

dr hab. inż. **Władysław Harmata**, prof. WAT<sup>1</sup>  
prof. dr hab. inż. **Stanisław Kłosowicz**<sup>1</sup>  
gen. bryg. (r) **Marek Witczak**, prof. wizyt. WAT<sup>1</sup>  
dr **Jacek Pirszel**<sup>2</sup>  
mgr inż. **Władysław Fediuk**<sup>3</sup>

Przyjęty/Accepted/Принята: 26.02.2015;

Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 27.05.2015;

Opublikowany/Published/Опубликована: 30.06.2015;

## Likwidacja skażeń powierzchni „wrażliwych”<sup>4</sup>

### Decontamination of “Delicate” Surfaces

### Ликвидация последствий заражений „чувствительных” поверхностей

#### ABSTRAKT

**Cel:** Celem artykułu jest prezentacja metody likwidacji skażeń (dezynfekcji i odkażania) powierzchni „wrażliwych”: wnętrz kontenerów i statków powietrznych, elementów izolacyjnych odzieży ochronnej oraz sprzętu elektronicznego, za pomocą nadtlenu wodoru w stanie pary.

**Wprowadzenie:** Likwidacja skażeń jest bardzo trudnym procesem pod względem technicznym i technologicznym, gdyż dotyczy skażeń powierzchni, które po przeprowadzonym procesie powinny być bezpieczne dla ludzi i środowiska. Dotyczy to głównie wnętrz obiektów, aparatury, dokumentacji oraz specjalistycznego wyposażenia. Obecnie możliwość skażenia lub zakażenia zespołów ratowniczych lub kontyngentów wojskowych jest wielce prawdopodobna. Siły Zbrojne Rzeczypospolitej Polskiej (SZ RP), dysponują środkami oraz technologiami do prowadzenia procesów likwidacji skażeń tzw. metodami mokrymi, bazującymi na substancjach czynnych w postaci roztworów wodnych lub ciekłych mieszanin organicznych. Metoda mokra jest nieprzydatna do likwidacji skażeń np. elektroniki, ponieważ w większości przypadków sprzęt ten w procesie likwidacji skażeń zostaje trwale uszkodzony. Niezależnie od formy skażeń, ważne jest szybkie dotarcie do źródła zagrożenia i skuteczna jego likwidacja. Jedną z możliwości rozwiązania praktycznego tego problemu jest zastosowanie nadtlenu wodoru w postaci pary oraz mobilnego urządzenia do likwidacji skażeń.

**Metodologia:** Metodę określenia działania biobójczego gazowego nadtlenu wodoru opracowano na podstawie norm: PN-EN 13697, PN-EN 14561, PN-EN 14562. Jako substancje testowe wykorzystano: *Enterococcus hirae* (bakteria gram-dodatnia), *Escherichia coli* (bakteria gram-ujemna), *Geobacillus stearothermophilus* (spor bakteryjny) oraz *Candida albicans* (grzyb drożdżopodobny) i *Aspergillus niger* (grzyb pleśniowy).

Badanie skuteczności odkażania iperytu siarkowego za pomocą gazowego nadtlenu wodoru prowadzono według metodyki RTMO-86 (materiał niejawny). Analizę skażeń resztkowych prowadzono techniką GCMS. Wpływ procesu likwidacji skażeń na materiały oraz aparaturę oceniano na podstawie norm oraz wewnętrznych procedur badawczych.

**Wnioski:** Uzyskane pozytywne wyniki badań skuteczności dezynfekcji i odkażania oraz kompatybilność nadtlenu wodoru w postaci pary w stosunku do materiałów i aparatury, po przeprowadzeniu badań uzupełniających, rekomenduje opracowanie do wdrożenia.

**Słowa kluczowe:** dezynfekcja, odkażanie, nadtlenek wodoru w postaci pary

**Typ artykułu:** artykuł przeglądowy

#### ABSTRACT

**Aim:** The purpose of this article is to present a method of eliminating the consequence of contamination (decontamination and disinfection) from delicate surfaces including; the interior of containers and aircraft, insulating elements of protective clothing and electronic equipment, with the aid of hydrogen peroxide applied in vapour form.

<sup>1</sup> Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa / Military University of Technology, Warsaw, Poland; wladyslaw.harmata@wat.edu.pl;

<sup>2</sup> Wojskowy Instytut Chemii i Radiometrii, Warszawa / Military Institute of Chemistry and Radiometry, Warsaw, Poland;

<sup>3</sup> Przedsiębiorstwo Innowacyjno-Wdrożeniowe “IMPULS”, Gdańsk / Innovation Enterprise “IMPULS”, Poland;

<sup>4</sup> Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

**Introduction:** Elimination of contamination is a very difficult process in terms of application and technology because it relates to contaminated surfaces, which after a process of application, should be rendered safe for the environment and use by humans. In the main, this applies to indoor facilities, apparatus, documentation and specialised equipment. Currently, the risk of contamination or infection of rescue teams, or military contingents is high. Polish Armed Forces have the means to perform decontamination processes using so called ‘wet methods’, where active ingredients are based on aqueous solutions or organic liquid mixtures. However, ‘wet methods’ are unsuitable for decontamination of, for example, electronic equipment, because in most circumstances such equipment is likely to be permanently damaged during the process. Irrespective of contamination type, it is important to quickly reach the source of threat and successfully eliminate it. One practical approach, to address the problem, may lie in the use of hydrogen peroxide, in vapour form, delivered by a suitable device to eliminate contamination in the field.

**Methodology:** The methodology for determining biocidal effect of hydrogen peroxide gas was developed on the basis of following standards: EN 13697, EN 14561, EN 14562. The following substances were used during research tests: *Enterococcus hirae* (gram-positive bacteria), *Escherichia coli* (gram-negative bacteria) *Geobacillus stearothermophilus* (bacterial spores), *Candida albicans* (yeast fungus) and *Aspergillus niger* (*filamentous fungus*). An examination of the effectiveness of sulfur mustard decontamination with gaseous hydrogen peroxide was carried out using methodology RTMO-86 (classified material). Analysis of residual contamination was performed using GCMS. The impact of contamination elimination on materials and equipment was evaluated on the basis of standards and internal procedures.

**Conclusions:** Achievement of positive test outcomes for successful disinfection and decontamination, and compatibility of hydrogen peroxide, in vapour form, with materials and apparatus embraced by research. Recommendation, after supplementary studies, for the development and implementation of the process.

**Keywords:** disinfection, decontamination, hydrogen peroxide in vapour form

**Type of article:** review article

## АННОТАЦИЯ

**Цель:** Целью статьи является представление метода ликвидации заражений (дезинфекции, обеззараживания) „чувствительных” поверхностей: внутри контейнеров, воздушных судов, изоляционных элементов защитной одежды и электрооборудования с помощью паров пероксида водорода.

**Введение:** Ликвидация заражений – это технически и технологически сложный процесс, так как он связан с зараженными поверхностями, которые после его окончания, должны быть безопасны для людей и среды. Это касается в основном внутреннего помещения объектов, аппаратуры, документации и специализированного оснащения. В настоящее время вероятность заражения или инфицирования спасательных групп или военных контингентов очень высока. Вооруженные силы Республики Польша оборудованы средствами и технологиями для проведения процессов ликвидации заражений, так называемыми жидкими методами, в основе которых лежат активные вещества в форме водных растворов или жидких органических смесей. Жидкий метод не пригоден для ликвидации заражений, например, электрооборудования, так как в большинстве случаев оборудование во время ликвидации заражения получает серьезные повреждения. Независимо от формы заражения, важно немедленно добраться к месту угрозы и эффективно её устранить. Одной из возможностей практического решения этой проблемы является использование пероксида водорода в форме пара и мобильного устройства для ликвидации заражений.

**Методология:** Методику определения бицидного действия пероксида водорода в газовой форме разработано на основе стандартов: PN-EN 13697, PN-EN 14561, PN-EN 14562. В качестве тестовых веществ были использованы: *Enterococcus hirae* (граммположительная бактерия), *Escherichia coli* (граммотрицательная бактерия), *Geobacillus stearothermophilus* (спора бактерий) и *Candida albicans* (дрожжеподобный гриб) и *Aspergillus niger* (плесневой гриб). Исследование эффективности обеззараживания иприта серы с помощью пероксида водорода в газовой форме проведено согласно методике RTMO-86 (неявный материал). Анализ остальных заражений проведен техникой GCMS. Влияние процесса ликвидации заражений на материалы и аппаратуру оценено на основе стандартов и внутренних исследовательских процедур.

**Выводы:** Полученные положительные результаты исследований эффективности дезинфекции и обеззараживания, а также совместимость пероксида водорода в газовой форме относительно материалов и аппаратуры, после проведения дополнительных исследований, рекомендуют внедрить разработку.

**Ключевые слова:** дезинфекция, обеззараживание, пероксид водорода в форме пара

**Вид статьи:** обзорная статья

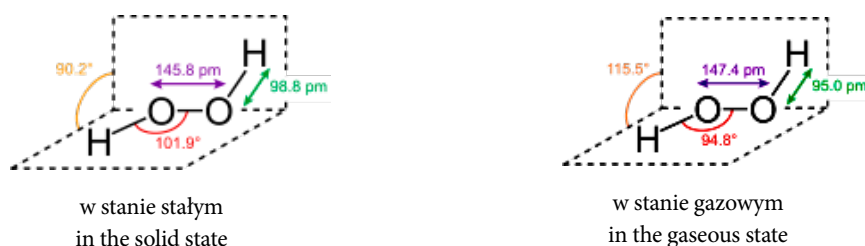
## 1. Wprowadzenie

Likwidacja skażeń jest procesem mającym na celu zapewnienie bezpieczeństwa osobom, obiektom i rejonom poprzez usunięcie z nich substancji promieniotwórczych, absorpcję, niszczenie, neutralizację lub usuwanie środków, biologicznych lub chemicznych skażających powierzchnie lub znajdujących się w ich pobliżu [24]. Proces likwidacji skażeń jest najtrudniejszym z przedsięwzięć realizowanych w ramach systemu obrony przed bronią masowego rażenia. Wymaga on zaangażowania znacznych sił i środków oraz zajmuje dużo czasu (jednorazowy proces może trwać od 10

minut nawet do kilku godzin). Z uwagi na ciągłe wprowadzanie nowych materiałów oraz nowoczesnych urządzeń elektronicznych tradycyjny proces likwidacji skażeń nie może spełnić aktualnych wysokich wymagań dotyczących zakresu likwidacji skażeń sprzętu i obiektów technicznych.

Doniesienia prasowe dotyczące wybuchu epidemii w różnych rejonach świata sugerują konieczność przygotowania środków zaradczych na wypadek tego rodzaju zdarzeń. Jest to szczególnie istotne w odniesieniu do Polskich Kontyngentów Wojskowych oraz grup ratowniczych Państwowej Straży Pożarnej powracających do kraju z misji

realizowanych w rejonach zagrożonych występowaniem chorób zakaźnych lub epidemiami. Całe wyposażenie tych kontyngentów powinno być poddane procesowi dezynfekcji profilaktycznej. We współczesnym świecie wzrasta także zagrożenie atakiem terrorystycznym z użyciem patogenów chorobotwórczych lub wysokotoksycznych substancji chemicznych – nie wyłączając bojowych środków trujących. Problem skażeń biologicznych pojawia się także w przypadku klęsk żywiołowych, np. powodzi. Istnieje więc pilna potrzeba likwidacji skażeń biologicznych i chemicznych w dużych przestrzeniach zamkniętych oraz na powierzchni i wewnątrz specjalistycznej aparatury. Szczególnie perspektywiczne jest zastosowanie gazowych mieszanin odkażających zamiast stosowanych do tej pory mieszanin ciekłych, pian, emulsji czy odkażalników proszkowych. Mieszaniny do likwidacji skażeń w postaci pary [25] mogą być szczególnie przydatne do likwidacji skażeń kontenerów, serwerowni, wewnątrz samolotów, wewnątrz pojazdów mechanicznych, pomieszczeń szpitalnych (w tym sal operacyjnych) oraz innych pomieszczeń, w których nie jest możliwe (lub uzasadnione) zastosowanie agresywnych mediów ciekłych oraz metod termicznych.



**Ryc. 1.** Budowa cząsteczki nadtlenu wodoru [14]  
**Fig. 1.** Molecular structure of hydrogen peroxide [14]

Nadtlenek wodoru wykazuje silne właściwości utleniające wynikające z powstawania w czasie jego rozkładu tlenu atomowego (tzw. tlen *in statu nascendi*):



Właściwości biobójcze i utleniające wodnych roztworów nadtlenu wodoru oraz nadtlenu nieorganicznych i organicznych, o różnej zawartości substancji czynnej, były i są wykorzystywane w procesach odkażania i dezynfekcji.

Z dotychczasowych doniesień literaturowych wynika, że nadtlenek wodoru w postaci pary (oraz jego mieszaniny z amoniakiem) może mieć znacznie większą zdolność do selektywnej likwidacji skażeń [4], [22], [23] w porównaniu do nadtlenu wodoru w postaci roztworów wodnych [20], [21].

Znany jest fakt, że nadtlenek wodoru w stanie pary (ang. *vaporized hydrogen peroxide* – VHP) wykazuje szerokie spektrum aktywności wirusobójczej, bakterioobójczej, grzybobójczej i sporobójczej [10], [12], [13]. Prowadzone badania wykazały również skuteczność waporyzowanego nadtlenu wodoru w zwalczaniu parwowirusów [15], jaj nicieni [2], *Legionella* spp. oraz patogenów zawartych w żywności [16]. Choć nieznanym jest dokładny mechanizm działania biobójczego nadtlenu wodoru, to najprawdopodobniej

W SZ RP w przypadku konieczności prowadzenia likwidacji skażeń (wyposażenia powracającego kontyngentu) wykorzystywane są różne metody, w tym metoda podręczna oparta o kwas nadoctowy jako czynnik biobójczy [18]. Skuteczność biologiczna kwasu nadoctowego zależy od pH. Skuteczność przeciw bakteriom nietworzącym przetrwalników (np. wg EN 1276) osiągnięta jest przy pH 3 już od około 50 ppm nawet w temperaturze +4°C w ciągu 5 minut. Dla osiągnięcia tej samej skuteczności bakterioobójczej przy pH 8 konieczne jest stężenie 300 ppm [18]. W dezynfekcji zazwyczaj wykorzystywane są roztwory o stężeniu od 5 do 15%, więc są one niebezpieczne dla człowieka. W dostępnej literaturze brak informacji o kompatybilności materiałowej kwasu nadoctowego.

W czasie badań nad opracowaniem nowych technologii likwidacji skażeń zwrócono uwagę na właściwości biobójcze i utleniające nadtlenu wodoru w stanie pary – GNW.

Nadtlenek wodoru ( $H_2O_2$ ) to nieorganiczny związek chemiczny z grupy nadtlenu, prekursor jednej z reaktywnych form tlenu [3]. Układ wiązań H–O–O–H wokół atomów tlenu w cząsteczce  $H_2O_2$  jest nieliniowy (podobnie jak układ H–O–H w wodzie), ponadto atomy H–O–O–H tworzą kąt dwuścienny.

rodniki hydroksylowe wchodzi w reakcję z najistotniejszymi elementami składowymi komórki, prowadząc do jej zniszczenia [17]. Podobnie jak w przypadku innych substancji biobójczych najwyższą odporność na działanie gazowego nadtlenu wodoru wykazują spory bakteryjne (szczególnie spory *Bacillus stearothermophilus*). W przeciwieństwie do ciekłej formy roztworów nadtlenu wodoru gazowy nadtlenek jest sporobójczy już przy znacznie niższych stężeniach [17].

Dezynfekcja za pomocą waporyzowanego nadtlenu wodoru to proces „suchy”, w którym wykorzystuje się znacznie niższe stężenia substancji czynnej niż w przypadku metod bazujących na wodnych roztworach substancji czynnych (tj. związki chlorowe, czwartorzędowe związki amoniowe, nadtlenuki organiczne i nieorganiczne). Podczas procesu nie następuje kondensacja pary wodnej z nadtlukiem wodoru, który w roztworach wodnych wykazuje silne działanie korozyjne.

Niskie stężenie biobójcze i gazowa forma nadtlenu wodoru decydują o wyjątkowej kompatybilności materiałowej metody suchej dekontaminacji. Metoda ta jest bezpieczna dla większości materiałów konstrukcyjnych i umożliwia odkażanie wyposażenia znajdującego się w pomieszczeniu,

w tym: sprzętu elektronicznego, pomiarowego, optoelektronicznego, medycznego itp. oraz dla środowiska, co stanowi poważne novum w technologii odkażania „wrażliwego” sprzętu elektronicznego, gdyż dotychczas nie było takiej metody.

Technologia „suchej” dezynfekcji nadtlenkiem wodoru stosowana jest już od ponad 10 lat głównie w procesach dezynfekcji w służbie zdrowia. Systemy umożliwiające prowadzenie „suchej” dezynfekcji produkowane są przez firmy amerykańskie Steris i Bioquell [1], [5].

W patencie amerykańskim [19] opisana jest metoda dezynfekcji dużych powierzchni (dużych objętości np. wnętrz samolotów) za pomocą nadtlenku wodoru w stanie pary.

Amerykański system Titan BIT™ CBW [9] opiera się na właściwościach utleniających  $H_2O_2$ . Możliwa jest dzięki niemu likwidacja skażeń biologicznych np. wąglika, jak również fluorooorganicznych czy fosforoorganicznych bojowych środków trujących. Czynniki aktywne podawany jest za pomocą pistoletu rozpylająco-natryskowego, który powoduje aerolizację nadtlenku wodoru. W procesie używa się 3–6%  $H_2O_2$ , a czas ekspozycji wynosi ok. 60 minut.

Z analizy dostępnych danych literaturowych wynika, że nadtlenek wodoru w stanie pary, ze względu na swoje

właściwości utleniające, może być również wykorzystany do unieszkodliwiania patogenów chorobotwórczych, grzybów, bojowych środków trujących i innych substancji toksycznych [19].

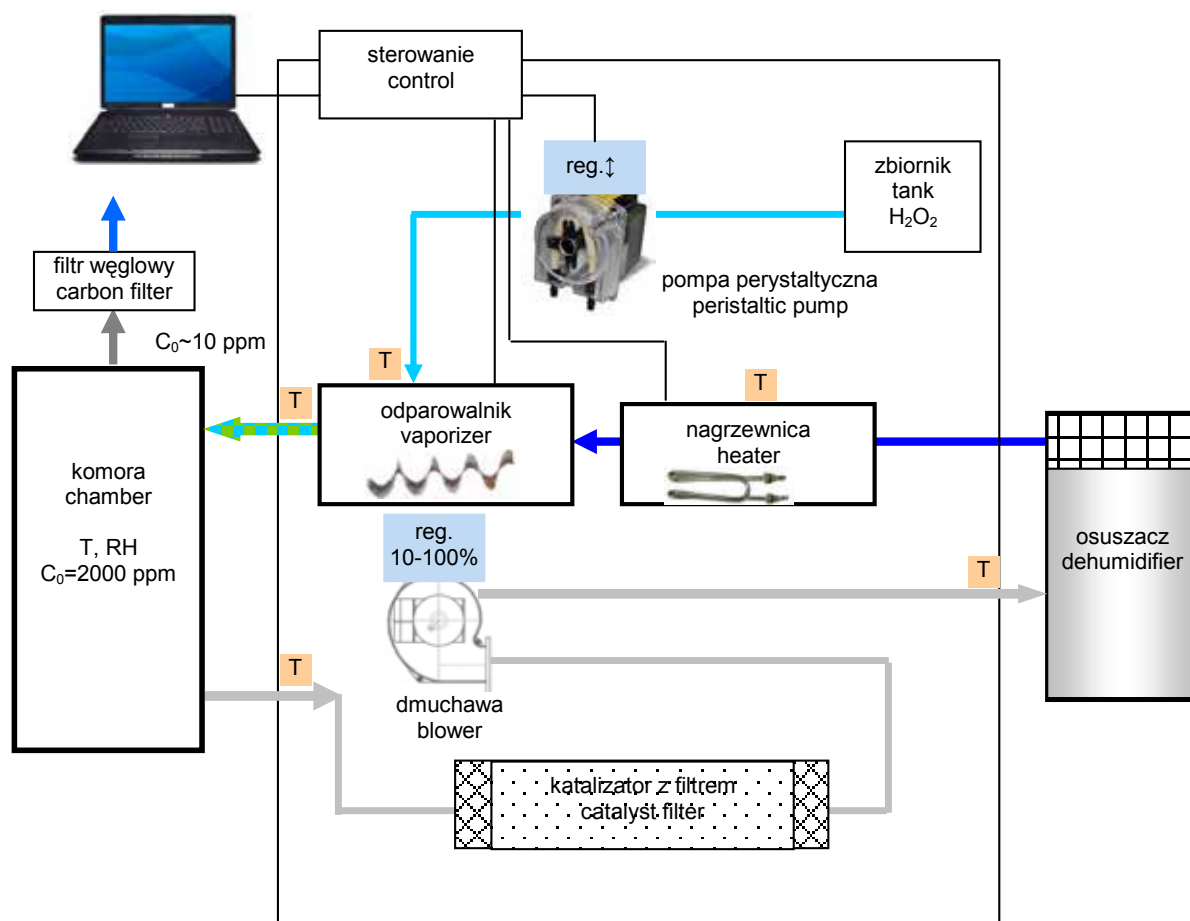
## 2. Badanie skuteczności dezynfekcji za pomocą gazowego nadtlenku wodoru

Badania przeprowadzono w Laboratorium Badawczo-Rozwojowym Przedsiębiorstwa Innowacyjno-Wdrożeniowego „IMPULS”. Metodę określenia działania biobójczego gazowego nadtlenku wodoru opracowano na podstawie norm: PN-EN 13697, PN-EN 14561, PN-EN 14562 i opisano w publikacji [6].

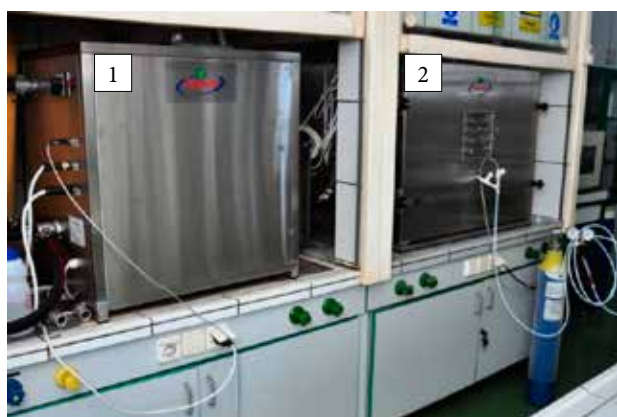
### 2.1. Aparatura

W celu określenia skuteczności działania biobójczego gazowego nadtlenku wodoru (GNW) zaprojektowano i wykonano instalację doświadczalną. W skład instalacji wchodziły następujące elementy:

- generator gazowego nadtlenku wodoru,
- komora dekontaminacyjna,
- destruktor gazu.



Ryc. 2. Schemat stanowiska do badań procesów dezynfekcji [6]  
Fig. 2. Scheme of the set-up for studying disinfection processes [6]



Ryc. 3. Aparatura do badań procesów likwidacji skażeń czynnikami gazowymi: 1 – odparownik (waporyzator); 2 – komora badawcza; 3 – widok systemu szuflad na próbki od strony wnętrza komory [6]

Fig. 3. Apparatus for testing processes in gaseous decontamination factors: 1 – vaporizer; 2 – research chamber; 3 – a view of a drawers system for samples from the interior of the chamber [6]

## 2.2. Sprawdzenie skuteczności dezynfekcji

Po przeprowadzeniu procedury dekontaminacji nośniki poddawane były następującym działaniom:

1. Wysianie mikroorganizmów z nośników w odpowiednim podłożu (płynnym lub stałym). Jednocześnie przeprowadzane były próby dodatnia i ujemna: dodatnia z użyciem nośnika niepoddanego działaniu czynników biobójczych, ujemna – bez dodawania mikroorganizmów do nośnika
2. Inkubacja
3. Liczenie powstałych kolonii mikroorganizmów  
Warunki inkubacji przedstawiono poniżej:
  - *Candida albicans* ATCC 10231: 30 ± 1°C, 48h, pożywka PS (agar);

- *Geobacillus stearothermophilus* ATCC 7953: 55 ± 1°C, 7 dni, pożywka TSB (tryptone-soya-bulion);
- *Aspergillus niger* ATCC 16404: 30 ± 1°C, 72h, pożywka PS;
- *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442: 37 ± 1°C, 24–48 h, pożywka TSA (tryptone-soya-agar);
- *Enterococcus hirae* ATCC 10541: 37 ± 1°C, 24–48 h, pożywka TSA;
- *Escherichia coli* ATCC 10536: 37 ± 1°C, 24–48 h, pożywka TSA.

## 2.3. Wyniki badań mikrobiologicznych

Wyniki badań skuteczności dezynfekcji przedstawiono w poniższych tabelach:

Tabela 1. Wyniki badań działania biobójczego GNW na grzyby drożdżopodobne [6]

Table 1. Biocidal action of vaporized hydrogen peroxide on yeast-like fungi [6]

Szczep Strain	Wilgotność względna* Relative humidity [%]	Temperatura Temperature [°C]	Stężenie Concentration GNW [ppm]**	Czas Time [min]	Wzrost*** Evolution***
<i>Candida albicans</i> ATCC 10231	30–69	21	150	90	+++
	31–70	21	250	60	+++
	29–71	22	250	90	---
	30–81	22	400	15	++++
	30–82	21	400	25	+
	30–81	22	400	30	---
	30–86	22	1000	15	+
	31–92	22	2000	15	---
	–	–	–	0	0

**Tabela 2.** Wyniki badań działania biobójczego GNW na spory bakteryjne [6]**Table 2.** Biocidal action of vaporized hydrogen peroxide on bacterial spores [6]

Szczep Strain	Wilgotność względna* Relative humidity [%]	Temperatura Temperature [°C]	Stężenie Concentration GNW [ppm]**	Czas Time [min]	Wzrost*** Evolution***
<i>Geobacillus stearothermophilus</i> ATCC 7953	30–70	21	150	90	++
	30–70	21	250	60	++
	<b>31–71</b>	<b>22</b>	<b>250</b>	<b>90</b>	---
	30–82	22	400	15	+++
	30–82	21	400	25	+
	<b>30–81</b>	<b>22</b>	<b>400</b>	<b>30</b>	---
	30–87	22	1000	15	+
	<b>31–91</b>	<b>22</b>	<b>2000</b>	15	---
	–	–	0	0	++++

**Tabela 3.** Wyniki badań działania biobójczego GNW na grzyby pleśniowe [6]**Table 3.** Biocidal action of vaporized hydrogen peroxide on moulds [6]

Szczep Strain	Wilgotność względna* Relative humidity [%]	Temperatura Temperature [°C]	Stężenie Concentration GNW [ppm]**	Czas Time [min]	Wzrost*** Evolution***
<i>Aspergillus niger</i> ATCC 16404	30–70	21	150	90	+++
	31–70	21	250	60	+++
	<b>30–71</b>	<b>22</b>	<b>250</b>	<b>90</b>	---
	30–81	22	400	15	++++
	30–82	21	400	25	+
	<b>30–81</b>	<b>22</b>	<b>400</b>	<b>30</b>	---
	30–87	22	1000	15	+
	<b>31–91</b>	<b>22</b>	<b>2000</b>	<b>15</b>	---
	–	–	0	0	++++

**Tabela 4.** Wyniki badań działania biobójczego GNW na bakterie gram-dodatnie [6]**Table 4.** Biocidal action of vaporized hydrogen peroxide on Gram-positive bacteria [6]

Szczep Strain	Wilgotność względna* Relative humidity [%]	Temperatura Temperature [°C]	Stężenie Concentration GNW [ppm]**	Czas Time [min]	Wzrost*** Evolution***
<i>Enterococcus hirae</i> ATCC 10541	30–70	21	150	90	++
	30–70	21	250	60	++
	<b>30–71</b>	<b>22</b>	<b>250</b>	<b>90</b>	---
	30–82	22	400	15	+++
	30–81	21	400	25	+
	<b>30–81</b>	<b>21</b>	<b>400</b>	<b>30</b>	---
	30–87	22	1000	15	+
	<b>31–91</b>	<b>21</b>	<b>2000</b>	<b>15</b>	---
	–	–	0	0	++++

**Tabela 5.** Wyniki badań działania biobójczego GNW na bakterie gram-ujemne [6]**Table 5.** Biocidal action of vaporized hydrogen peroxide on Gram-negative bacteria [6]

Szczep Strain	Wilgotność względna* Relative humidity* [%]	Temperatura Temperature [°C]	Stężenie Concentration GNW** [ppm]	Czas Time [min]	Wzrost*** Evolution***
<i>Escherichia coli</i> ATCC 10536	29–69	21	150	90	++
	30–70	21	250	60	++
	<b>30–71</b>	<b>22</b>	<b>250</b>	<b>90</b>	---
	29–82	22	400	15	+++
	30–81	21	400	25	+
	<b>31–81</b>	<b>21</b>	<b>400</b>	<b>30</b>	---
	30–86	21	1000	15	+
	<b>30–91</b>	<b>21</b>	<b>2000</b>	<b>15</b>	---
	–	–	0	0	++++

\* Wilgotność względna rośnie w trakcie cyklu dezynfekcji ze względu na stosowanie wodnych roztworów

\*\* ppm (ang. *parts per million*) – sposób wyrażania stężenia bardzo rozcieńczonych roztworów związków chemicznych.

Stężenie to jest pochodną ułamka molowego i określa, ile cząsteczek związku chemicznego przypada na 1 milion cząsteczek roztworu

\*\*\* Wzrost mikroorganizmów przedstawiony jest w postaci:

- brak wzrostu
- + niewielki wzrost
- ++ średni wzrost
- +++ umiarkowany wzrost
- ++++ silny wzrost

### 3. Badanie skuteczności odkażania iperytu siarkowego za pomocą gazowego nadtlenu wodoru

#### 3.1. Metodyka badań

Próbki wybranych podłoży skażono kroplami iperytu siarkowego (HD) o objętości ok. 5  $\mu$ l. Przybliżona gęstość skażenia początkowego wynosiła 6,5 g/m<sup>2</sup>. Skażone próbki pozostawiano na 30 minut w temperaturze pokojowej. Proces odkażania prowadzono w czasie od 5 minut do 10 h, stosując stężenia GNW od 1000 do 2000 ppm.

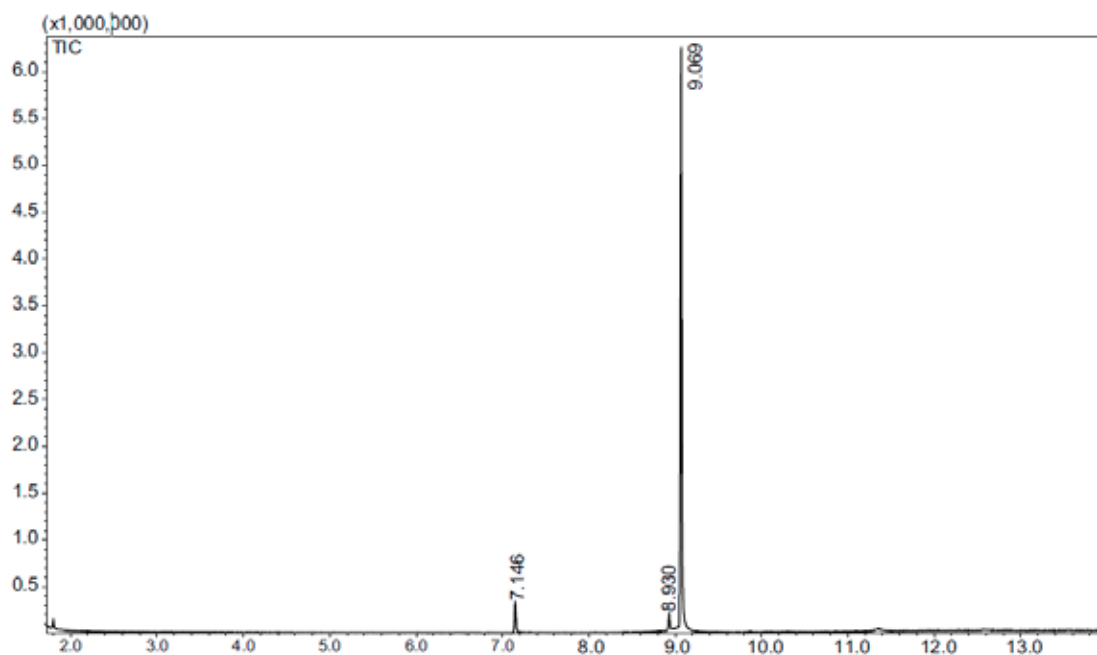
Skażenia resztkowe iperytu, czyli jego stężenie po przeprowadzonym procesie odkażania, oznaczano w próbkach bezpośrednio po wyjęciu z komory badawczej. Próbki do analizy skażeń resztkowych przygotowywano dwoma sposobami: przez ekstrakcję z odkażanej powierzchni pozostałości BST i produktów rozkładu przy użyciu acetonitrylu i następnie oznaczenie nierozłożonego iperytu w ekstrakcie techniką GCMS oraz równolegle zawarte w ekstrakcie związki derywatyzowano<sup>5</sup>, przekształcając je do pochodnych przy użyciu BSTFA (N,O-

-bis(trimetylosilylo)trifluoroacetamidu) jako czynnika derywatyzującego i analogicznie jak poprzednio, analizowano próbki techniką GCMS. Druga metoda polegała na desorpcji HD z poddanej odkażaniu powierzchni przez umieszczenie na 24 h na badanej powierzchni podkładki sorpcyjnej, następnie wyekstrahowanie z podkładki sorpcyjnej BST i oznaczenie jego stężenia w ekstrakcie techniką GCMS (Shimadzu GCMS-QP2010 z kolumną Zebtron ZB5-MS).

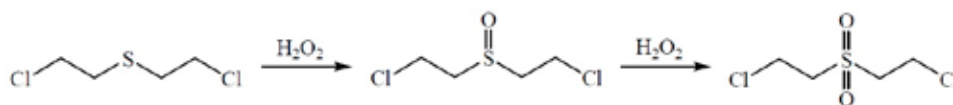
#### 3.2. Produkty rozkładu HD

Głównym produktem rozkładu HD był sulfotlenek bis(2-chloroetylu) – około 95% wszystkich produktów, natomiast stężenie sulfonu bis(2-chloroetylu) nie przekraczało 5%. Widmo masowe produktów rozkładu iperytu przedstawiono na ryc. 4 [7]. Inne związki występowały w ilościach śladowych. Otrzymane wyniki wskazują, że rozkład HD zachodził według mechanizmu pokazanego na ryc. 5 [7]. Na podkreślenie zasługuje fakt, że iperyt w wyniku odkażania ulegał przekształceniu głównie do nietoksycznego sulfotlenku, a nie do sulfonu, który jest znacznie bardziej toksyczny niż sulfotlenek.

<sup>5</sup> Derywatyzacja – proces prowadzący do powstania nowego związku chemicznego na skutek modyfikacji chemicznej. Nowe właściwości powstałego związku pozwolą na jego oznaczenie technikami chromatograficznymi. W chromatografii gazowej i spektrometrii masowej jest zabiegiem ułatwiającym identyfikację analitu i jego oznaczenie ilościowe [przyp. aut].



Ryc. 4. Chromatogram próbki pobranej z powierzchni skażonej iperytem siarkowym po jej odkażeniu nadtlenkiem wodoru w postaci pary,  $t_R = 7,146$  – iperyt siarkowy,  $t_R = 8,930$  – sulfon bis(2-chloroetylu),  $t_R = 9,069$  – sulfotlenek bis(2-chloroetylu) [7]  
 Fig. 4. Chromatogram of sample taken from a surface contaminated with sulphur mustard gas after decontamination with hydrogen peroxide in vapour form,  $t_R = 7,146$  – sulphur mustard,  $t_R = 8,930$  – bis(2-chloroethyl) sulfone,  $t_R = 9,069$  – bis(2-chloroethyl)sulfoxide [7]



Ryc. 5. Schemat reakcji zachodzących podczas odkażania iperytu nadtlenkiem wodoru w postaci pary [7]  
 Fig. 5. Diagram of reactions taking place during decontamination of sulphur mustard by hydrogen peroxide in vapour form [7]

### 3.3. Badania skuteczności odkażania iperytu siarkowego na różnych podłożach

Do określenia skuteczności procesu odkażania wykorzystano następujące materiały barierowe:

1. Materiał barierowy MP-204 do systemu ochrony zbiorowej typu lekkiego (MP-204).

2. Materiał barierowy z warstwą politetrafluoroetylen (IZO).
3. Tkanina pogumowana mieszanką z kauczuku bromobutyloвого (P1).
4. Rękawice ochronne czarne z kauczuku bromobutylowego (RC).

Wyniki otrzymane dla różnych podłoży przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Ilość HD desorbująca z próbek po procesie odkażania za pomocą GNW [7]

Table 6. The amount of HD desorb from the samples after a decontamination by VHP [7]

Materiał Material	Pozostałość HD desorbująca z próbek po 24 h od zakończenia procesu odkażania za pomocą GNW dla dwóch wybranych czasów trwania tego procesu [g/m <sup>2</sup> ] oraz [%] The residue HD desorb from the samples after 24 hours of completion of the disinfection by means of GNW two selected time duration of this process [g/m <sup>2</sup> ] and [%]			
	2 h		4 h	
	[g/m <sup>2</sup> ]	[%]	[g/m <sup>2</sup> ]	[%]
MP-204	0,0100	0,15	0,0023	0,035
IZO	0,0019	0,03	< 0,001	< 0,015
P1	0,0018	0,03	0,0022	0,030
RC	0,037	0,57	0,013	0,200

Skażenie początkowe 6,5 g/m<sup>2</sup>, objętość kropeł 0,5 μl, gęstość skażenia 1 kropla/1 cm<sup>2</sup>, czas ekspozycji HD na próbkach przed odkażaniem 30 minut. Warunki odkażania:

temp.: 50°C, stężenie nadtlenu wodoru 2000 ppm. Wartość dopuszczalna 0,420 g/m<sup>2</sup>



#### 4. Odporność wybranych elementów i materiałów konstrukcyjnych na działanie gazów zawierających nadtlenek wodoru w warunkach likwidacji skażeń BST [8], [11]

w komorze do badań laboratoryjnych i poddawano działaniu 2000 ppm  $H_2O_2$  przez 5 h w temp. 50°C.

Działanie nadtlenu wodoru oceniano mierząc zmiany masy próbek i wizualnie oceniając ich wygląd. Wyniki przedstawiono w tabeli 7 i na ryc. 6.

##### 4.1. Badania odporności aluminium

Do badań użyto kwadratów folii aluminiowej o wymiarach 35 mm x 35 mm. Badane próbki umieszczono

Tabela 7. Zmiany masy próbek

Table 7. Sample weight changes

Zmiana masy próbki [µg] po czasie oddziaływania GNW ( $\bar{m} \pm SD$ ) The change in weight of the sample [mg] after the time of impact GNW ( $m \pm SD$ )						
0 h	0,5 h	1h	2h	3h	4 h	5h
165284 ± 110	165295 ± 122	165310 ± 94	165311 ± 90	165358 ± 122	165336 ± 92	165322 ± 112
% zmiany masy % weight change						
0	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Ryc. 6. Próbkę testowaną aluminium (1) i próbkę kontrolną (2)

Fig. 6. Aluminum treated sample (1) and the control sample (2)

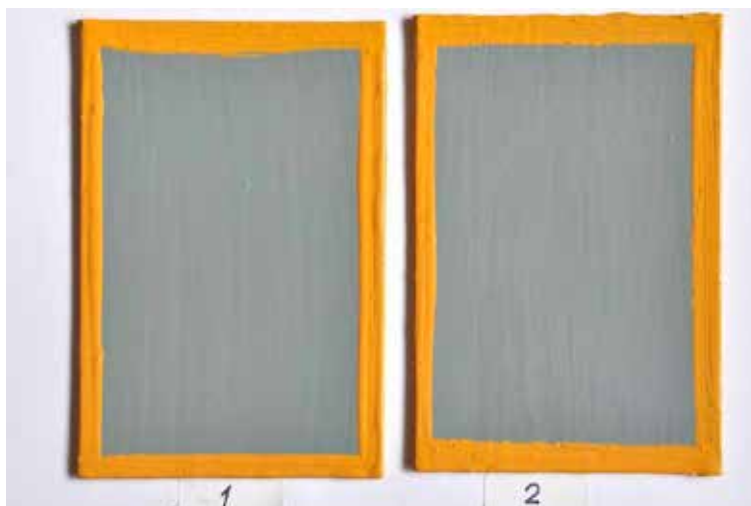
Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Wyniki pomiarów zmian masy próbek są na granicy błędów pomiarowych i wskazują, że w warunkach prowadzenia procesu odkażania waporyzowanym nadtlakiem wodoru nie powinna wystąpić znacząca korozja elementów wykonanych z aluminium.

##### 4.2. Badanie odporności płytek stalowych pokrytych farbą epoksydową Epinox 77 i Emapur

Płytki eksponowano na działanie 2000 ppm  $H_2O_2$  w temperaturze 50°C przez 6 h. Po ekspozycji nie stwierdzono zmian wyglądu płytek (ryc. 7).



Ryc. 7. Płytkę stalową pokrytą farbą epoksydową Epinox 77 i Emapur poddana działaniu 2000 ppm  $H_2O_2$  przez 6 h w temp. 50°C (1) i płytkę kontrolną (2)

Fig. 7. Steel plate coated with epoxy Epinox 77 and Emapur paints exposed to 2000 ppm  $H_2O_2$  for 6 h at temp. 50°C (1) and the control plate (2)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Ocenę stanu powierzchni wykonano zgodnie z normą ISO 4628-1:2005. Wyniki przedstawiono w tabeli 8. Wyniki badań wskazują, że powłoki z farb epoksydowych są

odporne na działanie nadtlenu wodoru w warunkach prowadzenia procesu odkażania.

Tabela 8. Ocena stanu powierzchni płytek stalowych pokrytych farbą epoksydową po ekspozycji na pary nadtlenu wodoru  
Table 8. Condition evaluation of steel plate surfaces coated with epoxy paint after exposure to hydrogen peroxide vapour

Nr próbki Sample No	Określenie zniszczenia powierzchni Description of surface damage				
	stopień spęcherzenia Degree of blistering	stopień zardzewienia Degree of rusting	stopień spękania Degree of cracking	stopień złuszczenia Degree of scaling	stopień skredowania Degree of chalking
1	0(S0)	Ri0(S0)	0(S0)	0(S0)	0
2	0(S0)	Ri0(S0)	0(S0)	0(S0)	0
3	0(S0)	Ri0(S0)	0(S0)	0(S0)	0

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

#### 4.3. Badanie odporności tkaniny podgumowanej



Ryc. 8. Próbkę tkaniny podgumowanej P1 poddana działaniu 2000 ppm  $H_2O_2$  przez 6 h w temp. 50°C (1) i próbkę kontrolną (2)

Fig. 8. The gummed fabric sample P1 treated with 2000 ppm of  $H_2O_2$  for 6 h at 50°C (1) and the control sample (2)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration

Stwierdzono niewielką zmianę barwy próbki tkaniny poddanej działaniu nadtlenu wodoru (ryc. 8). Nie zaobserwowano innych zmian materiału, w tym zmiany wytrzymałości (wytrzymałość przy rozciąganiu i wydłużenie przy zerwaniu tkanin powleczonych gumą lub tworzywem sztucznym – ISO 1421:1998)

#### 4.4. Badanie odporności mierników częstotliwości AVTMOD10

Mierników częstotliwości AVTMOD10 użyto, jako modeli urządzeń elektronicznych. Z uwagi na brak obudowy (ryc. 9–11) możliwy jest dostęp nadtlenu wodoru do wszystkich elementów urządzenia.

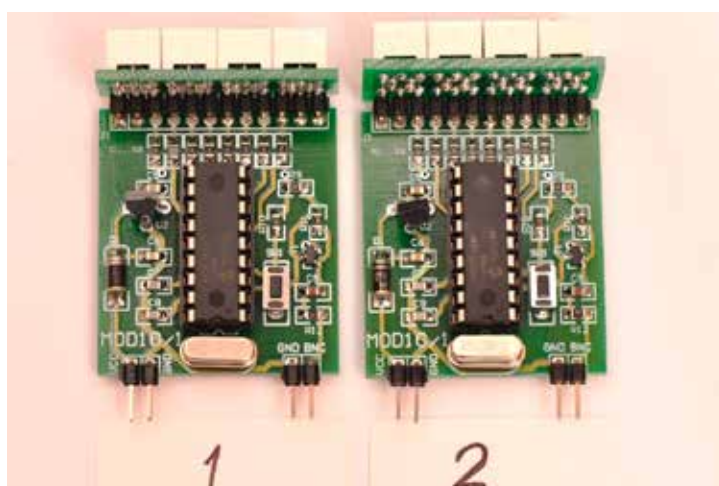
Układy eksponowano na 2000 ppm  $H_2O_2$  w temperaturze  $50^\circ C$  przez łączny czas 5 h dokonując pomiarów poprawności działania urządzeń. Po zakończeniu ekspozycji nie stwierdzono zmian wyglądu urządzeń, a w szczególności obecności śladów korozji, odkształceń, zmian barwy. Pomiary działania mierników przedstawiono w tabelach 9 i 10. Przez cały czas ekspozycji działanie mierników było prawidłowe, a zmiany wskazań ostatniej cyfry przy częstotliwościach 0,05239 kHz i 0,10240 kHz mogą wynikać z błędów kwantyzacji i są normalnym zjawiskiem w tego typu urządzeniach.



Ryc. 9. Kontrola poprawności wskazań miernika AVTMOD10  
Fig. 9. Control of correctness of AVTMOD10 meter indications

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration



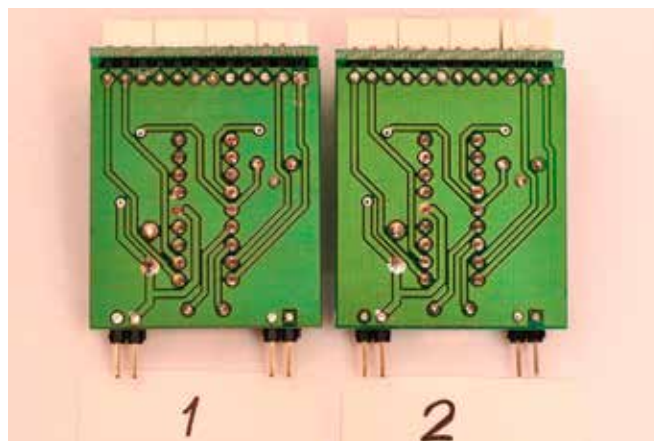
Ryc. 10. Miernik poddany działaniu 2000 ppm  $H_2O_2$  przez 5 h w temp.  $50^\circ C$  (1) i miernik kontrolny (2).

Brak zauważalnych zmian w wyglądzie

Fig. 10. Meter exposed to activity of 2000 ppm  $H_2O_2$  for 5 h at temp.  $50^\circ C$  (1) and the control meter (2). No noticeable changes in appearance

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Ryc. 11. Widok dolnej części miernika poddanego działaniu 2000 ppm  $H_2O_2$  przez 5h w temp. 50°C (1) i miernika kontrolnego (2)

Fig. 11. The base of the meter exposed to activity 2000 ppm  $H_2O_2$  for 5 h at temp. 50°C (1) and control meter (2)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Tabela 9. Wskazania miernika AVTMOD10 po różnych czasach ekspozycji na 2000 ppm  $H_2O_2$  w temp. 50°C (miernik nr 1)

Table 9. Indications of AVTMOD10 meter after a range of exposures at 2000 ppm  $H_2O_2$  at temp. 50°C (meter 1)

Wskazania miernika UT71D [kHz] UT71D[kHz] meter indications	Wskazania miernika AVTMOD10 po ekspozycji [kHz] AVTMOD10 meter after exposure [kHz]						
	0	0,5 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h
0,05329	0,053	0,053	0,053	0,0535	0,0535	0,0535	0,0535
0,10240	0,102	0,102	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025
1,0161	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016
10,463	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46
20,839	20,83	20,83	20,83	20,83	20,83	20,83	20,83

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Tabela 10. Wskazania miernika AVTMOD10 (miernik kontrolny nr 2)

Table 10. AVTMOD10 meter indications (control meter no. 2)

Wskazania miernika UT71D [kHz] UT71D[kHz] meter indications	Wskazania miernika AVTMOD10 po ekspozycji [kHz] AVTMOD10 meter indications after exposure [kHz]						
	0	0,5 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h
0,05329	0,0535	0,053	0,053	0,0535	0,0535	0,0535	0,0535
0,10240	0,102	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025	0,1025
1,0161	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016
10,463	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46
20,839	20,83	20,83	20,83	20,83	20,83	20,83	20,83

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

#### 4.5. Badanie odporności pamięci USB Flash 4 GB

Do badań użyto urządzeń PinStripe USB Drive 4GB firmy Verbatim (nr produktu: 49061). Przed badaniem umieszczono na urządzeniach pliki z danymi.



Ryc. 12. Pamięć USB Flash 4 GB poddana działaniu 2000 ppm  $H_2O_2$  przez 4 h w temp. 50°C (1) i urządzenie kontrolne (2)  
 Fig. 12. USB Flash Drive 4GB exposed to 2000 ppm  $H_2O_2$  for 4 h at 50°C (1) and a control device (2)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Po zakończeniu badań nie stwierdzono zmian wyglądu urządzeń, a w szczególności obecności śladów korozji, odkształceń, zmiany barwy. Próby zapisu i odczytu plików na urządzeniach po ekspozycji przebiegały tak samo jak na kontrolnych urządzeniach niepoddanych działaniu nadtlenu wodoru.

#### 5. Instalacja mobilna [7]

Na podstawie wyników laboratoryjnych opracowano konstrukcję mobilnej komory dekontaminacyjnej wykorzystującej gazowy nadtlenek wodoru (ryc. 13) i na podstawie badań testowych potwierdzono skuteczność zaproponowanej metody likwidacji skażeń. Instalacja może służyć do likwidacji skażeń w komorze autonomicznej oraz jako generator GNW dla zewnętrznej.



Ryc. 13. Widok ogólny kontenera mobilnej instalacji dekontaminacyjnej oraz widok komory aparaturowej  
 Fig. 13. General view of the mobile decontaminating installation container and the view of the apparatus chamber

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

## 6. Podsumowanie

Z wyników badań skuteczności dezynfekcji można wywnioskować, że najważniejszym parametrem okazał się iloczyn czasu ekspozycji i stężenia substancji biobójczej. Najbardziej odporne z badanych mikroorganizmów ulegały procesowi dezynfekcji w następujących warunkach: 150 ppm GNW 240 minut, 250 ppm GNW 90 minut, 400 ppm GNW 30 minut; 2000 ppm GNW 15 minut. Biorąc pod uwagę znaczenie czasu prowadzenia procesu, jako warunki jego przebiegu przyjmuje się stężenie GNW 2000 ppm i czas 15 minut.

Opisana metoda dezynfekcji jest perspektywiczna i możliwa do wykorzystania w innych procesach likwidacji skażeń. Przykładowo do odkażania najczęściej stosowane są roztwory odkażające będące mieszaninami alkoholów metali alkalicznych i amin, które nie są obojętne dla materiałów konstrukcyjnych. Metoda wykorzystująca mieszaniny gazowe (np. ozon, gazowy nadtlenek wodoru i amoniak) może być zastosowana z dobrą skutecznością do dezynfekcji dużych pomieszczeń, aparatury, wyposażenia oraz dokumentacji.

W procesie odkażania iperytu siarkowego za pomocą GNW wykorzystano zarówno reakcję chemiczną, jak i odparowanie. Przedstawiona instalacja zapewnia bardzo dobrą cyrkulację gazu, wymuszającą odparowanie, co powodowało zmniejszenie kropel HD i wzrost stosunku ich powierzchni do objętości. Ułatwia to transport reagentów do wnętrza kropli, zwiększając szybkość reakcji. Ze względu na wymagany warunek braku negatywnego oddziaływania na odkażany materiał temperatura procesu nie mogła przekraczać 50°C. Właściwy dobór temperatury i stężenia GNW był niezbędny dla uniknięcia kondensacji jego par oraz pary wodnej. Ten warunek, wraz z ograniczeniem wartości temperatury, ograniczał najwyższe stężenie GPW,

które mogło być zastosowane w danej temperaturze. Im wyższa temperatura, tym wyższe stężenie GNW mogło być zastosowane, by proces odkażania biegł szybciej. Optymalne warunki prowadzenia procesu odkażania HD są następujące: czas 4 h, temp. 50°C i stężenie GNW 2000 ppm.

## 7. Wnioski

1. Najwyższą skuteczność procesu dezynfekcji uzyskano dla stężenia GNW 2000 ppm i czasu trwania procesu 15 minut niezależnie od czynnika zakażającego.
2. Najwyższą skuteczność procesu odkażania iperytu siarkowego uzyskano dla temperatury 50°C, stężenia GNW około 2000 ppm oraz czasu trwania procesu od 1 do 4 godzin.
3. Powyższe warunki zapewniają, że proces odkażania nie wpływa destrukcyjnie na materiały barierowe i urządzenia.
4. W wyniku zastosowania opracowanej metody do odkażania iperytu siarkowego jako główny produkt powstaje sulfotlenek iperytu, który jest uważany za związek nietoksyczny, a bardziej toksyczny sulfon iperytu (toksyczność zbliżona do iperytu) powstaje w bardzo małych ilościach.
5. Mobilna instalacja jest użyteczna do odkażania i dezynfekcji odzieży, materiałów barierowych i sprzętu oraz może być wprowadzona do jednostek ratowniczych i wojsk chemicznych.

Praca została wykonana przy wsparciu finansowym Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu nr OR00001812 pt. „Opracowanie technologii dekontaminacji dużych przestrzeni zamkniętych za pomocą gazowego nadtlenu wodoru oraz jego mieszanin z nadtlenukami organicznymi i nieorganicznymi, amoniakiem oraz aminami”.

## Literatura

- [1] McAnoy A.M., Sait M., Pantelidis S., Establishment of a Vaporous Hydrogen Peroxide Bio-Decontamination Capability, Human Protection Performance Division DSTO (Defence Science and Technology Organisation), Australia 2007.
- [2] Gustin E.J., McDonnell G.E., Mullen G., Gordon B.E., The efficacy of vapour phase hydrogen peroxide against nematode infestation: the Caenohabditis elegant model, American Association of Laboratory Animal Science (AALAS), Annual meeting, San Antonio, USA 2002.
- [3] Bartosz G., *Druga twarz tlenu.*, Wyd. 2, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008, 28, 46.
- [4] Brickhouse M.D., Turetsky A., MacIver B., Pfarr J., McVey I., Alter W., Lloyd J., Fonti M., *Vaporous Hydrogen Peroxide of a C-141B Starlifter Aircraft Validation of VHP and mVHP Fumigation Decontamination Process via VHP-sensor, Biological Indicator, and HD Simulant in a Large-Scale Environment*, Edgewood Chemical Biological Center, U.S. Army Research, Development and Engineering Command, 2005.
- [5] Wagner G.W., Procell L.R., Sorrick D.C., Lawson G.E., Wells C.M., Reynolds C.M., Ringelberg D.B., Foley K.L., Lumetta G.J., Blanchard D.L. Jr., *All-Weather Hydrogen Peroxide-Based Decontamination of CBRN Contaminants*, “Ind. Eng. Chem. Res.”, Vol. 49, 2010, pp. 3099–3105.
- [6] Harmata W., Kłosowicz S., Chałupczak M., Pępczyńska M., Fediuk W., *Dezynfekcja za pomocą par nadtlenu wodoru*, „Przem. Chem.” Vol. 92 Issue 5, 2013, pp. 1000–1006.
- [7] Harmata W., Kłosowicz S., Chałupczak M., Pępczyńska M., Pirszel J., *Mobilny system do odkażania materiałów barierowych i sprzętu skażonych iperytem siarkowym*, „Przem. Chem.” Vol. 93 Issue 4, 2014, pp. 468–471.
- [8] Harmata W., Kłosowicz S., Chałupczak M., Witczak M., Pirszel J., *Problemy likwidacji skażeń powierzchni „wrażliwych”*, „Biuletyn Wojskowego Instytutu Chemii i Radiometrii WICHiR” Vol. 43 Issue 1, 2014, pp. 63–76.
- [9] *Jane’s Nuclear, Biological and Chemical Defense 2011–2012*, Janes Information Group, 2011.
- [10] Klapes N.A., Vesley D., *Vapour-phase hydrogen peroxide as decontaminant and sterilant*, “Appl. Environ. Microbiol.” Vol. 56, 1990, pp. 503–506.
- [11] Kłosowicz S., Harmata W., Pirszel J., Fediuk W., *Sprawozdanie końcowe z realizacji projektu badawczego Nr O R00 0018 12 „Opracowanie technologii dekontaminacji*

- wnętrz za pomocą waporyzowanego nadtlenu wodoru oraz mieszanin gazowego nadtlenu wodoru z nadtlenkami organicznymi, amoniakiem oraz aminami”, WAT, Warszawa 2012.
- [12] Kokubo M., Inoue T., Akers J., *Resistance of common environmental spores of the genus Bacillus to vapour hydrogen peroxide vapour*, “PDA J. Pharm. Sci. Technol.” Vol. 52 Issue 5, 1998, pp. 228–231.
- [13] Malmbor A., Wingren M., Bonfield P., McDonnel G., *Room decontamination with vaporized hydrogen peroxide. Clean-rooms*, listopad, 2001.
- [14] [http://pl.wikipedia.org/wiki/Nadtlenek\\_wodoru](http://pl.wikipedia.org/wiki/Nadtlenek_wodoru) (dostęp: 08.2014 r.).
- [15] McDonnell G., Belere B., Fritz C., Hartling J., *Room decontamination with vapour hydrogen peroxide. VHP for environmental control of parvovirus*, American Association of Laboratory Animal Science (AALAS), Annual meeting, Baltimore, MD, październik, 2001.
- [16] McDonnell G., Grignol G., Antloga K., *Vapour phase hydrogen peroxide decontamination of food contact surfaces*, “Diary Food Environ. Sanit.” Vol. 22, 2002, pp. 23–28.
- [17] McDonnell G., Russell A.D., *Antiseptics and disinfectants. Activity, action and resistance*, “Clin. Micro. Rev.” Vol. 12, 1999, pp. 147–179.
- [18] Meyer B., *Kwas nadctowy jako substancja czynna w dezynfekcji*, „Aseptyka” Issue 3, 2002, pp. 11–16.
- [19] Patent US “Vaporized hydrogen peroxide decontamination adjustment mode (wo/2006/046993 vaporized hydrogen peroxide concentration detector) – <http://www.faqs.org/patents/app/20080267818>.
- [20] Popiel S., Nalepa T., Dzierżak D., Stankiewicz R., Witkiewicz Z., *Badanie reakcji rozkładu siarczku dibutylowego. Część I. Zastosowanie zaawansowanej techniki utleniania UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*, „Przem. Chem.”, Vol. 90, 2011, pp. 446–452.
- [21] Popiel S., Witkiewicz Z., Chrzanowski M., *Sulfur mustard destruction using ozone, UV, hydrogen peroxide and their combination*, “J. Hazard. Mater.” Vol. 153 Issue 1, 2008, p. 37.
- [22] Wagner G.W., Sorrick D.C., Procell L.R., *Decontamination of VX, GD, and HD on surface using modified vaporized hydrogen peroxide*, “Langmuir” Vol. 23, 2007, pp. 1178–1186.
- [23] Wagner G.W., Sorrick D.C., Procell L.R., Brickhouse M.D., McVey I.F., Shwartz L.I., *Modified Vaporized Hydrogen Peroxide (mVHP\*) Decontamination of VX, GD and HD*, 9<sup>th</sup> CBW Protection Symposium May 22–25, 2007.
- [24] *Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD/3.8(A)*, Ministerstwo Obrony Narodowej, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych Szkol. 869/2013.
- [25] <http://www.sjp.pl/waporyzacja> (dostęp: 12.2014 r.)

\* \* \*

**dr hab. inż. Władysław Harmata** w roku 1978 ukończył studia na Wydziale Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Jest profesorem na Wydziale Nowych Technologii i Chemii WAT. Specjalność – likwidacja skażeń, ochrona przed skażeniami.

**prof. dr hab. inż. Stanisław Kłosowicz** w roku 1979 ukończył studia na Wydziale Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Jest profesorem na Wydziale Nowych Technologii i Chemii WAT. Specjalność – inżynieria materiałowa.

**gen. bryg. (r) mgr inż. Marek Witzak** w roku 1978 ukończył studia na Wydziale Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Jest profesorem wizytującym na Wydziale Nowych Technologii i Chemii WAT. Specjalność – obrona przed bronią masowego rażenia.

**dr Jacek Pirszel** w roku 1990 ukończył studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Marii Curie Skłodowskiej w Lublinie. Jest doktorem nauk biologicznych i adiunktem w Wojskowym Instytucie Chemii i Radiometrii. Specjalność – technologie likwidacji skażeń, toksykologia oraz analityka chemiczna, ze szczególnym uwzględnieniem analizy chromatograficznej bojowych środków trujących i toksyn naturalnego pochodzenia.

**mgr inż. Władysław Fediuk** w roku 1973 ukończył studia na Wydziale Budowy Okrętów Politechniki Gdańskiej. Jest dyrektorem własnego przedsiębiorstwa produkcyjnego o charakterze innowacyjnym – wdrożeniowym „IMPULS”. Specjalność – biologia, likwidacja skażeń.