

mł. kpt. mgr inż. Andrzej CIOSK
Komenda Miejska w Jeleniej Górze
mł. bryg. dr inż. Andrzej MIZERSKI
SGSP, Katedra Podstaw Rozwoju i Gaszenia Pożarów
Zakład Środków Gaśniczych

BADANIA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA PIANOTWÓRCZYCH ŚRODKÓW GAŚNICZYCH DO WYTWARZANIA PIAN DEKONTAMINACYJNYCH

W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości pian wytworzonych z pianotwórczych środków gaśniczych, z dodatkami utleniającymi, stosowanych w akcjach ratowniczych do likwidacji skażeń substancjami toksycznymi i niebezpiecznymi. Piany wytwarzano za pomocą specjalnego urządzenia laboratoryjnego, które przy niewielkim nadciśnieniu dopływającego powietrza umożliwia wytwarzanie jednorodnych, drobnopełcherzykowych, stabilnych pian, podobnych do tzw. pian suchych otrzymywanych za pomocą pożarniczych urządzeń CAFS. Uzyskano piany o właściwościach utleniających i wysokiej stabilności. Potwierdzono możliwość wytwarzania pian dekontaminacyjnych za pomocą środków dostępnych w jednostkach ratowniczo-gaśniczych PSP.

In the paper authors present results of the research of foams properties generated from different foaming agent solutions, containing addition of oxidizing agents, applied in firefighting operations for suppression of contamination by toxic and dangerous substances. Foams were generated by means of special laboratory device, where at low positive pressure, it is possible to produce stable and homogeneous foams. They are similar to dry foams, which can be generated using CAFS device. Foams with good oxidizing properties and acceptable stability were obtained. It was confirmed, that there is the possibility to generate decontaminating foams from foaming agents available in almost each firefighting unit.

Wstęp

Ostatnie lata przyniosły realne zagrożenia działaniami terrorystycznymi z użyciem np. bojowych środków trujących lub broni biologicznej. Na przełomie lat 2001–2002 miało miejsce w USA kilka celowych skażeń przetrwalnikami wąglika. Także w Polsce w tym samym czasie straże pożarne wielokrotnie wyjeżdżały do miejsc podejrzanych o skażenie biologiczne. Wtedy były to fałszywe alarmy. Zdarzenia te uświadomiły jednak służbom ratowniczym konieczność przygotowania się do rozpoznawania i usuwania silnie toksycznych, chorobotwórczych lub

radioaktywnych skażeń. W przypadkach skażeń spowodowanych działaniami terrorystycznymi należy liczyć się z koniecznością dekontaminacji dużych powierzchni lub kubatur.

Środki i techniki chemicznej dekontaminacji skażeń stosowane w działaniach ratowniczych PSP

Toksyczne lub szkodliwe substancje chemiczne, które na skutek awarii wydoły się ze zbiorników lub instalacji, zbiera się przede wszystkim metodami mechanicznymi i za pomocą sorbentów. Nie zapewnia to jednak całkowitej likwidacji skażenia. Skażony grunt lub niewielkie przedmioty można zebrać i poddać dekontaminacji w innym miejscu. To samo dotyczy sprzętu i odzieży ochronnej stosowanych w działaniach ratowniczych. Kiedy jednak skażeniu uległy konstrukcje, utwardzone podłoże lub powierzchnie budynków, niezbędna jest chemiczna dekontaminacja na miejscu akcji. Stosowane są do tego substancje, które w wyniku reakcji z niebezpieczną substancją tworzą nietoksyczne lub mniej toksyczne produkty.

W działaniach likwidacji skażeń metodami chemicznymi wykorzystywane są procesy odpowiednie do rodzaju substancji, a w tym:

- neutralizacja (zobojętnianie) – reakcja kwasu z zasadą;
- reakcje utleniania – redukcji;
- hydroliza;
- inne specyficzne reakcje chemiczne.

W reakcjach neutralizacji stosowane są kwasy: chlorowodorowy, siarkowy (VI) lub octowy, wodorotlenki: sodu, potasu lub wapnia oraz substancje słabo zasadowe: węglan i wodorowęglan sodu.

W charakterze utleniaczy stosowane mogą być: podchloryn sodu – NaOCl, zasadowy podchloryn wapnia – $3\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 2\text{Ca}(\text{OH})_2$, wapno chlorowane (podchlorynochlorek wapnia) – CaOCl_2 oraz nadtlenek wodoru – H_2O_2 .

Hydrolizie ulega wiele substancji niebezpiecznych, a w tym: bezwodniki i chlorki kwasowe, estry, izocyjaniany, cyjaniany, izocyjanki, nitryle. Takim sposobem można również unieszkodliwiać niektóre bojowe środki trujące. Procesy hydrolizy często łączone są z utlenianiem.

Wśród reakcji specyficznych wymienić można kompleksowanie jonów cyjanokowych za pomocą siarczanu żelaza (II), reakcje strącania, a także dysproporcjonowania, jaką jest reakcja wodorowęglanu sodu z bromem.

Stałe środki likwidacji skażeń rozsypuje się na miejscu skażenia lub stosuje w postaci zawiesin wodnych, co pozwala na zwiększenie szybkości reakcji chemicznych i odkażanie powierzchni pionowych. Większą skuteczność działań przynosi stosowanie reagentów w postaci roztworów wodnych lub emulsji. Ten ostatni przypadek ma miejsce, gdy substancja stosowana do likwidacji skażenia nie rozpuszcza się w wodzie. Niezbędne jest wówczas dodatkowe użycie surfaktantów,

a niekiedy także dodatkowo rozpuszczalnika organicznego, np. etanolu. Roztwory i emulsje nanoszone są na skażone powierzchnie prądem rozproszonym.

Ostatnie lata przyniosły doniesienia o zastosowaniu pian do likwidacji skażeń chemicznych i biologicznych [1÷5].

Korzyści wynikające z zastosowania pian do dekontaminacji

Piany wytworzone z pożarniczych środków pianotwórczych nie mają chemicznego działania. Ich składniki nie wchodzi w reakcje chemiczne z usuwanymi substancjami. Mogą jednak one ułatwiać usuwanie skażeń z powierzchni, dzięki działaniu zawartych w nich surfaktantów, poprzez procesy emulgowania i solubilizacji. Dotyczy to szczególnie substancji organicznych, trudno rozpuszczalnych w wodzie. Jeżeli jednak piana zawiera składniki mogące reagować z likwidowaną substancją, wówczas taki sposób dekontaminacji ma wiele zalet, a w tym:

- dłuższy czas reakcji, co może zapewnić wyższą skuteczność dekontaminacji;
- możliwość znacznie dłuższego, w porównaniu z roztworami, utrzymywania się na powierzchniach pionowych i stropach;
- możliwość zmniejszenia stężenia, a więc i zużycia chemicznych środków likwidacji skażeń, które same są na ogół również substancjami niebezpiecznymi;
- łatwość kontrolowania przebiegu dekontaminacji dzięki łatwej lokalizacji miejsca naniesienia piany, czego nie ma w przypadku stosowania roztworów;
- zawarte w pianie surfaktanty ułatwiają usuwanie skażenia z powierzchni;
- warstwa piany zabezpiecza przed przedostawaniem się do atmosfery par likwidowanej substancji.

Specjalne piany dekontaminacyjne

W 1999 r. pojawił się na rynku preparat DF-200 opracowany przez Sandia National Laboratories (USA), służący do wytwarzania pian dekontaminacyjnych. Składa się on z dwóch oddzielnych roztworów:

- koncentratu pianotwórczego, którego głównym surfaktantem jest kationowo czynny chlorek benzylodimetyloalkiloamoniowy. Jest to mieszanina związków zawierających grupy alkilowe o długości łańcucha 12, 14 i 16;
- wodnego roztworu nadtlenu wodoru o stężeniu ok. 30%. [1]

Z preparatu DF-200 otrzymywano stabilne piany o liczbach spienienia od 20 do 100, zależnie od rodzaju zastosowanego urządzenia pianotwórczego, utrzymujące się na dekontaminowanych powierzchniach nawet kilka godzin. W badaniach piany te wykazały dobrą skuteczność przy likwidacji bojowych środków trujących (stosowano zamienniki iperytu, somanu i VX) [2, 3]. Piana ta ma także dobre właściwości dekontaminacyjne w stosunku do wielu toksycznych środków przemysłowych, a w tym: amoniaku, chloru, fosgeny, disiarczku węgla, izocyjanianu butylu, cyjanku sodu, cyjanowodoru, malationu (insektycyd fosforoorganiczny) [3]. Prze-

prorowadzone badania skuteczności dekontaminacji skażeń biologicznych wykazały wysoką skuteczność niszczenia zamienników węgla i bakterii dżumy – 99,99999% w ciągu godziny [3]. W tych samych badaniach stwierdzono bardzo wysoką skuteczność niszczenia wirusa SARS.

W 2002 r. na konferencji „DECON 2002” w San Diego zaprezentowano kanadyjską pianę dekontaminacyjną „CASCAD FOAM” [4]. W testach przeprowadzonych w wielu krajach uzyskano 99,99999% redukcję zamiennika węgla już po 5 minutach. Badano także skuteczność obu pian przy likwidacji broni chemicznej: iperytu siarkowego (HD), sarinu (GD) i O-etylo-5-(N,N-diizopropylaminoetylo) metylofosfonianu (VX). SANDIA. CASCAD FOAM już po 10 minutach powodowała prawie 100% likwidację skażenia [4].

Firma NATIONAL FOAM oferuje zestaw ALL-CLEAR™ do utylizacji broni chemicznej i biologicznej, rekomendowany przez The Edgewood Chemical Biological Center (ECBC). Składa się on z trzech oddzielnych zbiorników zawierających: gotowy roztwór środka pianotwórczego, odmierzoną ilość czynnika zasadowego i odmierzoną ilość enzymów [5].

Firma ALLEN VANGUARD oferuje środek SDF™ (Surface Decontamination Foam) do wytwarzania pian przeznaczonych do działań dekontaminacyjnych oraz do tłumienia energii ładunków wybuchowych [6].

Skuteczną oraz ekologiczną technologię dekontaminacji z użyciem piany oferują firmy SCHMITZ oraz DAIMLER CHRYSLER AEROSPACE/DROINER [7]. Do dekontaminacji skażenia substancjami ropopochodnymi oraz toksycznymi środkami przemysłowymi zastosowano pianę wytwarzaną z koncentratów surfaktantów nie zawierających rozpuszczalników. Poprawę zdolności dekontaminacyjnych zapewnia zawartość pewnej ilości substancji utleniających oraz innych chemikaliów pomocniczych. Do likwidacji skażeń bojowymi środkami trującymi i biologicznymi oferowana jest wodno-olejowa emulsja o dużych zdolnościach ekstrakcyjnych, w której głównym rozpuszczalnikiem jest ksylen. Emulsja dozowana jest do roztworu pianotwórczego bezpośrednio przed wytworzeniem piany. Firma SCHMITZ proponuje swój system CAFS o nazwie ONE SEVEN.

Badania właściwości pian z dodatkami utleniaczy

Do wytwarzania pian dekontaminacyjnych potrzebne są specjalne koncentraty, na ogół dwa rodzaje. Jeden z nich jest koncentratem pianotwórczym, drugi służy do nadawania pianie właściwości utleniających lub bakteriobójczych. Z jednej strony jest to wygodne, bo dysponując odpowiednim sprzętem można w każdej chwili przystąpić do działań dekontaminacyjnych, z drugiej strony, oczywiste są ujemne strony takiego rozwiązania:

- trzeba zakupić odpowiednią ilość takich środków, biorąc pod uwagę możliwości zwalczania dużych zagrożeń, stosowania dekontaminacji masowych i zapewnienia odpowiednich zapasów;

- dekontaminacje masowe i zwalczanie skażeń bronią chemiczną i biologiczną są działaniami, które obecnie (na szczęście) są tylko planowane i ćwiczone. W powojennej historii świata niewiele było przypadków, w których istniałaby konieczność prowadzenia takich działań na dużą skalę. Trzeba jednak, licząc się z zagrożeniem, ponieść koszty zakupu środków i czasami odpowiedniego sprzętu, które nie będą używane, a po okresie gwarancyjnym będą musiały ulec wymianie lub zostać poddane badaniom przydatności.

W rutynowych działaniach przy likwidacji skutków zdarzeń związanych z uwolnieniem substancji niebezpiecznych, straż pożarna stosują w charakterze utleniacza zasadowy roztwór podchlorynu sodu, rzadziej roztwór nadtlenu wodoru. W przypadkach, gdy skażenie jest trudno rozpuszczalne w wodzie, można posłużyć się jednym z kilku dostępnych preparatów do zmywania zanieczyszczeń olejowych, a w razie ich braku, pianotwórczym środkiem gaśniczym typu S lub klasy A. Przynajmniej jeden taki środek ma każda jednostka PSP. W ramach posiadanych środków technicznych można próbować wytworzyć pianę ze środka pianotwórczego z dodatkiem jednego z utleniaczy – podchlorynu sodu lub nadtlenu wodoru. Przykład piany DF-200 świadczy, że przynajmniej w przypadku dodatków nadtlenu wodoru powinno to być możliwe. Wstępne próby wytwarzania metodami laboratoryjnymi pian z dodatkami podchlorynu sodu dowiodły, że jest to możliwe przy użyciu środków pianotwórczych typu S i klasy A [8]. Jeżeli przy tym dysponuje się urządzeniem typu CAFS lub innym działającym na podobnej zasadzie (np. wytwornica silnikowa), możliwe jest wytworzenie pian o dużej stabilności [9, 10, 11]. Piany takie mogłyby być wytwarzane z roztworu środka pianotwórczego z dodatkiem odpowiedniego środka dekontaminacyjnego, zmieszanych bezpośrednio przed spienieniem – w oddzielnym zbiorniku lub poprzez dozowanie dodatku do strumienia roztworu pianotwórczego. Zbyt wczesne sporządzanie roztworów lub wprowadzanie utleniaczy do koncentratu pianotwórczego prowadziło do zmniejszenia lub zaniku zdolności pianotwórczych, gdyż utleniacze mogą reagować z surfaktantami i składnikami pomocniczymi.

W prezentowanej pracy przeprowadzono próby wytwarzania pian w warunkach laboratoryjnych z pianotwórczych środków gaśniczych z dodatkami utleniaczy.

Charakterystyka stosowanych utleniaczy

Podchloryn sodu (NaOCl)

Jest substancją stałą koloru białego. W tym stanie jest bardzo nietrwały i rozkłada się wybuchowo. Bardziej trwały jest w formach uwodnionych: $\text{NaOCl} \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ lub $\text{NaOCl} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Do obrotu dopuszczony jest tylko w postaci roztworów wodnych o różnych stężeniach. Roztwory o stężeniach większych od 85% rozkładają się wybuchowo po ogrzaniu do temperatury powyżej 70 °C. W rozcieńczonych roz-

tworach może występować w obecności równocząsteczkowych ilości chlorku sodu, który powstaje jako drugi produkt reakcji gazowego chloru z wodorotlenkiem sodu. Podchloryn sodu jest silnym utleniaczem, reagującym, często gwałtownie z wieloma substancjami, wydzielając m.in. chlor, tlen i ditlenek chloru. Wchodzi w burzliwe reakcje m. in. z celulozą, solami amonowymi i aminami.

Nadtlenek wodoru (H₂O₂)

Czysty nadtlenek wodoru jest lepką bezbarwną cieczą. W takim stanie jest trwały i rozkłada się dopiero w temperaturze wrzenia (153 °C). Dobrze rozpuszcza się w wodzie i etanolu. Roztwory są w zasadzie też trwałe, jednak rozkład może zachodzić pod wpływem światła, szczególnie w obecności różnego rodzaju zanieczyszczeń. Rozkład może być hamowany poprzez dodatek inhibitorów – kwasów organicznych i kwasu fosforowego. W handlu dostępny jest w postaci 3% roztworu wodnego (woda utleniona) lub roztworu 30% (perhydrol). Jest utleniaczem, ale w obecności silnych utleniaczy, np. nadmanganianu potasu zachowuje się jak reduktor.

Utleniacze dodane do roztworów środków pianotwórczych będą reagowały ze składnikami roztworu. Znajdujące się w koncentratkach pianotwórczych surfaktanty anionowe często występują w postaci soli amonowych. Niektóre surfaktanty i stabilizatory pian zawierają w swych cząsteczkach grupy aminowe i amidowe, z którymi łatwo reaguje podchloryn sodu. Dlatego stężenia utleniaczy w roztworach pianotwórczych muszą być na tyle niskie, by możliwe było wytworzenie z roztworu piany o dobrej stabilności, a jednocześnie wystarczające do zachowania właściwości utleniających.

Do badań używano technicznego roztworu podchlorynu sodu o stężeniu ok. 15%, stabilizowanego wodorotlenkiem sodu oraz roztworu nadtlenku wodoru o stężeniu ok. 30%, oznaczonego jako *czysty*. Przeprowadzono próby określenia użytecznego stężenia tych utleniaczy w roztworach pianotwórczych, stosując jodek potasu oraz błękit tymolowy w charakterze wskaźników zdolności utleniających. Błękit tymolowy jest wskaźnikiem alkacymetrycznym zmieniającym barwę od czerwonej (pH = 1), poprzez żółtą (pH = 3÷9), do niebieskiej (pH = 12÷14). Poddany działaniu utleniaczy odbarwia się. Paski bibuły filtracyjnej o wymiarach 15 × 80 mm zanurzano w 10% roztworze jodku potasu lub 1% roztworze błękitu tymolowego i po wyjęciu suszono w temperaturze pokojowej. Następnie наносzono na nie po kropli roztworów wodnych badanych utleniaczy o różnych stężeniach, notując czas pojawienia się brunatnoczerwonego zabarwienia, charakterystycznego dla wolnego jodu lub odbarwienia, w przypadku błękitu tymolowego. Próby zaczynano od 1% roztworu podchlorynu sodu i 6% roztworu nadtlenku wodoru, a kolejne roztwory wykonywano metodą dwukrotnych rozcieńczeń. Wyniki prób przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1.
**Zdolności utleniające roztworów podchlorynu sodu i nadtlenu wodoru
w stosunku do jodku potasu**

utleniacz	stężenie roztworu [%]	czas zmiany zabarwienia, [s]	
		jodek potasu	błękit tymolowy
NaOCl	1,0	0	0
	0,5	0	0
	0,25	0	0
	0,125	0	0
	0,063	0	0
	0,031	2	4
	0,015	6	8
	0,008	10	12
H ₂ O ₂	6,0	4	6
	3,0	5	8

Podchloryn sodu jest znacznie silniejszym utleniaczem niż nadtlenek wodoru. Biorąc więc pod uwagę długi czas kontaktu piany dekontaminacyjnej ze skażeniem, można zastosować stosunkowo niskie stężenie utleniacza w roztworze, gdyby okazało się, że przy wysokich stężeniach zdolności pianotwórcze są niewystarczające lub pogarsza się trwałość piany.

Badane środki pianotwórcze

Jednym z założeń prezentowanej pracy było to, że piany dekontaminacyjnej powinna być wytwarzana z powszechnie dostępnych środków pianotwórczych i utleniaczy. W codziennych działaniach PSP stosowane są dwa rodzaje środków pianotwórczych na bazie syntetycznych, nie fluorowanych surfaktantów węglowodorowych. Są to środki typu S i klasy A. Do badań wytypowano dwa środki typu S, często stosowane przez PSP i dwa klasy A. Na potrzeby dalszego opisu oznaczone zostały symbolami: S1, S2, A1, A2. Wszystkie przedstawione niżej informacje o środkach pianotwórczych zaczerpnięte zostały z materiałów informacyjnych producentów.

S1 jest krajowym, uniwersalnym środkiem pianotwórczym, zawierającym w charakterze rozpuszczalnika organicznego eter monobutyłowy glikolu dietylenowego (butylokarbitol). Jest to jasnożółta ciecz o gęstości 1,04÷1,08 g/cm³ w temperaturze 20 °C i pH w zakresie 8÷9. Zalecane stężenie robocze przy wytwarzaniu pian ciężkich – 3%.

S2 zawiera butanol. Jego gęstość w temperaturze 20 °C wynosi 0,90÷0,98 g/cm³, a pH 6,9÷7,9. Do wytwarzania pian ciężkich zaleca się stężenie roztworu 3,5%. Jest to także środek produkcji krajowej.

A1 jest amerykańskim środkiem pianotwórczym opracowanym z myślą o gaszeniu pożarów lasów. Przeznaczony jest więc przede wszystkim do gaszenia pożarów grupy A. W takich przypadkach jego zalecane stężenie robocze wynosi $0,1 \div 1,0\%$, zależnie od tego, czy stosowany jest w charakterze zwilżacza, do wytwarzania piany mokrej, czy suchej, przy użyciu urządzeń typu CAFS. Przy gaszeniu pożarów cieczy stężenie roztworu musi być wyższe. Jest cieczą o barwie jasno-żółtej, gęstości $1,010 \pm 0,006 \text{ g/cm}^3$ w temperaturze $25 \text{ }^\circ\text{C}$, i pH $7,0 \div 8,5$. Zawiera wysokoaktywne surfaktanty. Napięcie powierzchniowe roztworu o stężeniu $0,1\%$ wynosi $25,7 \text{ mN/m}$.

A2 jest niemieckim środkiem klasy A, służy jednak do wytwarzania wszystkich rodzajów pian, a także w charakterze zwilżacza. Jest jasnozieloną cieczą o gęstości $1,02 \div 1,06 \text{ g/cm}^3$ w temperaturze $20 \text{ }^\circ\text{C}$ i pH $7,0 \div 8,0$. Nadaje się do stosowania we wszystkich urządzeniach pianotwórczych.

Wszystkie stosowane w badaniach środki pianotwórcze charakteryzowane są przez producentów jako przyjazne dla środowiska i łatwo biodegradowalne.

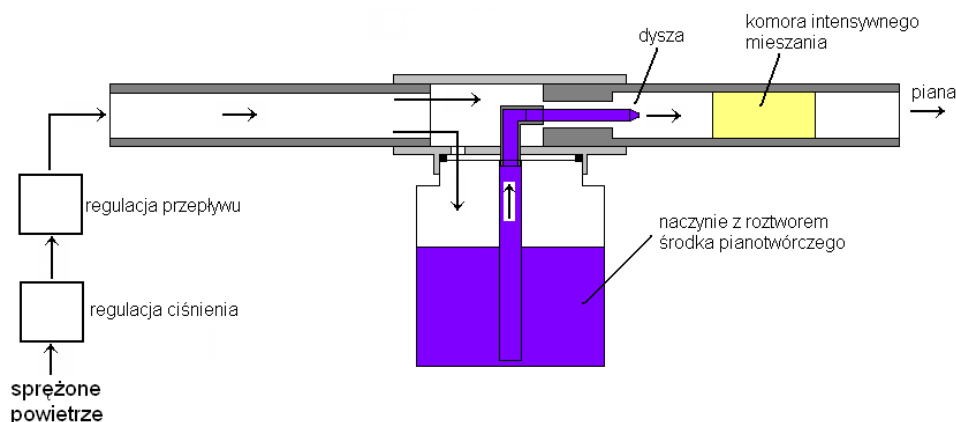
Metoda wytwarzania pian

Piany dekontaminacyjne powinny być bardzo stabilne, aby kontakt ze skażoną powierzchnią był odpowiednio długi. Wśród urządzeń pożarniczych takie cechy mają piany tzw. *suche* z urządzeń CAFS oraz piany średnie wytwarzane za pomocą wytwornic pian [9]. Badania pian w warunkach laboratoryjnych za pomocą normalnego sprzętu, mimo małej skali, związane są ze zużyciem dość dużych ilości roztworów pianotwórczych. Nie ma także urządzeń laboratoryjnych typu CAFS. W Zakładzie Środków Gaśniczych SGSP opracowano urządzenie, za pomocą którego można wytwarzać piany drobnopęcherzykowej o właściwościach zbliżonych do pian otrzymywanych za pomocą urządzeń CAFS [12]. Schemat urządzenia przedstawiono na rys. 1.

Strumień powietrza o określonym ciśnieniu i wydajności dopływa do urządzenia, przepływając wokół dyszy rozpylającej roztwór pianotwórczy, który jest wytłaczany z naczynia do dyszy przez część skierowanego tam powietrza. Mieszanina rozpylonego roztworu i powietrza przepływa przez komorę z wypełnieniem, gdzie następuje spienienie i intensywne mieszanie piany, która w strumieniu wylotowym jest bardzo jednorodna i drobnopęcherzykowa.

W naczyniu urządzenia spieniającego umieszczano 300 cm^3 roztworu środka pianotwórczego w wodzie wodociągowej o temperaturze $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Stężenia środków typu S wynosiły 2 i 4%, a klasy A 0,5, 1 i 2%. Stężenia dodatków utleniających wynosiły: podchlorynu sodu 0,5%, nadtlenu wodoru 3 i 6%. Substancje utleniające dodawane były do roztworów środków pianotwórczych bezpośrednio przed umieszczeniem w urządzeniu spieniającym. Czas od sporządzenia roztworów do momentu pobrania piany do badania wynosił $2 \div 3 \text{ min}$. Pianę pobierano do dwóch oddzielnych naczyń.

W jednym mierzono liczbę spienienia, a w drugim, według PN-EN 1568, badano przebieg wyciekania roztworu z piany.



Rys. 1. Laboratoryjne urządzenie do wytwarzania pian drobno-bęcherzykowych

Wyniki pomiarów

W tab. 2. zamieszczono wyniki pomiarów. Nie ma tu wyników nieudanych prób, jakie miały miejsce przy wyższych stężeniach podchlorynu sodu i przy niższych stężeniach roztworów pianotwórczych typu S.

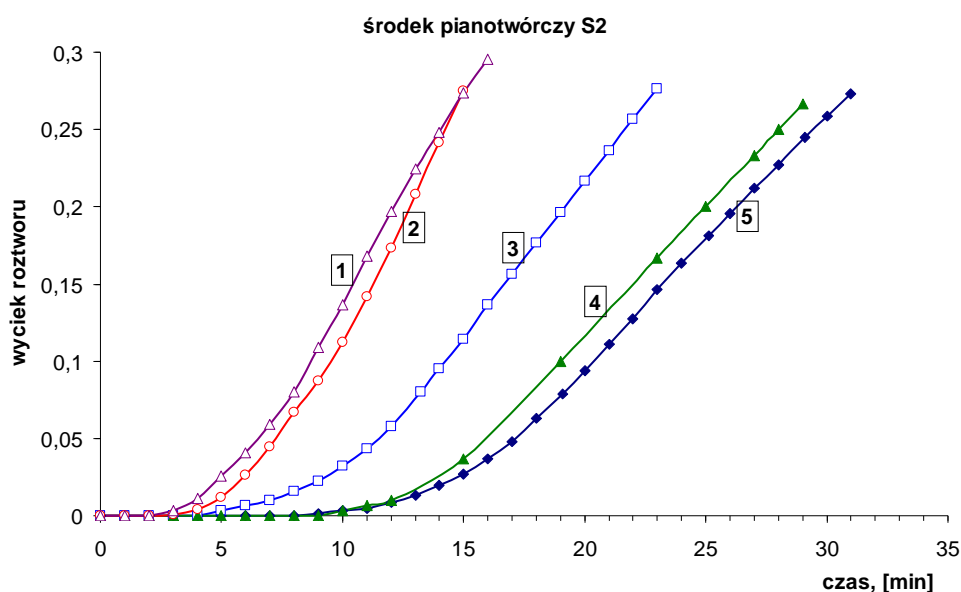
Badania wykazały, że piany są znacznie bardziej wrażliwe na dodatki podchlorynu sodu niż nadtlenu wodoru. Mimo stosunkowo niskiego stężenia podchlorynu, we wszystkich przypadkach odnotowano pogorszenie właściwości pian, za wyjątkiem środka pianotwórczego S2. Najbardziej wrażliwa okazała się w tym przypadku piana A2, której stabilność była stosunkowo niska, ale porównywalna ze stabilnością typowych pian ciężkich przeznaczonych do gaszenia pożarów cieczy. Dodatki nadtlenu wodoru nie wpływały negatywnie na właściwości pian, za wyjątkiem środka A2, który przy stężeniu 2% miał tylko nieznacznie niższą trwałość. W pozostałych przypadkach trwałość pian z dodatkiem nadtlenu wodoru była wyższa niż pian bez dodatku. Wśród pian dekontaminacyjnych najwyższą trwałość miała piana 4% roztworu środka S1 z 3% dodatkiem nadtlenu wodoru. Wartość dwudziestopięcioprocentowa równa 33 minuty oznacza, przy typowym przebiegu dalszej części wyciekania, wartość połówkową około 50 minut. Oprócz zawartych w tab. 2. parametrów pian jest jeszcze jeden, nienormatywny. Jest to tzw. czas zatrzymania, definiowany jako czas pojawienia się pod warstwą piany pierwszych kropli wydzielonego roztworu. Jest to właściwość bardzo ważna w przypadku pian dekontaminacyjnych. Dla obu pian typu S czasy zatrzymania były dłuższe niż dla pian klasy A. Na rys. 2. przedstawiono przebieg wyciekania

pian ze środka pianotwórczego S1. Jak widać, czasy zatrzymania najbardziej stabilnych pian wynoszą około 9 minut.

Tabela 2.

Właściwości pian z dodatkami utleniaczy Ls – liczba spienienia;
W₅ – wartość pięciominutowa; W_{25%} – wartość dwudziestopięcioprocentowa

Środek pianotwórczy	c [%]	dodatek	Ls	W ₅ [%]	W _{25%} min]
A – 1	0,5	–	16,0	11,8	8,1
	1,0	–	22,4	3,1	13,5
		3% H ₂ O ₂	24,2	0,3	18,5
	2,0	–	34,6	0,0	27,1
		3% H ₂ O ₂ 0,5% NaOCl	34,6 27,7	0,0 0,0	29,0 22,1
A – 2	0,5	–	15,0	32,7	3,9
	1,0	–	22,7	2,1	13,0
		3% H ₂ O ₂	23,5	0,1	14,8
	2,0	–	29,1	0,0	23,5
		3% H ₂ O ₂ 0,5% NaOCl	29,8 29,5	0,0 7,7	22,0 8,9
S – 1	2,0	–	30,2	1,2	15,8
		3% H ₂ O ₂	30,0	0,0	16,3
	4,0	– 3% H ₂ O ₂ 0,5% NaOCl	37,6 38,8 22,7	0,0 0,0 0,1	30,7 33,0 21,5
S – 2	2,0	–	25,0	2,6	14,0
		3% H ₂ O ₂	25,5	0,3	21,8
		0,5% NaOCl	13,4	1,2	14,2
	4,0	–	26,4	0,0	28,0
		3% H ₂ O ₂ 6% H ₂ O ₂	26,3 31,0	0,0 0,0	29,5 29,0



Rys. 2. Kinetyka wyciekania roztworów z pian

1 – $c = 2\%$; bez dodatku; $L_s = 25,0$

2 – $c = 2\%$; 2% NaOCl; $L_s = 13,4$

3 – $c = 2\%$; 3% H₂O₂; $L_s = 25,5$

4 – $c = 4\%$; bez dodatku; $L_s = 26,3$

5 – $c = 4\%$; 3% H₂O₂; $L_s = 26,3$

Piany wytwarzane były bezpośrednio po sporządzeniu roztworów. Roztwory z dodatkami podchlorynu sodu z upływem czasu miały coraz mniejsze zdolności pianotwórcze i mało stabilne piany. Można jednak jeszcze obniżyć stężenie podchlorynu w roztworze pianotwórczym, zachowując jego zdolności utleniające (tab. 1). Mniejsza szybkość reakcji utleniania może być zrekompensowana dłuższym czasem reakcji w przypadkach, gdy większa będzie stabilność piany. Sprawdzono to dla środka pianotwórczego S1 przy stężeniu podchlorynu równym 0,2%, wytwarzając pianę bezpośrednio po sporządzeniu roztworu i po dwóch godzinach. Obie piany miały bardzo zbliżone właściwości.

Wnioski

- Badania wykazały, że możliwe jest wytwarzanie pian dekontaminacyjnych z roztworów środków pianotwórczych typu S i klasy A, z dodatkami utleniającymi.
- Dodatki podchlorynu sodu powodują zmniejszenie liczby spienienia pian i na ogół obniżenie ich trwałości. Przy stężeniu 0,5% podchlorynu sodu w roztworach pianotwórczych otrzymywano trwałe piany, za wyjątkiem jednego środka klasy A.

- Dodatek nadtlenu wodoru w większości przypadków nie miał negatywnego wpływu na właściwości pian. W kilku przypadkach uzyskano piany trwalsze i o wyższych liczbach spienienia niż bez dodatku. Możliwe jest też stosowanie wyższych stężeń nadtlenu wodoru.

S U M M A R Y

Andrzej CIOSK, Andrzej MIZERSKI

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF FOAMING AGENTS APPLICATION TO GENERATE DECONTAMINATION FOAMS

Synthetic foam concentrates S and A classes can be selected on basis on laboratory tests. The best performances of foams for chemical neutralization can be obtained using CAFS-like methods. There is also easy way of generation and application of neutralizing foams by low cost devices producing high stable foams at low delivery rates, and using on site prepared solutions of foam and neutralizing concentrates. Application of foams with appropriate neutralizing additives may be suitable for removing of military chemicals and biological contamination, however this possibility must be verified in further research.

PIŚMIENNICTWO

1. Technical Report. Formulations for the Decontamination and Mitigation of CB Warfare Agents, Toxic Hazardous Materials, Viruses, Bacteria and Bacterial Spores.
http://www.deconsolutions.com/pdf_Files/TECHNICAL%20REPORT%20M OD2003-1012-G.pdf; luty 2003.
2. Materiały informacyjne Sandia National Laboratories,
<http://www.sandia.gov/SandiaDecon/demos/demo1.htm> (14.03.2000).
3. Materiały informacyjne firmy MODEC, 06.2004.
http://www.deconsolutions.com/pdf_Files/MDF-200%20Data%20Sheet.pdf
4. <http://www.asanltr.com/newsletter/03-1/articles/031a.htm>; ASA Inc., (14.01.2005).
5. <http://www.usgn.com/allclear.html>; (17.02.2006).
6. http://www.vanguardresponse.com/products_decon_blast.shtml; 2005.
7. Materiały reklamowe firm SCHMITZ oraz DAIMLER CHRYSLER AEROSPACE,
<http://www.schmitz.wroclaw.pl/dokumenty/dekontaminacja.pdf>
8. Mizerski A., Sobolewski M., Langner M.: Zastosowanie pian do usuwania skażeń chemicznych. Konferencja „DEKONTAM 2004”, Ostrawa, 11–13.09. 2004.

9. Sobolewski M., Mizerski A.: Właściwości pian gaśniczych wytwarzanych różnymi metodami. Konferencja „Pożární Ochrana 2003”, Ostrawa, 10–11.09. 2003.
10. Sobolewski M.: Zastosowanie pian poza pożarnictwem. „Archiwum Spalania” 2002, nr 1, vol. 2.
11. Sobolewski M., Mizerski A., Wargocki L.: Badanie skuteczności gaśniczej silnikowej wytwornicy piany. „Prace Naukowo-Badawcze IBMER” 1999, nr 2.
12. Mizerski A., Król B., Neffe S., Sobolewski M.: Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego nr 0 T00C 004 21: Badania zdolności zwilżających, pianotwórczych i emulgujących ciekłych kompozycji substancji powierzchniowo czynnych, przeznaczonych do stosowania w działaniach ratowniczych 2001÷2004.

