

dr hab. inż. Władysław Harmata, prof. WAT^{a)*}, mgr inż. Anna Markowska^{a)}, dr Jacek Pirszel^{b)}

^{a)}Wojskowa Akademia Techniczna / Military University of Technology

^{b)}Wojskowy Instytut Chemii i Radiometrii / Military Institute of Chemistry and Radiometry

*Autor korespondencyjny / Corresponding author: wladyslaw.harmata@wat.edu.pl

Dezynfekcja powierzchni „wrażliwych”

Disinfection of „Sensitive” Surfaces

Дезинфекция „чувствительных” поверхностей

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest prezentacja metody dezynfekcji powierzchni materiałów papierniczych niepodatnych na procesy likwidacji skażeń (tzw. powierzchni „wrażliwych”) za pomocą gazowego nadtlenu wodoru.

Wprowadzenie: Likwidacja skażeń jest bardzo trudnym procesem pod względem technicznym i technologicznym, gdyż powierzchnie po odkażeniu powinny być bezpieczne dla ludzi i środowiska. Dotyczy to głównie wnętrz, aparatury, dokumentacji oraz specjalistycznego wyposażenia. Obecnie możliwość skażenia zespołów ratowniczych lub kontyngentów wojskowych jest wielce prawdopodobna. Współcześnie stosowane technologie likwidacji skażeń oparte są o tzw. metody mokre, które są nieprzydatne do likwidacji skażeń dokumentacji (materiałów papierniczych), specjalistycznego wyposażenia i elektroniki. Niezależnie od pomocy poszkodowanym należy dokonać skutecznej likwidacji skażeń materiałów, urządzeń, sprzętu i odzieży. Proces musi być skuteczny, aby zapobiegać skażeniom wtórnym, z drugiej zaś strony powinien przywrócić skażonym materiałom i przedmiotom cechy użytkowe. Jedną z możliwości praktycznego rozwiązania tego problemu jest zastosowanie gazowego (waporyzowanego) nadtlenu wodoru oraz konstrukcja przemieszczalnego 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 grzyby drożdżopodobne (*Candida albicans*) i pleśniowe (*Aspergillus niger*). Wpływ procesu likwidacji skażeń na materiały papiernicze oceniano na podstawie kontroli wizualnej materiałów, jakości znajdującego się na nich pisma lub druku. Porównywano skany dokumentów.

Wnioski: Rozwój biotechnologii inspirowane procesy, które mogą zastąpić technologie tradycyjne, mniej wydajne, a zarazem bardziej szkodliwe dla środowiska naturalnego. Wraz ze wzrostem liczby tzw. „użytkowników” biotechnologii, inżynierii genetycznej, mikrobiologii, biologii molekularnej itp. wzrasta także prawdopodobieństwo wystąpienia niekontrolowanego uwolnienia do środowiska materiału biologicznego bądź wykorzystania go w akcie terrorystycznym lub kryminalnym. Istnieje zatem pilna potrzeba skutecznego i szybkiego sposobu likwidacji skażeń biologicznych. Wykorzystanie nadtlenu wodoru w postaci pary, zdaniem autorów, jest perspektywiczną metodą likwidacji skażeń powierzchni niepodatnych na te procesy metodami tradycyjnymi. W badaniach uzyskano kompatybilność materiałową dla materiałów papierniczych, powłok lakierniczych, tworzyw sztucznych, elementów elektronicznych, optycznych oraz optoelektronicznych.

Słowa kluczowe: dezynfekcja, gazowy nadtlenek wodoru

Typ artykułu: doniesienie wstępne

Przyjęty: 10.10.2016; Zrecenzowany: 07.06.2017; Opublikowany: 30.09.2017;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu;

Proszę cytować: *BiTP* Vol. 47 Issue 3, 2017, pp. 28–44, doi: 10.12845/bitp.47.3.2017.2;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

ABSTRACT

Objective: The objective of this paper is to present the methods of disinfection of so-called “sensitive” surfaces, non-susceptible to decontamination processes, using gaseous hydrogen peroxide.

Introduction: Technically and technologically, decontamination is a very difficult process, as decontaminated surfaces should be safe for use by people and environment after the process is completed. This concerns mainly rooms, devices, documentation and specialised equipment. Nowadays, rescue teams or military groups face a very high risk of contamination. The system of crisis response in our country has the means and technologies for decontamination using so-called wet methods (the active substance exists in the form of an aqueous solution or an organic mixture) which, however, are unfit for the decontamination of documents (paper materials), specialist equipment and electronics. Irrespective of the aid provided to those injured, the effective decontamination of materials, devices and clothing should also be carried out. This process has to be effective so that secondary contamination is prevented, and should also be able to restore the affected equipment and materials to their original state. One of the practical methods for dealing with this problem involves the application of gaseous (vaporised) hydrogen peroxide and the construction of a mobile decontamination device.

Methodology: The methodology for the determination of the biocidal effect of gaseous hydrogen peroxide is based on the following standards: PN-EN 13697, PN-EN 14561, PN-EN 14562. Yeast-like fungi (*Candida albicans*) and mould (*Aspergillus niger*) were used as test substances. The impact of the decontamination process on stationery was assessed through the visual inspection of the materials and the quality of their handwriting quality or print. Document scans were compared.

Conclusions: Advancements in biotechnology stimulate processes which may replace the technologies currently used as less effective and more harmful to the natural environment. Along with the increase in the number of "users" of biotechnology, genetic engineering, microbiology, molecular biology, etc., there is a greater probability that an uncontrolled release to the environment occurs or biomaterials are used for terrorist or criminal purposes. An urgent need is therefore apparent for the effective and fast eradication of bio-contaminations. The use of vaporous hydrogen peroxide appears to be a viable decontamination method for surfaces which are otherwise resistant to such processes if delivered with traditional methods. The studies revealed inter-material compatibility between stationery, varnish coatings, plastics, and electronic, optical, and optoelectronic components.

Keywords: disinfection, gaseous hydrogen peroxide

Type of article: short scientific report

Received: 10.10.2016; Reviewed: 07.06.2017; Published: 30.09.2017;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: BITP Vol. 47 Issue 3, 2017, pp. 28–44, doi: 10.12845/bitp.47.3.2017.2;

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель статьи – представить метод дезинфекции с помощью газового пероксида водорода бумажных материалов, нечувствительных к процессам ликвидации загрязнений (так называемые „чувствительные поверхности“).

Введение: Ликвидация загрязнений является очень сложным техническим и технологическим процессом, поскольку после процесса обеззараживания поверхности должны быть безопасны для людей и окружающей среды. Это касается в основном интерьеров, аппаратуры, документации и специализированного оборудования. В настоящее время вероятность заражения спасательных команд или воинских контингентов весьма вероятна. Современные технологии обеззараживания основаны на так называемых мокрых методах, которые непригодны для удаления загрязнений документов (бумажной продукции), специализированного оборудования и электроники. Независимо от помощи пострадавшим, следует провести эффективное обеззараживание материалов, оборудования и одежды. Этот процесс должен быть эффективен для предотвращения вторичного загрязнения, а с другой стороны – должен восстановить эксплуатационные функции загрязненным материалам и объектам. Одним из возможных решений этой проблемы является использование пероксида водорода (в виде пара) и постройки мобильного устройства для удаления загрязнений.

Методология: Метод определения бицидной активности пероксида водорода был разработан на основе стандартов: PN-EN 13697, PN-EN 14561, PN-EN 14562. В качестве тестируемых веществ были использованы дрожжеподобные (*Candida albicans*) и плесневые грибы (*Aspergillus niger*). Влияние процесса обеззараживания на бумажные материалы оценивали на основе визуального контроля материалов, качества написанной и напечатанной на них информации. Сравнивались сканы документов.

Выводы: Развитие биотехнологии приводит к разработке процессов, которые могут заменить традиционные технологии, менее эффективные и более вредные для окружающей среды. С увеличением количества так называемых „пользователей“ биотехнологии, генетической инженерии, микробиологии, молекулярной биологии и т.д. повышается вероятность неконтролируемого выброса в окружающую среду или использование биологического материала в террористическом или преступном акте, и поэтому существует большая необходимость эффективной и быстрой ликвидации биологического загрязнения. Использование пероксида водорода в виде пара, по-видимому, является перспективным методом ликвидации загрязнений поверхностей, к которым не могут быть применены традиционные методы. В исследованиях была достигнута совместимость материалов с бумагой, лаковыми поверхностями, пластмассой, электронными, оптическими и оптоэлектронными компонентами.

Ключевые слова: дезинфекция, газовый пероксид водорода

Вид статьи: предварительный отчет

Принята: 10.10.2016; Рецензирована: 07.06.2017; Опубликована: 30.09.2017;

Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BITP Vol. 47 Issue 3, 2017, pp. 28–44, doi: 10.12845/bitp.47.3.2017.2;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

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” [1]. Jest to proces bardzo trudny i wymaga zaangażowania znacznych sił i środków oraz czasu. Z uwagi na ciągłe wprowadzanie nowych materiałów konstrukcyjnych oraz roz-

Introduction

“Decontamination is a process aimed at ensuring the security of people, facilities and regions through the removal of radioactive substances, absorption, destruction, neutralisation or removal of biological and chemical agents which contaminate surfaces or are located nearby” [1]. It is a very difficult process, and one which requires extensive efforts and resources. Due to new construction materials and microelectronics-based solutions being constantly introduced, the

wiązań opartych o mikroelektronikę, system ten nie nadąża za wymaganiami. Dodatkowo dochodzi konieczność korzystania z papierowych materiałów archiwalnych, które mogą być skażone nie tylko różnymi rodzajami grzybami, ale i bakteriami [2]. Ma to również szczególnie istotne znaczenie dla powracających kontyngentów, których całe wyposażenie powinno być poddane procesowi dezynfekcji. We współczesnym świecie wzrasta zagrożenie terroryzmem, w tym z użyciem patogenów i substancji chemicznych (w tym bojowych środków trujących) [3]. Istnieje więc pilna potrzeba likwidacji skażeń powierzchni, specjalistycznej aparatury oraz materiałów papierniczych w dużych przestrzeniach zamkniętych. Dla tych celów szczególnie perspektywiczne okazało się zastosowanie gazowych mieszanin odkażających zamiast stosowanych do tej pory mieszanin ciekłych, pian (emulsji) czy odkażalników proszkowych [4]. Gazowe (waporyzowane) mieszaniny do likwidacji skażeń 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 [5].

W Siłach Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej w przypadku konieczności prowadzenia tzw. masowej dezynfekcji (wyposażenie powracającego kontyngentu) wykorzystywana jest podręczna metoda oparta o kwas nadoctowy jako czynnik biobójczy [5]. Skuteczność mikrobiologiczna kwasu nadoctowego zależy od pH. W środowisku kwaśnym jest ona lepsza niż w zasadowym. 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 bakteriobójczej przy pH 8 konieczne jest stężenie 300 ppm [5]. Roztwory kwasu nadoctowego o stężeniu powyżej 5% uważane są za niebezpieczne. W dezynfekcji zazwyczaj wykorzystywane są roztwory o stężeniu od 5 do 15%, więc są one niebezpieczne dla człowieka. Odporność urządzeń skonstruowanych z metali lub tworzyw sztucznych podczas ich odkażania za pomocą kwasu nadoctowego, jak i innych systemów opierających się na kwasach/zasadach, jest uzależniona od wartości pH używanego roztworu.

W czasie badań nad opracowaniem nowych technologii dekontaminacji zwrócono uwagę na właściwości biobójcze i utleniające gazowego nadtlenu wodoru – GNW (tzw. waporyzowanego nadtlenu wodoru). 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.

Choć nieznanym jest dokładny mechanizm działania biobójczego nadtlenu wodoru, to najprawdopodobniej rodniki hydroksylowe wchodzi w reakcję z najistotniejszymi elementami składowymi komórki, prowadząc do jej zniszczenia [6, 7]. 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.

Dezynfekcja za pomocą waporyzowanego nadtlenu wodoru to proces „suchy”, w którym wykorzystuje się znacznie niższe

system is unable to keep up with the requirements. In addition, there is a need for using paper archival materials which might be contaminated not only with various fungi but bacteria as well [2]. This is especially important also for returning levies whose entire equipment should be disinfected. Nowadays, we face an increasing threat of terrorism, including with the use of pathogens and chemical substances (including chemical warfare agents) [3]. Therefore, there is a pressing need for the decontamination of surfaces, specialist equipment and stationery in large enclosed areas. With these purposes in mind, a model which seems to be particularly promising is the one utilising gaseous disinfecting mixtures instead of the mixtures of liquids, foams (emulsions) and powder disinfectants [4]. Gaseous (vaporised) mixtures for decontamination can be especially useful for the decontamination of containers, server rooms, aircraft interiors, mechanical vehicle interiors, hospital rooms (including operating theatres) and other rooms, in which it is impossible (or justified) to use aggressive liquid media and thermal methods [5].

The Armed Forces of the Republic of Poland, whenever it is needed to conduct so-called mass disinfection (of the equipment of returning levies), use a convenient method based on peracetic acid acting as a biocide [5]. The effectiveness of peracetic acid depends on pH and is higher in an acidic environment than in an alkaline one. It is effective against non-spore-forming bacteria (e.g. according to EN 1276) starting from a pH of 3 at a concentration of around 50 ppm, even at +4°C in 5 minutes. To achieve the same antibacterial effect at a pH of 8, concentration must be increased to 300 ppm [5]. Any solution of peracetic acid with a concentration of more than 5% is considered dangerous. Disinfection usually uses solutions with concentrations of 5 to 15%, i.e. hazardous to human health. The resistance of all devices made of metals or plastics, when disinfected with peracetic acid, similarly to all systems based on acids/bases, depends on the pH of the solution.

When investigating new contamination technologies, the biocidal and oxidising properties of gaseous hydrogen peroxide (GHP), also referred to as vaporised hydrogen peroxide, were noted. The biocidal and oxidising properties of aqueous solutions of hydrogen peroxide and inorganic and organic peroxides, with various active substance content, were and are still used in disinfection processes.

Although the exact mechanism of the biocidal activity of hydrogen peroxide is unknown, most probably hydroxyl radicals react with the crucial cell components, resulting in its destruction [6, 7]. As is the case with other biocides, bacterial spores (*Bacillus stearothermophilus* in particular) display the highest resistance to the activity of gaseous hydrogen peroxide. Unlike liquid forms of hydrogen peroxide solutions, gaseous hydrogen peroxide is sporicidal at much lower concentrations.

Disinfection utilising vaporised hydrogen peroxide is a “dry” process which uses much lower concentrations of the active substance than in the case of methods employing aqueous solutions of active substances (i.e. chlorine compounds, quaternary ammonium compounds, and organic and inorganic

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 nadtlakiem wodoru, który w roztworach wodnych wykazuje silne działanie korozyjne. Niskie stężenie biobójcze i gazowa forma nadtlenuku 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 istotne novum w technologii odkażania „wrażliwego” sprzętu elektronicznego, gdyż dotychczas nie było takiej metody.

Technologia „suchej” dezynfekcji nadtlakiem wodoru stosowana jest już od ponad 10 lat w różnych gałęziach przemysłu, głównie w procesach dezynfekcji w służbie zdrowia. Systemy umożliwiające prowadzenie „suchej” dezynfekcji produkowane są przez firmy amerykańskie Steris i Bioquell [7, 8, 9].

Z analizy dostępnych danych literaturowych wynika, że waporizowany nadtlenuk wodoru, ze względu na swoje właściwości utleniające, może być również wykorzystany do unieszkodliwiania patogenów chorobotwórczych, grzybów, bojowych środków trujących i innych substancji toksycznych [9, 10, 11, 12].

Badanie skuteczności dezynfekcji za pomocą gazowego nadtlenuku wodoru

Badania przeprowadzono w Laboratorium Badawczo-Rozwojowym Przedsiębiorstwa Innowacyjno-Wdrożeniowego „IMPULS”. Metodę określenia działania biobójczego gazowego nadtlenuku wodoru opracowano na podstawie norm: PN-EN 13697, PN-EN 14561, PN-EN 14562.

Sprawdzenie skuteczności dezynfekcji

Po przeprowadzeniu procedury dezynfekcji 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, 48 h, pożywka PS,
- *Aspergillus niger* ATCC 16404: 30±1°C, 72 h, pożywka PS.

Aparatura

W celu określenia skuteczności działania biobójczego gazowego nadtlenuku wodoru (GNW) zaprojektowano i wykonano instalację doświadczalną (ryc. 1).

peroxides). There is no vapor concentration with hydrogen peroxide which is highly corrosive in aqueous solutions. The low biocidal concentration and gaseous form of hydrogen peroxide translate into the excellent material compatibility of the dry decontamination method. This method is safe for most construction materials and facilitates the disinfection of equipment located in rooms, including: electronic, measurement, optoelectronic and medical equipment, etc., as well as for the environment, which is a notable novelty in the technology of disinfecting “sensitive” electronic devices, as previously there was no such method.

The dry “hydrogen peroxide” disinfection technology has been used for more than 10 years in various industrial fields, mainly in disinfection in healthcare. Systems which makes it possible to conduct “dry” disinfection are manufactured by the American Steris and Bioquell [7, 8, 9].

When analysing the data available in the literature, one can draw a conclusion that vaporised hydrogen peroxide, due to its oxidising properties, can also be used to neutralise pathogens, fungi, chemical warfare agents and other toxic substances [9, 10, 11, 12].

Determining the efficiency of disinfection using gaseous hydrogen peroxide

The tests were conducted at the Research & Development Laboratory of the “IMPULS” Innovation and Implementation Enterprise. The methods of determining the biocidal activity of gaseous hydrogen peroxide were determined based on the following standards: PN-EN 13697, PN-EN 14561, PN-EN 14562.

Evaluating disinfection efficiency

After conducting the disinfection procedure, the carriers were subjected to the following:

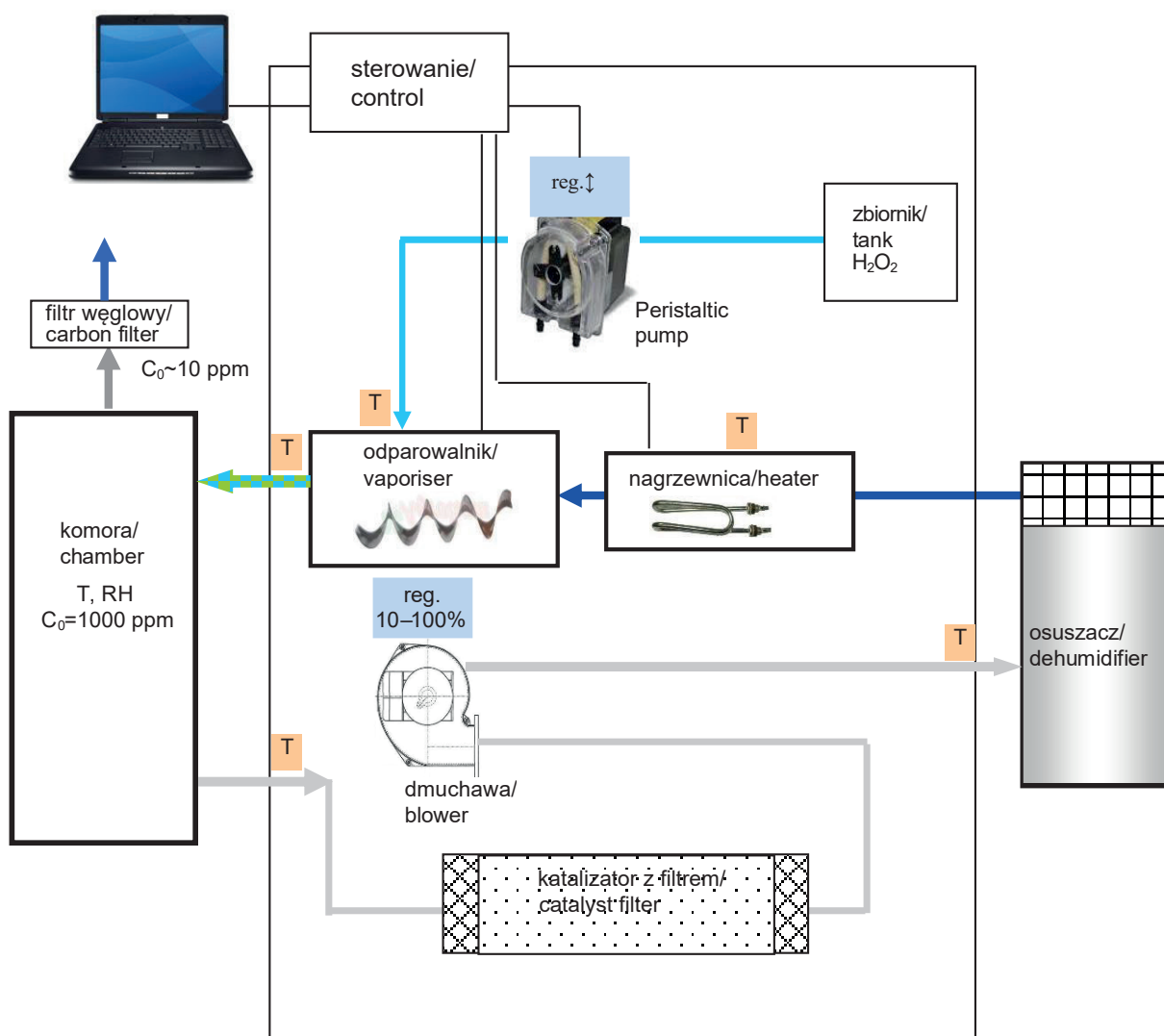
- 1) Introducing microorganisms from carriers into an appropriate (liquid or solid) medium; simultaneously conducting negative and positive tests: positive using a medium not subjected to biocides, and negative without the addition of any microorganism to the carrier;
- 2) Incubation;
- 3) Counting the developed microorganism colonies.

The incubation conditions are presented below:

- *Candida albicans* ATCC 10231: 30±1°C, 48 h, PS culture medium,
- *Aspergillus niger* ATCC 16404: 30±1°C, 72 h, PS culture medium.

Apparatus

An experimental installation was designed and executed to determine the efficiency of gaseous hydrogen peroxide (GHP) (fig. 1).



Rycina 1. Schemat stanowiska do badań [13]

Figure 1. Diagram of the test set-up [13]

Wyniki badań mikrobiologicznych

Wyniki badań skuteczności dezynfekcji przedstawiono w tabelach 1–2 [13].

The results of microbial tests

The results of disinfection efficiency tests are presented in tables 1–2 [13].

Tabela 1. Wyniki badań działania biobójczego GNW na grzyby drożdżopodobne [13]

Table 1. Biocidal action of vaporised hydrogen peroxide on yeast-like fungi [13]

Szczep/Strain	Wilgotność względna* [%]/ Relative humidity* [%]	Temperatura [°C]/ Temperature [°C]	Stężenie GNW [ppm]/ GHP concentration [ppm]	Czas [min]/ Time [min]	Wzrost**/ Growth**
	30–69	21	150	90	+++
	31–70	21	250	60	+++
	29–71	22	250	90	---
	30–81	22	400	15	++++
Candida albicans ATCC 10231	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 grzyby pleśniowe [13]

Table 2. Biocidal action of vaporised hydrogen peroxide on moulds [13]

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

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

** Wzrost mikroorganizmów przedstawiony jest w postaci:

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

* Relative humidity increases over the course of the disinfection cycle due to the use of aqueous solutions

** Microorganism growth is presented as:

- no growth
- + slight growth
- ++ average growth
- +++ moderate growth
- ++++ strong growth

Badania kompatybilności materiałowej

Badania kompatybilności materiałowej przeprowadzono w Laboratorium Rozpoznania i Likwidacji Skażeń Wojskowego Instytutu Chemii i Radiometrii w Warszawie (pracownia sprzętu, środków i technologii likwidacji skażeń).

Badania przeprowadzono w warunkach:

- stężenia gazowego H₂O₂ na poziomie 1000 ppm, kontrolowanego wewnątrz komory badawczej za pomocą czujników;
- temperatury 50°C, kontrolowanej wewnątrz komory badawczej za pomocą czujników;
- wilgotności na poziomie 20% RH, kontrolowanej wewnątrz komory badawczej za pomocą czujników;
- ok. trzydziestoprocentowego roztworu nadtlenu wodoru w wodzie (perhydrol) – POCH S.A.

Czas procesu wynosił 60 minut, z czego 30 minut przeznaczono na oddziaływanie czynnika aktywnego, a kolejne 30 minut na wygrzewanie próbek w temperaturze 50°C w celu usunięcia zaabsorbowanego nadtlenu wodoru.

Ocena próbek papieru

Próbki papieru przed i po procesie likwidacji skażeń oceniano na podstawie zmian barwy za pomocą skanera Epson Perfection V370 Photo. Całe dokumenty skanowano z rozdzielczością 800 dpi – z 48-bitowym rozróżnianiem kolorów. Fragmenty tekstu (obrazu) skanowano z rozdzielczością 2400 dpi – z 24-bitowym rozróżnianiem kolorów. Natomiast próbki z książki skanowane były z rozdzielczością 4800 dpi. Przed procesem i w jego trakcie próbki papieru ważono.

Material compatibility tests

Material compatibility tests were conducted in the Reconnaissance and Decontamination Laboratory of the Military Institute of Chemistry and Radiometry (decontamination equipment, measures and technology laboratory).

The tests were conducted in the following environment:

- the concentration of gaseous H₂O₂ of 1000 ppm, controlled inside the test chamber with sensors;
- temperature of 50°C, controlled inside the test chamber with sensors;
- humidity of 20% RH, controlled inside the test chamber with sensors;
- approx. 30-percent solution of hydrogen peroxide in water (perhydrol) – POCH S.A.

The process time was 60 minutes, of which 30 minutes were reserved for the active agent, and the remaining 30 minutes for the heating of samples at 50°C in order to remove any hydrogen peroxide absorbed.

Evaluation of the paper sample

Paper samples before and after the decontamination process were evaluated on the basis of colour change, using the Epson Perfection V370 Photo scanner. Entire documents were scanned at a resolution of 800 dpi and 48-bit colour depth. Text (image) fragments were scanned at a resolution of 2400 dpi and 24-bit colour depth. Book samples were scanned at a resolution of 4800 dpi. Before and during the process, the samples were weighed.

BADANIA I ROZWÓJ

Badanie obejmowało następujące materiały papierowe:

- kartki z książki A.A. Lur'e, *Sorbenty i khromatograficheskie nositeli (spravochnik)*, wydawnictwo Khimija, Moskwa 1972;
- mapę (układ współrzędnych z 1954 r.);
- papier biały HP „Home&Office” o gramaturze 80 g/m² do drukarek kolorowych;
- papier biały „speed” 80 g/m² do ksero i drukarek laserowych;
- papier z brulionu A4 z lat 80. XX w. z zapisem atramentem, długopisem i ołówkiem.

The test included the following paper materials:

- sheets of paper from the book: A.A. Lur'e, *Sorbenty i khromatograficheskie nositeli (spravochnik)*, Khimija, Moscow 1972;
- a map (a coordinate system from 1954);
- HP “Home&Office” white paper with a grammage of 80 g/m² for colour printers;
- white “speed” 80 g/m² paper for photocopiers and laser printers;
- A4 notebook paper from the 1980s with inscriptions by ink, pen and pencil.

Próbki materiału z książki

Book material samples

b1

18. Мембранное (микрогелевое) сырье — МП

Сырье, структура которых характеризуется наличием мелких пор диаметром 200–1000 (до 10³) Å, углеродная пористость, по методу вычисления механической прочности и высокой устойчивостью к сорбированному материалу (высокая емкость поглощения сырья в результате неограниченного поглощения жидких органических жидкостей, например глицерина). По сравнению со сырьем других типов структура МП-сырья сильнее набухает и имеет несколько другие кинетические характеристики. Сырье имеет высокую реакционную способность, а также значительно больше каталитическую емкость поглощения на единицу объема у МП-сырья по сравнению с сырьем других типов.

МП-сырье применяется в тех случаях, когда нужна высокая устойчивость к воздействию органических жидкостей, например, при сорбировании сахарных спиртов, каталитическая МП-сырье, например, при сорбировании сахарных спиртов. Выпускается МП-сырье в виде порошков, таблеток и для катализа. В таблице приведены сравнительные характеристики МП-сырья и обычного сырья неперфорированной структуры.

Марка сырья	Средний диаметр пор, Å	Удельная пористость, г/г (г/г)	Прочность, МПа/кг	Удельная емкость, г/г
Мембранное сырье				
Amberlyst 15	200–600	40–50	0,32	0,36
Amberlyst XN-1004	200–600	40–50	0,32	0,21
Amberlyst A-21	700–1500	25	0,48	0,225
Amberlyst A-25	400–700	27	0,27	
Amberlyst A-27	400–800	65	0,51	
Amberlyst A-29	200–600	45	0,35	
Amberlyst 20	200–600	43	0,48	
Amberlyst 1A-38	200–600	128	0,63	
Amberlyst 1A-490	645	3	0,51	
Amberlyst KSP, АТР, АМР	4–6			
Amberlyst KX 2-121				
Сырье с неперфорированной структурой				
Amberlite IR-120	30	<0,1	0,018	0,003
Amberlite IRA-400	10	<0,1	0,004	0,010
Dowex 1X4		<0,1		0,004
Dowex 50W×16		<0,1		0,001
KX 2×2				
KX 2×16				
MB-17, MB-20, ЭЛС-101				

19. Ионитное сырье — ИИ

Аммониевые иониты неперфорированной структуры с очень равномерным распределением пористых связей в пористой сетке. Выпускаются в Англии с 1964 г. Как и МП-сырье, обладают высокой устойчивостью к коррозии, особенно отравляющим. МП-сырье, у ИИ-сырья емкость поглощения на единицу объема не ниже, чем у аммониевых сырьев неперфорированной структуры. ИИ-сырье

87

k1

17. Жидкие иониты

В качестве жидких ионообменников применяют высокомолекулярные вещества — полиэлектролиты, нерастворимые в воде, но хорошо растворимые в углеводородных растворителях, например в бензоле или гексане. Обычно используют 5–10%-ые растворы в бензоле. Применяют

жидкие иониты для экстракции и очистки жидкостей и ионных комплексов (например для извлечения урана, тория, плутония; для очистки азотной и серной кислот и т. п.). Жидкие иониты применяются также в колоночной, тонкослойной и бумажной хроматографии, при этом ионит закрепляют на целлюлозе, фтор-пластике кел-Ф или другом инертном носителе — см. Setgaai E., *Chromatographic Reviews (Amsterdam)*, 6, 129 (1964).

№ пп.	Марки ионитов и фирма-изготовитель	Активные группы	Полная обменная емкость		МВ	Нейтральный эквивалент	Плотность, г/см ³ (25 °С)	Динамическая вязкость, сПз (25 °С)	Растворимость в 1 н. Н ₂ SO ₄ , мг/г	Температура воспламенения, °С
			мл-экв/г	мл-экв/см ³						
1–4	Amberlite [R & H, США]	=NH ≡N	2,5–2,7	2,1–2,3	351–393	370–400	0,84	72	15–20	107
	LA-1		2,6–2,8	2,2–2,3	353–395	360–380	0,83	18	<2	179
	LA-2 (XLA-3)+		2,8–3,0	2,3–2,5	340–360	345–365	0,85			
5–6	Amberlite p.A. [Serva, ФРГ]	=NH								
	LA-1 p.A., LA-2 p.A.									
7	Aliquat 336 [GM, США]									
8	Primene JMT [Org, Япония]									
9	TNOA (Triethylamine) [Fluka, Швейцария]	≡N			354		0,82			
10	DEHP [Serva, ФРГ]	—PH(O)OH								

Примечания. 1. Температура замерзания ниже –80 °С. 2. Основность выше, чем у ионита № 1. 4. ЭМ. 5–6. Высокоочищенные сорта (AC) ионитов № 1 и 2; выпуск сорта № 5 прекращен. 7. Хлорид трикарбильмонометиламмония. 9. Три-н-октиламин. 10. Жидкий катионит, ди-2-этилгексилфосфорная кислота или диэтилоксифосфат. Рекомендуется использовать в виде 10%-ого раствора в гексане.

88

Rycina 2. Skany stron: b1 – po procesie likwidacji skażeń; k1 – próbka kontrolna

Figure 2. The scans of pages: b1 – after decontamination; k1 – control sample

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

b1.1

18. Макропористые (макроретикулярные) смолы — МП

Смолы, структура которых характеризуется наличием истинных пор надмолекулярного размера 200—1400 (до 10^5) Å, удельная поверхность пор примерно 25—70 м²/г. От обычных смол с непрерывно-гелевой структурой отличаются повышенной механической прочностью и высокой устойчивостью к «органическому отравлению» (падение емкости поглощения смол в результате необменного поглощения крупных органических ионов, например гуматов). По сравнению со смолами непрерывно-гелевой структуры МП-смолы сильнее набухают и имеют несколько лучшие кинетические характеристики (особенно в среде органических растворителей), а также значительно большую каталитическую активность. Емкость поглощения на единицу объема у МП-смол несколько меньше, чем у обычных смол того же класса.

k1.1

17. Жидкие иониты

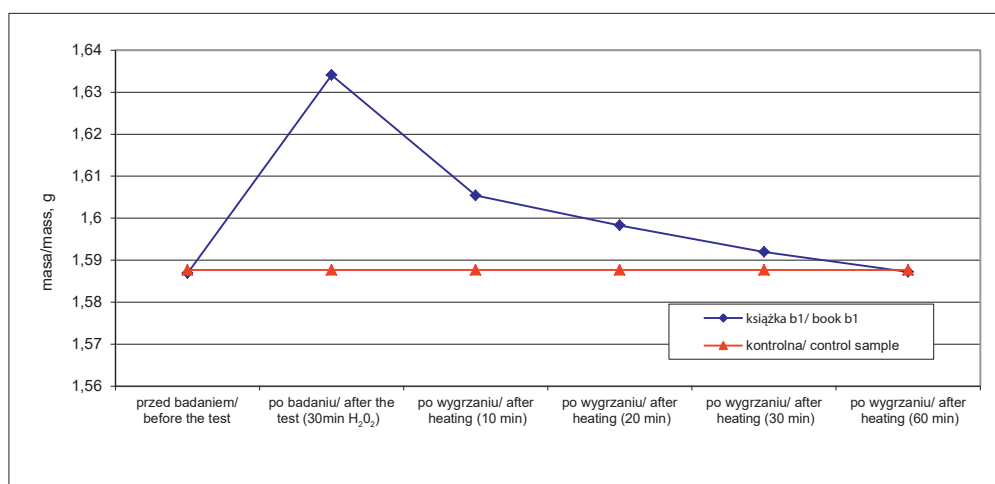
В качестве жидких ионообменников применяют высокомолекулярные вещества — полиэлектролиты, нерастворимые в воде, но хорошо растворимые в углеводородных растворителях, например в бензоле или гексане. Обычно используют 5—40%-ные растворы в бензоле. Применяют-

Рисина 3. Skany stron: b1.1 – po procesie likwidacji skażeń; k1.1 – próbka kontrolna rozdzielczość skanowania 4800 dpi

Figure 3. The scans of pages: b1.1 – after decontamination; k1.1 – control sample Scanned at 4800 dpi

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Рисина 4. Zmiana masy papieru po procesie likwidacji skażeń i suszeniu

Figure 4. The change of paper mass after decontamination and drying

Źródło: Opracowanie własne.

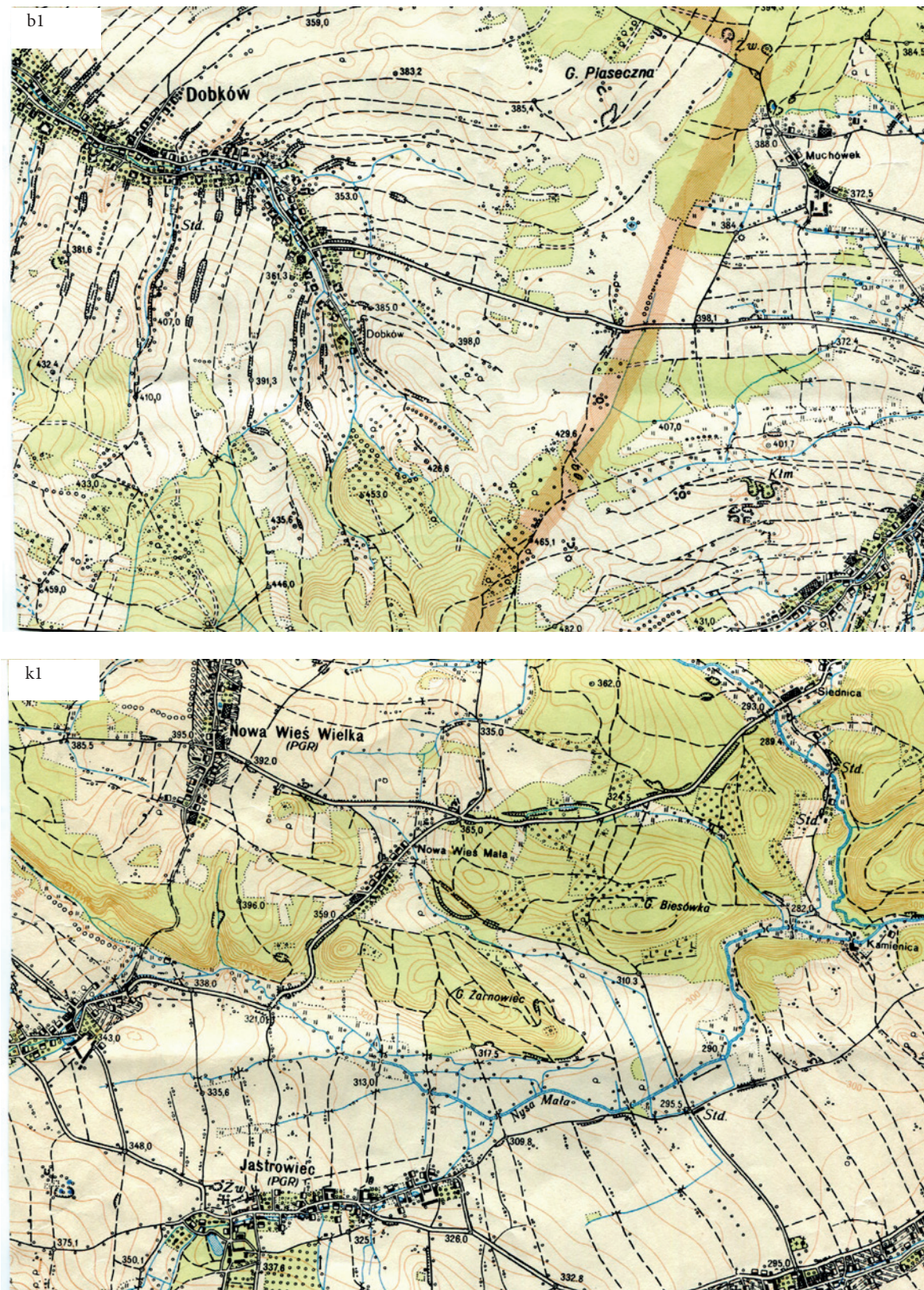
Source: Own elaboration.

Z analizy wizualnej skanów stron z książki z rozdzielczością 800 i 4800 dpi nie stwierdza się zmian koloru czcionki i papieru.

No changes in font and paper colour are identified after a visual analysis of ink printer printout scans with resolutions of 800 and 4800 dpi.

Próbki materiału z mapy

Map material samples



Rycina 5. Skany mapy: b1 – po procesie likwidacji skażeń; k1 – próbka kontrolna

Figure 5. The scans of pages: b1 – after decontamination; k1 – control sample

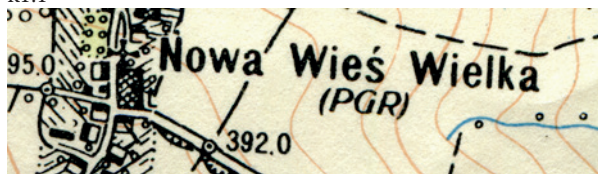
Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

b1.1



k1.1

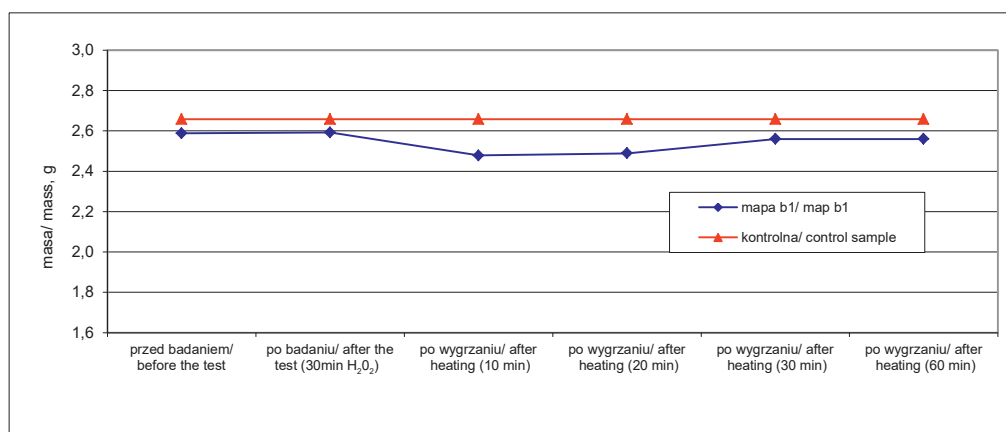


Rycina 6. Skany mapy: b1.1 – po procesie likwidacji skażeń; k1.1 – próbka kontrolna. rozdzielczość skanowania 4800 dpi

Figure 6. The scans of pages: b1.1 – after decontamination; k1.1 – control sample. Scanned at 4800 dpi

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 7. Zmiana masy papieru po procesie likwidacji skażeń i suszeniu

Figure 7. The change of paper mass after decontamination and drying

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Z analizy wizualnej skanów mapy z rozdzielczością 800 i 4800 dpi nie stwierdza się zmian koloru czcionki, papieru oraz koloru warstw.

No changes in font colour, paper and contour line colour are identified after a visual analysis of map scans with resolutions of 800 and 4800 dpi.

Papier biały HP „Home&Office” o gramaturze 80 g/m² do drukarek kolorowych

HP “Home&Office” white paper with a grammage of 80 g/m² for colour printers

b1.1



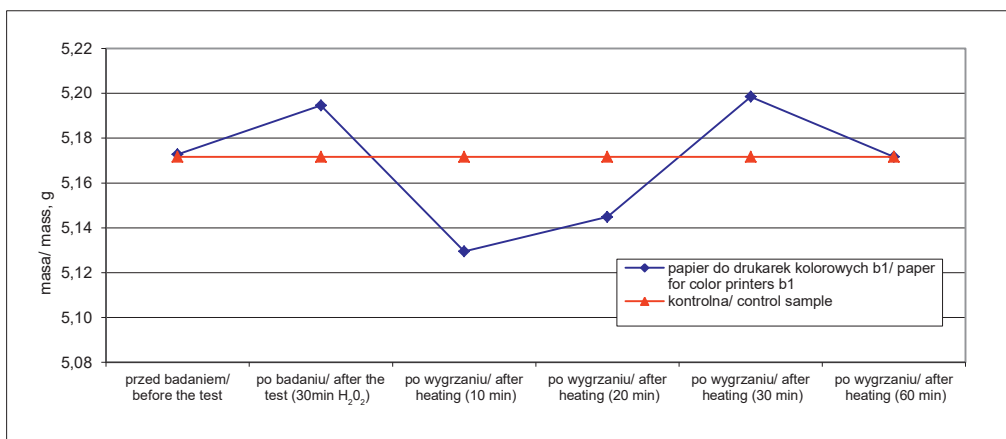
k1.1



Rycina 8. Skany stron: b1.1 – po procesie likwidacji skażeń; k1.1 – próbka kontrolna. Rozdzielczość skanowania 2400 dpi
Figure 8. The scans of pages: b1.1 – after decontamination; k1.1 – control sample. Scanned at 2400 dpi

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 9. Zmiana masy papieru po procesie likwidacji skażeń i suszeniu

Figure 9. The change of paper mass after decontamination and drying

Źródło: Opracowanie własne.

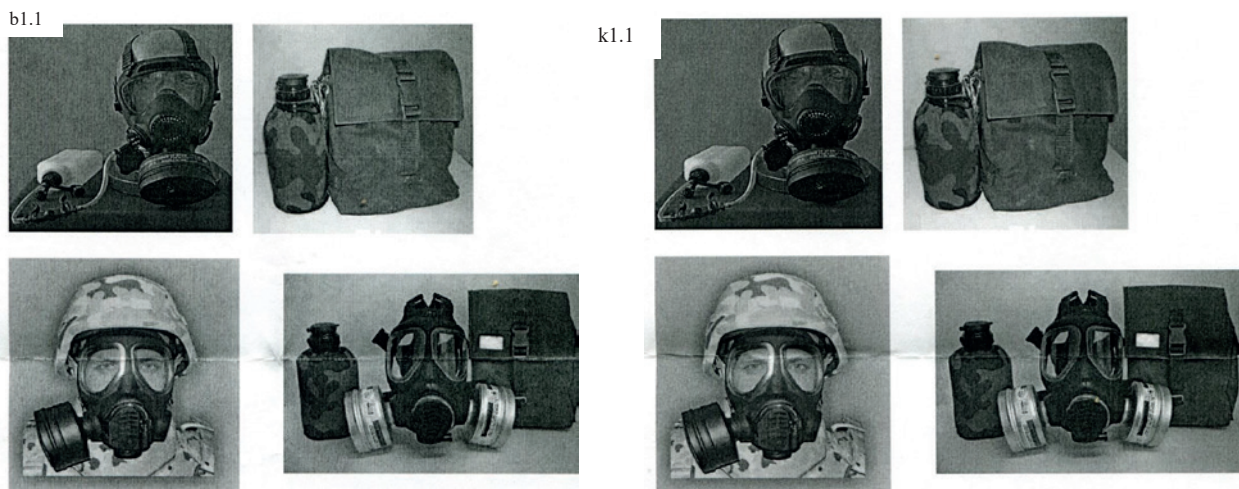
Source: Own elaboration.

Z analizy wizualnej skanów wydruku z drukarki atramentowej z rozdzielczością 800 i 2400 dpi nie stwierdza się zmian koloru zdjęć, czcionki i papieru.

No changes in photo, font and paper colour are identified after a visual analysis of ink printer printout scans with resolutions of 800 and 2400 dpi.

Papier biały „speed” 80 g/m² do ksero i drukarek laserowych

White “speed” 80 g/m² paper for photocopiers and laser printers;

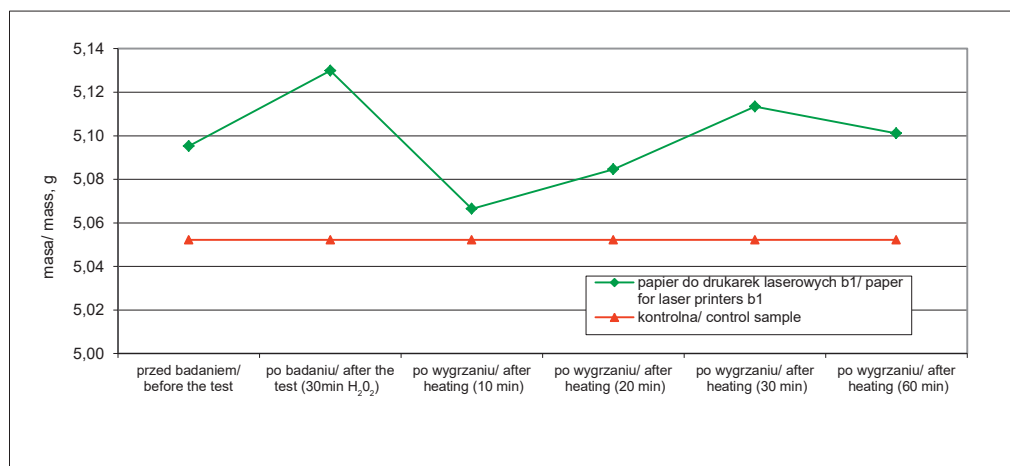


Rycina 10. Skany stron: b1.1 – po procesie likwidacji skażeń; k1.1 – próbka kontrolna. Rozdzielczość skanowania 2400 dpi

Figure 10. The scans of pages: b1.1 – after decontamination; k1.1 – control sample. Scanned at 2400 dpi

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 11. Zmiana masy papieru po procesie likwidacji skażeń i suszeniu

Figure 11. The change of paper mass after decontamination and drying

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Z analizy wizualnej skanów wydruku z drukarki laserowej z rozdzielczością 800 i 2400 dpi nie stwierdza się zmian koloru zdjęć, czcionki i papieru.

No changes in photo, font and paper colour were identified in a visual analysis of laser printer printout scans with resolutions of 800 and 2400 dpi.

Papier z brulionu A4 – lata 80. XX w.
Pismo długopisem

A4 notebook paper from the 1980s
Pen handwriting

b1.1

1.2 ~~Konwencja~~ ~~prawa~~ ~~związana~~ ~~z~~ ~~zasadą~~ ~~niezależności~~ ~~w~~ ~~wojnie~~ ~~broni~~ ~~chemicznej~~,
Kontrowersje koła polityczne i wojskowe NATO należą do broni chemicznej,
jako ważny element sił odstraszania. Broni ta, zgodnie z poglądami NATO,
może być używana w wojnach globalnych i lokalnych, zarówno w operacjach
zaskarżonych jak i odwrotnych, z naciskiem na bez użycia broni jądrowej.
Broni chemiczna może być używana w celu rażenia sił żywej bezpośrednio
na jej walki, a także w celu obciążenia sił obrony na głębokim za-
pleczu.

W regulacjach jądrowych sił zbrojnych USA formułuje się następujące
zasady użycia broni chemicznej w ujęciu:

k1.1

1. PRZEDMIOT BADAŃ
Przedmiotem badań były ^{grupowe} paliwoty o impregnacji przeciwchemicznej
minimalizowania wykonanej z serii modelowej hydroforyzowanej chloroaminy DIT
wykonanej w 1984 roku przez Instytut Przemysłu Organicznego.

2. PODSTAWA REALIZACJI PRACY
Praca prowadzona w oparciu o: ~~zatrudzenie przez Instytut~~
- zatrudnione przez Zastępcę szefa Badań i Rozwoju Techniki Wojskowej
Zadanie Techniczne ZT-26/83.
- harmonogram realizacji pracy na rok 1985 HRP-5/85
- zatrudnionemu przez Zastępcę Kierownika NIKiR d/s Naukowo-Badawczych
program badań serii modelowej hydroforyzowanej chloroaminy DIT,
- projekt Wytycznej Techniczno-Technicznych na paliwoty środków do impregnacji
przeciwchemicznej minimalizowania,
- Techniczne Wytycznice Techniczne na odzież ochronną filtracyjną.

Rycina 12. Skany stron: b1.1 – po procesie likwidacji skażeń; k1.1 – próbka kontrolna. Rozdzielczość skanowania 2400 dpi

Figure 12. The scans of pages: b1.1 – after decontamination; k1.1 – control sample. Scanned at 2400 dpi

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Pismo ołówkiem

Pencil handwriting

b1.1

w ICSD pod nazwą Bikanol E-1. W efekcie wytyżowano
 do dalszych badań odkaźnik organiczny C-9 o składzie
 - etanolamine 29,5%
 - 2-etokrytanol 66,8%
 - sodu postać Na^+ 3,7%.
 W ramach ^{swob. MOD} maksymalnego obciążenia w stosunku do deto-
 kuczających nowopreparowanego odkaźnika do ORD
 osiągnięto przy systemie zawiesin sodu z 2%
 stosowanym do ORD do 3,7% w odkaźniku nowoprepara-
 wym C-9.

k1.1

- stosowane komponenty, a przynajmniej główne składniki
 receptury - roztwór, powinny być powszechnie dostępne;
 - odkaźnik powinien być odkaźnikiem typu aminoalkoha-
 lenowego o uniwersalnych właściwościach detokuczających.
 W ramach realizacji pracy wykonano:
Wzrost 01. Badania nad wytyżaniem składników
 odkaźnika postawiono prowadzić oparciu badani
 syntezą detokuczającej i pentu siarkowego, alkoholem ten
 siroksu tynier najtrudniej poddaje się detokuczacji
 w mechanizmie S_N2. Od jej poprzednia.

Rycina 13. Skany stron: b1.1 – po procesie likwidacji skażeń; k1.1 – próbka kontrolna. Rozdzielczość skanowania 2400 dpi

Figure 13. The scans of pages: b1.1 – after decontamination; k1.1 – control sample. Scanned at 2400 dpi

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Pismo piórem atramentowym

Fountain pen handwriting

b1.1

Zestawy Z0d-2 produkcji 1985/86 wyposażone były w metalowe pojemniki na odkaźniki. Na spotkaniu odnośnie uwag do dokumentacji ustalono, że z dyrektorem ZO:US FSC Lublin, że kasał ten, na terenie NICHIR, około mykoma formy do produkcji pojemników polietylenowych na odkaźniki. Wskazano też komisję 1985 roku, w ramach realizacji tematu "BATYRA", NICHIR wystąpi z zamówieniem i umowami na wykonanie formy. ZO:US FSC zobowiązał się do wykonania formy w pierwszym półroczu 1986 roku. Ewentualnym producentem pojemników mogą być zakłady Tworzyw Sztucznych Obrotowe "ERG" w Cestochowie. W czasie rozmowy z Z-ca Dyrektora d/s Technicznych Ob. Podsiadkiem w dniu 1985.06.13 w czasie rozmowy, z przedstawicielami NICHIR, w dniu 1985.06.13 zobowiązał się do wyprodukowania ~~ewentualnej~~ niezbędnej ilości pojemników do dostarczenia formy.

k1.1

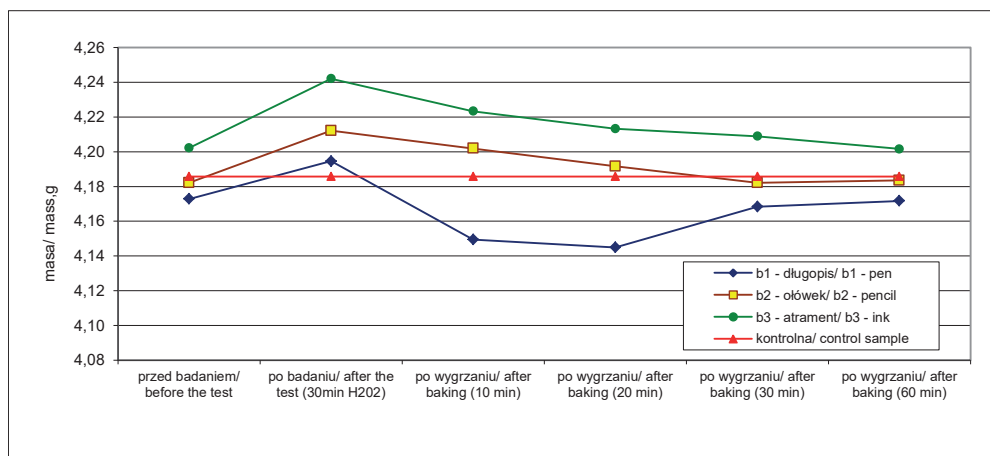
wyniki w celu zjawienia jasności w produkcji i gospodarstwa oszczędności zamówieniami proponuje się symbol wyników Z0d-2".
 Nazwa Z0d-2 zaakceptowała SZI DTU.
 Na tym spotkaniu, zgodnie z ustaleniemi protokołu mykoma badania ^{zestawu Z0d-2 na} ~~zestawu~~ T-55 RM wykonanymi przez NITPiS, zmierzono mocowanie skryki zestawu. Skryka ~~mocowana jest za pomocą~~.
 Na komputer skryki doszawano cztery milia. Skryka zestawu może się za pomocą czterech śrub M-16x5,8-II do specjalnych kołków stalowych. Na spotkaniu tym ustalono umówienie zestawu Z0d-2.

Rycina 14. Skany stron: b1.1 – po procesie likwidacji skażeń; k1.1 – próbka kontrolna. Rozdzielczość skanowania 2400 dpi

Figure 14. The scans of pages: b1.1 – after decontamination; k1.1 – control sample. Scanned at 2400 dpi

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 15. Zmiana masy papieru po procesie i suszeniu

Figure 15. The change of paper mass after the process and drying

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Z analizy wizualnej skanów materiału papierniczego z brulionu, z pismem wykonanym długopisem, piórem i ołówkiem z rozdzielczością 800 i 2400 dpi nie stwierdza się zmian koloru pisma i papieru.

No changes in handwriting and paper colour are identified after a visual analysis of scans of a paper material from a handbook with pen, fountain pen and pencil handwriting, with resolutions of 800 and 2400 dpi.

Podsumowanie

Opisana metoda dezynfekcji jest perspektywiczna i możliwa do wykorzystania z dobrą skutecznością do likwidacji skażeń dużych pomieszczeń, aparatury, wyposażenia oraz dokumentacji, w tym materiałów archiwalnych.

Właściwy dobór temperatury i stężenia GNW był niezbędny, aby uniknąć kondensacji jego par oraz pary wodnej. Ten warunek, wraz z obniżeniem temperatury, ograniczał najwyższe stężenie GNW, jakie mogło być zastosowane w danej temperaturze. Im wyższa temperatura, tym wyższe stężenie GNW mogło być zastosowane, by proces dezynfekcji przebiegał szybciej.

Wnioski

1. Wystarczającą skuteczność procesu dezynfekcji uzyskano dla stężenia GNW 1000 ppm przy czasie trwania procesu na poziomie 30 minut oraz w temperaturze 50°C – niezależnie od czynnika skażającego.
2. W powyższych warunkach proces nie wpływa destrukcyjnie na materiały papiernicze.
3. W dalszych badaniach należy sprawdzić kompatybilność materiałową GNW z układami elektronicznymi, materiałami optycznymi, tworzywami sztucznymi i wyrobami włókienniczymi.

GNW – gazowy nadtlenek wodoru

Summary

The described disinfection method is promising and can be used with high efficiency to decontaminate large rooms, apparatus, equipment and documents, including archival materials.

The correct selection of temperature and GHP concentration was necessary to avoid the condensation of its vapour and steam. This condition, along with the restriction of temperature, limited the maximum concentration of the GHP which could have been used at a given temperature. The higher the temperature, the higher the concentration of GHP which can be used to accelerate the disinfection process.

Conclusions

1. Sufficient effectiveness of the disinfection process was obtained for a GHP concentration of 1000 ppm, for process time of 30 minutes and temperature of 50°C – irrespective of the contaminant.
2. The aforementioned conditions ensure that the process has no destructive impact on stationery.
3. Subsequent research should evaluate the material compatibility of GHP with electronic systems, optical materials, plastics and textile products.

GHP – gaseous hydrogen peroxide

Literatura/Literature

- [1] Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD/3.8(A), Ministerstwo Obrony Narodowej, Centrum Doktryny i Szkolenia Sił Zbrojnych Szkol. 869/2013.
- [2] Książek J., *Oddziaływanie mikroflory bytującej w materiałach archiwalnych na organizm ludzki*, „Archiwista Polski”, 2007, 1, 43–51.
- [3] Special Report on Use of Chemical Weapons in Damascus Suburbs In Eastern Gotas Violation Documentation Center in Syria 22 August 2013, <http://www.vdc-sy.info/index.php/en/reports//chemicaldamascussuburbs>, [dostęp: 02.09.2016].
- [4] Harmata W., Kłosowicz S., Chałupczak M., Pępczyńska M., Fediuk W., *Dezynfekcja za pomocą par nadtlenu wodoru*, „Przem. Chem.” 2013, 92, 5, 698–704.
- [5] Harmata W., Kłosowicz S., Witczak M., Pirszel J., Fediuk W., *Likwidacja skażeń powierzchni „wrażliwych”*, BiTP Vol. 38 Issue 2, pp. 73–87.
- [6] McDonnell G., Russel A.D., *Antiseptics and disinfectants. Activity, action and resistance*, „Clin. Micro. Rev.” 1999, 12, 147–179.
- [7] McAnoy A.M., Sait M., Pantelidis S., *Establishment of a Vaporous Hydrogen Peroxide Bio-Decontamination Capability*, Human Protection Performance Division Defence Science and Technology Organisation DSTO-TR-1994.
- [8] Wagner G.W., Procell L.R., Sorrick D.C., Lawson G.E., Wells C.M., Reynolds Ch.M., Ringelberg D.B, Foley K.L., Lumetta G.J., Blanchard D. L. Jr., *Weather Hydrogen Peroxide-Based Decontamination of CBRN Contaminants*, „Ind. Eng. Chem. Res.” 2010, 49, 3099–3105.
- [9] 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.
- [10] Patent US, Vaporized hydrogen peroxide decontamination adjustment mode (wo/2006/046993 vaporized hydrogen peroxide concentration detector), <http://www.faqs.org/patents/app/20080267818> [dostęp: 04.2014].
- [11] Wagner G.W., Sorrick D.C., Procell L.R., *Decontamination of VX, GD, and HD on surface using modified vaporized hydrogen peroxide*, „Langmuir” 2007, 23, 1178–1186.
- [12] 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*, 9th CBW Protection Symposium, May 2007.
- [13] Harmata W., Kłosowicz S., Chałupczak M., Pępczyńska M., Fediuk W., *Dezynfekcja za pomocą par nadtlenu wodoru*, „Przem. Chem.” 2013, 92, 5, 1000–1006.

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.

MGR. INŻ. ANNA MARKOWSKA – w roku 2016 ukończyła studia na Wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Oficer Wojsk Chemicznych; specjalność – ochrona przed skażeniami.

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.

WŁADYSŁAW HARMATA, PH.D. ENG. – graduated in 1978 from the Faculty of Chemistry and Technical Physics, Military University of Technology in Warsaw. He is a professor at the Faculty of Chemistry and New Technologies MUT; specialty – decontamination and protection against contamination.

ANNA MARKOWSKA, M.SC. ENG. – graduated in 2016 at from Faculty of Chemistry and New Technologies, Military University of Technology in Warsaw. An officer in chemical corps; specialty – protection against contamination.

JACEK PIRSZEL, PH.D. – graduated in 1990 from the Faculty of Chemistry, Maria Curie-Skłodowska University in Lublin. Is a doctor of biological sciences and a lecturer at the Military Institute of Chemistry and Radiometry. Specialty – decontamination technologies, toxicology and chemical analysis, including in particular the chromatographic analysis of chemical warfare agents and natural toxins.