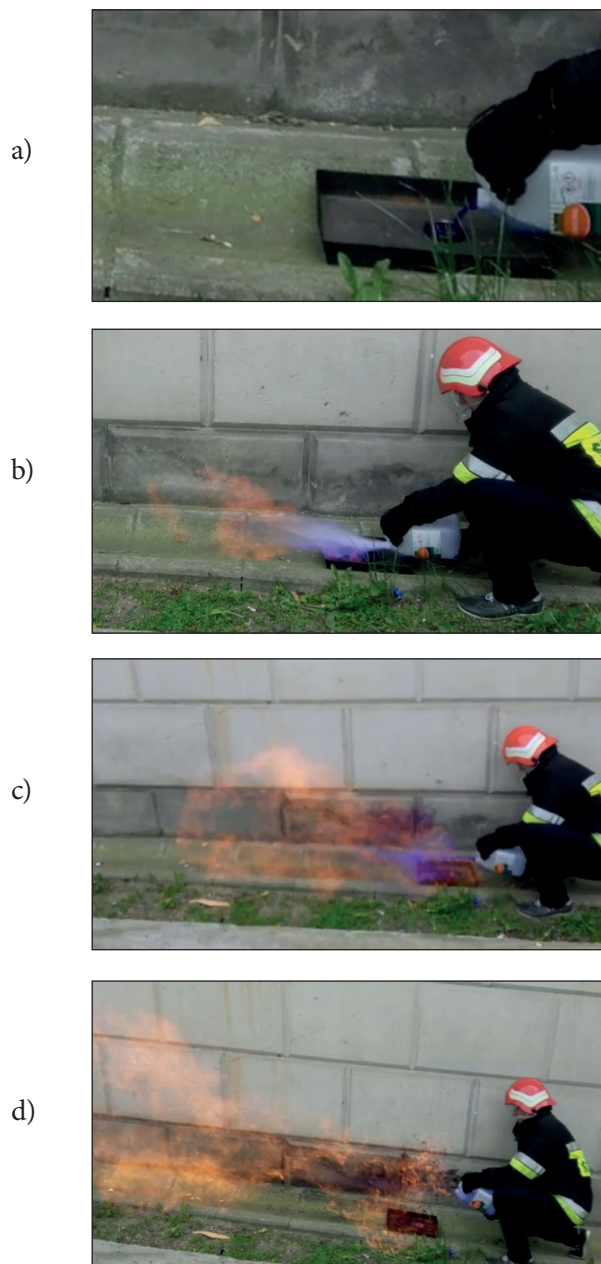
- płomień spalanego alkoholu może być niewidoczny dla prowadzących pokazy, zwłaszcza w końcowej fazie wypalania się alkoholu, spalania się resztek alkoholu w naczyniu (rys. 5.).



Rys. 5. Wypalanie się resztek alkoholu etylowego (denaturatu) – brak widocznych płomieni: na powierzchni terenu (a), w naczyniu (b) i (c), widoczne oznaki oddziaływania płomienia (d)

Źródło: opracowanie własne

- istnieje możliwość zapalenia wylewanego alkoholu, utworzenia się palącego się rozlewiska i laminarnego wypalania alkoholu,
- istnieje także możliwość zapalenia się wylewanego alkoholu, rozprzestrzenienia się płomienia do wnętrza kanistra oraz gwałtownego wyrzutu palących się par **wraz z częścią cieczy** – zasięg płomienia do kilku metrów (rys. 6. i 7.). Dotyczy to głównie, ale nie tylko, sytuacji, w których w naczyniu (kanistrze) pozostaje niewielka ilość cieczy i istnieje konieczność znacznego przechylenia kanistra w celu wylania (dolanía) alkoholu.



Rys. 6. Zapalenie się wylewanego alkoholu (kanister 5 dm³), rozprzestrzenienie się płomienia do wnętrza kanistra oraz gwałtowny wyrzut palących się par wraz z częścią cieczy – zasięg płomienia powyżej 3 metrów.

Źródło: opracowanie własne

a)



b)



c)



d)



Rys. 7. Zapalenie się wylewanego alkoholu (kanister 10 dm³), rozprzestrzenienie się płomienia do wnętrza kanistra oraz gwałtowny wyrzut palących się par wraz z częścią cieczy – zasięg płomienia ok. 5 metrów

Źródło: opracowanie własne

Z uwagi na znaczny zasięg płomienia spalanego alkoholu powyższe przypadki można uznać za najbardziej niekorzystne i niebezpieczne zarówno dla uczestników jak i prowadzących pokaz.

Przeprowadzona analiza zagrożeń i wykonany eksperyment pozwala na sformułowanie kluczowych zasad bezpiecznego wykonywania wymienionych powyżej doświadczeń z wykorzystaniem alkoholi.

5. ZASADY BEZPIECZNEGO PROWADZENIA POKAZÓW

W celu ograniczenia zagrożenia oraz zapewnienia właściwego poziomu bezpieczeństwa podczas omawianych powyżej pokazów edukacyjnych należy przestrzegać kilku **podstawowych** reguł:

- a) osoby prowadzące pokazy powinny być świadome zagrożeń (szkolenie),
- b) miejsce prowadzenia pokazów powinno być oddalone lub oddzielone od obserwatorów,
- c) należy wyposażyć miejsce pokazów w odpowiedni sprzęt gaśniczy (odpowiednia gaśnica dobrana pod kątem występujących w miejscu pokazu materiałów palnych, w tym cieczy palnych; zalecane jest także uzupełnienie zabezpieczenia miejsca pokazów kocem gaśniczym),
- d) osoby prowadzące pokaz powinny umieć posługiwać się ww. sprzęt gaśniczym (szkolenie),
- e) zapas alkoholu nie powinien być przechowywany bezpośrednio przy stanowisku pokazowym,
- f) nie należy przechowywać innych materiałów palnych w bezpośredniej bliskości stanowiska pokazowego,
- g) zalecane jest aby w pokazach wykorzystywać pojemniki i naczynia metalowe,
- h) nie należy uzupełniać naczyń pokazowych alkoholem bezpośrednio z opakowań handlowych typu kanister, butelka itp.,
- i) należy upewnić się, że w naczyniu wypaliła się poprzednia porcja alkoholu (sprawdzenie przy wykorzystaniu różnych zmysłów wzrok, słuch, dotyk),
- j) nie należy przeprowadzać kolejnego eksperymentu bezpośrednio po zakończeniu poprzedniego,
- k) należy uzupełniać alkohol posługując się małymi, otwartymi naczyniami (np. zlewki laboratoryjne).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Manipulowanie cieczami palnymi niesie ze sobą szeroki wachlarz zagrożeń różnorodnej natury – od toksycznych po pożarowe i wybuchowe. Zagrożenia te wynikają głównie z właściwości fizykochemicznych tych cieczy, a także z warunków ich stosowania. W przypadku stosowania małych ilości cieczy, zagrożenia z nimi związane mogą wydawać się znikome. Do przypadków takich można zaliczyć stosowanie alkoholi w doświadczeniach laboratoryjnych i pokazach edukacyjnych, takich jak pokazy „kolorowych płomieni” czy „ogniste tornado”. Pomimo stosowania w ww. pokazach względnie małych ilości cieczy palnych, skutki ich niewłaściwego przeprowadzenia, tj. skutki zapłonu par alkoholi mogą być poważne zarówno dla osób prowadzących pokaz, jak i dla pozostałych jego uczestników.

W artykule zidentyfikowano i przeanalizowano typowe zagrożenia pożarowo-wybuchowe związane z wykorzystaniem palącego się alkoholu podczas wybranych doświadczeń i pokazów edukacyjnych z udziałem publiczności. W oparciu o znajomość przebiegu pokazów oraz przeprowadzoną analizę zagrożeń sformułowano podstawowe zasady bezpiecznego przeprowadzania opisywanych eksperymentów. Uwzględnienie podczas pokazów przedstawionych powyżej zasad powinno ograniczyć zagrożenia oraz zmniejszyć ryzyko z nimi związane i tym samym zapewnić właściwy poziom bezpieczeństwa jego uczestnikom.

LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 10 sierpnia 2012 r. w sprawie kryteriów i sposobu klasyfikacji substancji chemicznych i ich mieszanin (tj. DzU z 2015 r., poz. 208).
- [2] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (DzU nr 109, poz. 719).
- [3] PN-EN 1127-1 Atmosfery wybuchowe. Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem. Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka.
- [4] NFPA 77 Recommended Practice on Static Electricity, 2014 Edition.

- [5] Karta charakterystyki substancji niebezpiecznej i preparatu niebezpiecznego DENATURAT PLUS fioletowy, wydanie 2 z 15 marca 2013 r., Akwawit Polmos Wrocław.
- [6] Karta charakterystyki substancji chemicznej, z 22 grudnia 2014 r., AVANTOR Performance Materials.
- [7] www.portalnaukowy.edu.pl, dostęp: 15.06.2016 r.
- [8] www.chemistry.about.com, dostęp: 15.06.2016 r.
- [9] www.chemistry.about.com, dostęp: 15.06.2016 r.
- [10] www.dguv.de/ifa/GESTIS/GESTIS-DNEL-Datenbank/index-2.jsp, dostęp: 15.06.2016 r.
- [11] <http://warszawawpigulce.pl/zostali-dotkliwie-poparzeni-szukaja-swiadkow-zdarzenia-uwaga-drastyczne-zdjecia/>, dostęp: 15.06.2016 r.