



## Likwidacja skażeń – dezynfekcja wyrobów papierowych

WŁADYSŁAW HARMATA

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii WAT,  
ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, wladyslaw.harmata@wat.edu.pl

**Abstrakt.** W pracy scharakteryzowano problemy likwidacji skażeń powierzchni skażonych substancjami biologicznymi. Przeanalizowano możliwość skażeń różnych powierzchni wirusem SARS-CoV-2. Analizowano procesy dezynfekcji z uwzględnieniem metody z wykorzystaniem gazowego nadtlenu wodoru. Przedstawiono wyniki badań skuteczności dezynfekcji oraz kompatybilności materiałowej wytypowanych wyrobów, głównie wykonanych z papieru, za pomocą gazowego nadtlenu wodoru.

**Słowa kluczowe:** wyroby papierowe, dezynfekcja, gazowy nadtlenek wodoru, koronawirus

**DOI:** 10.5604/01.3001.0015.3840

### 1. Wprowadzenie

Likwidacja skażeń jest bardzo trudnym procesem pod względem technicznym i technologicznym, gdyż dotyczy skażeń (zakażeń) powierzchni, głównie wnętrz, aparatury, dokumentacji oraz specjalistycznego wyposażenia, które po przeprowadzonym procesie powinny być bezpieczne dla ludzi i środowiska. Obecnie możliwość skażenia lub zakażenia zespołów ratowniczych lub kontyngentów wojskowych jest bardzo prawdopodobna. System reagowania kryzysowego kraju (w tym SZ RP) dysponuje środkami oraz technologiami do prowadzenia procesów likwidacji skażeń tzw. metodami mokrymi (substancja czynna najczęściej występuje w postaci roztworu wodnego lub są to ciekłe mieszaniny organiczne), które są nieprzydatne do likwidacji skażeń np. elektroniki czy dokumentacji papierowej. Niezależnie od źródła skażeń chemicznych i biologicznych ważne jest szybkie dotarcie do przyczyny zagrożenia i skuteczna jej likwidacja. Poza pomocą poszkodowanym należy

dokonać likwidacji skażeń materiałów, urządzeń, sprzętu i odzieży, aby z jednej strony zapobiegać skażeniom wtórnym bądź rozprzestrzenianiu się skażeń biologicznych, z drugiej przywrócić skażonym materiałom i przedmiotom cechy użytkowe. Jedną z możliwości rozwiązania praktycznego tego problemu jest zastosowanie gazowego (waporyzowanego) nadtlenu wodoru oraz przewoźnego urządzenia do prowadzenia likwidacji skażeń w miejscu jego występowania.

## 2. Likwidacja skażeń – dezynfekcja

Likwidacja skażeń to proces, którego celem jest 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]. Proces likwidacji skażeń jest najtrudniejszym w systemie obrony przed bronią masowego rażenia. Wymaga zaangażowania znacznych sił i środków oraz czasu. Z uwagi na ciągle wprowadzanie nowych materiałów konstrukcyjnych, nowych rozwiązań bazujących na mikroelektronice i optoelektronice system ten nie nadąża za wymaganiami [2].

Dezynfekcja to proces mający na celu niszczenie drobnoustrojów i ich przetrwalników. Wykorzystuje się do niej metody fizyczne, chemiczne i termiczno-chemiczne. Czynniki chemiczne: czwartorzędowe sole amoniowe, alkohole (np. alkohol etylowy, izopropylowy), aldehydy (np. formaldehyd, aldehyd glutarowy), związki fenolowe (np. krezol, rezorcynol), biguanidy (np. chlorheksydyna), utleniacze — ozon ( $O_3$ ), nadtlarki (np.  $H_2O_2$ , kwas nadoctowy), tenzydy (np. mydła) i inne [3, 4, 5, 6]. Czynniki fizyczne: promieniowanie — do dezynfekcji stosowane jest promieniowanie UV o długości fali 256 nm lub para wodna, najczęściej przegrzana [7, 8].

Rok 2020 można uznać za rok koronawirusa SARS-CoV-2. Wirus przenosi się najczęściej drogą kropelkową. Zakaźne aerozole mogą być emitowane podczas kaszlu, kichania, wraz ze śliną, ale również podczas rozmowy, śpiewania, wysiłku fizycznego, nawet wydechu. Mogą powodować zakażenia aerzolowe, czyli pośrednio i poprzez osiadanie na cząsteczkach kurzu, pyłu itp. Włoscy naukowcy stwierdzili, że koronawirus może się przenosić na cząsteczkach pyłu zawieszonego [9]. Nie można zapomnieć o niedawnych epidemiach, np. gorączka krwotoczna w Afryce (choroba wywołana przez wirus ebola [10]), wybuch epidemii legionellozy w Nadrenii Północnej-Westfalii (legionelloza, tzw. choroba legionistów, to ciężka zakaźna choroba dróg oddechowych wywołana zakażeniem bakterią *Legionelli*) [11] czy zakażone enterokrwotocznym szczepem pałeczki okrężnicy *Escherichia coli* (EHEC) [12] ogórki w Hiszpanii, Niemczech i Norwegii, powodującej groźne dla życia infekcje układu trawiennego. Sugerują one konieczność przygotowania środków zaradczych w przypadku tego rodzaju epidemii.

W dzisiejszych czasach procesy dezynfekcji mają szczególne znaczenie ze względu na zagrożenie zakażeniem koronawirusem SARS-CoV-2. Istnieje potrzeba likwidacji skażeń biologicznych w dużych przestrzeniach zamkniętych oraz na powierzchni i wewnątrz specjalistycznej aparatury, a także dokumentacji i przesyłek papierowych lub wyrobów wykonanych z tworzyw sztucznych.

Naukowcy z The School of Public Health of the University of Hong Kong przeprowadzili badania dotyczące możliwości przetrwania koronawirusa na różnych powierzchniach. Okazuje się, że na papierze wirus może utrzymać się dłużej, niż sądzono. Swoje badania naukowcy opublikowali w prestiżowym portalu The Lancet. Naukowcy z Hongkongu przebadali żywotność koronawirusa w warunkach, które zazwyczaj występują w przestrzeni biurowej i w domu. Przyjęli temperaturę 21°C i 65% wilgotności powietrza. Lekarze przebadali m.in. papierowe elementy występujące w takich przestrzeniach — zadrukowane arkusze papieru, chusteczki higieniczne, a także banknoty. Okazało się, że najkrócej wirus żył na arkuszach papieru i chusteczkach higienicznych. Po trzech godzinach nie było już widocznych śladów. Najdłużej natomiast utrzymywał się na banknotach — nawet do czterech dni [13].

Szczególnie perspektywiczne jest zastosowanie gazowych mieszanin odkażających zamiast stosowanych do tej pory mieszanin ciekłych, pian (emulsji) czy odkażalników proszkowych. 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.

### 3. Gazowy nadtlenek wodoru jako perspektywiczny środek do dezynfekcji

Z dotychczasowych doniesień literaturowych (głównie z U.S. Army Edgewood Chemical Biological Center) wynika, że gazowy nadtlenek wodoru (oraz jego mieszaniny z amoniakiem) może mieć znacznie większą zdolność i selektywność likwidacji skażeń [14, 15, 16] w porównaniu do nadtlenu wodoru w postaci roztworów wodnych [17].

Znany jest fakt, że waporyzowany nadtlenek wodoru (ang. *vaporized hydrogen peroxide*) wykazuje szerokie spektrum aktywności wirusobójczej, bakteriobójczej, grzybobójczej i sporobójczej [18, 19, 20]. Prowadzone badania wykazały również skuteczność waporyzowanego nadtlenu wodoru w zwalczaniu parwowirusów [21], jaj nicieni [22], *Legioneli spp.* oraz patogenów zawartych w żywności [23]. Choć nieznanym jest dokładny mechanizm działania biobójczego nadtlenu wodoru, to najprawdopodobniej mogą dominować dwie reakcje: z tlenem atomowym lub z rodnikami hydroksylowymi [24]. 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.

Likwidacja skażeń (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, nadtlarki 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 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. Jest też bezpieczna dla środowiska, co stanowi ważne 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 [25, 26, 27].

W patencie amerykańskim [28] opisana jest metoda dezynfekcji dużych powierzchni (dużych objętości, np. wewnątrz samolotów) za pomocą gazowego (waporyzowanego) nadtlenu wodoru.

Z analizy dostępnych danych literaturowych wynika, że waporyzowany nadtlenek wodoru, ze względu na swoje właściwości utleniające, może być również wykorzystany do unieszkodliwiania patogenów chorobotwórczych, grzybów, bojowych środków trujących i innych substancji toksycznych [28].

*Jak długo koronawirus może przetrwać na papierze, listach, książkach, dokumentach?*

Naukowcy wciąż badają zachowanie koronawirusa SARS-CoV-2 na różnych powierzchniach. Choć niektóre kwestie pozostają sporne, to najnowsze eksperymenty pokazują, że w warunkach laboratoryjnych koronawirus może przetrwać nawet 28 dni. Ze względu na rodzaj faktury ten okres jest wartością zmienną:

1. plastik (torby, butelki, zabawki, karty kredytowe, włączniki/wyłączniki światła, klawiatura i myszka komputerowa) — od 3 do 7 dni;
2. metal (klamki, biżuteria, klucze) — od 3 do 7 dni, jednak należy tu zaznaczyć, że na miedzianych przedmiotach, do których możemy zaliczyć monety czy biżuterię, koronawirus utrzymywał się o wiele krócej (ok. 4 godzin);

3. papier (banknoty, ręczniki, gazety, papier toaletowy) — od 3 godzin do 4 dni;
4. szkło (lustra, telewizory, szyby) — do 4 dni;
5. drewno (meble) — do 2 dni [29].

O tym, jak ważne są zasady bezpieczeństwa, przekonują informacje napływające z Ministerstwa Finansów, które potwierdziło, że dokumenty trafiające do urzędów skarbowych i ZUS przechodzą kwarantannę. W specjalnych skrzynkach oczekują kilkadziesiąt godzin. W przypadku urzędów skarbowych korespondencja czeka 48 godzin, natomiast w ZUS 72 godziny [30].

Dlatego naukowcy zalecają, by ograniczyć stosowanie gotówki w sklepach. Zdaniem badaczy przeciętny banknot przechodzi przez zbyt wiele rąk, by był bezpieczny. To samo dotyczy listów i dokumentów. Choć wirus powinien zniknąć po trzech godzinach, to nie mamy pewności, że nie zaistniały dodatkowe okoliczności (list przebywał w niższej temperaturze, w innej wilgotności). Dlatego listy lepiej otwierać w rękawiczkach, a kopertę od razu wyrzucać [30].

#### 4. Badanie skuteczności dezynfekcji za pomocą gazowego nadtlenu wodoru

Badania skuteczności dezynfekcji przeprowadzono w ramach projektu badawczo-rozwojowego Nr OR00001812 *Opracowanie technologii dekontaminacji dużych przestrzeni zamkniętych za pomocą gazowego nadtlenu wodoru oraz jego mieszanin z nadtlenkami organicznymi i nieorganicznymi, amoniakiem oraz aminami*, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego [31]. Projekt realizowało konsorcjum: Wojskowa Akademia Techniczna (lider), Wojskowy Instytut Chemii i Radiometrii i Przedsiębiorstwo Innowacyjno-Wdrożeniowe „IMPULS” (konsorcjan przemysłowy). Metodyki i wyniki badań skuteczności dezynfekcji dla sporów bakteryjnych (np. *Bacillus subtilis*), grzybów pleśniowych (np. *Aspergillus niger*), grzybów drożdżopodobnych (np. *Candida albicans*), bakterii Gram-dodatnich (np. *Staphylococcus aureus*), bakterii Gram-ujemnych (np. *Pseudomonas aeruginosa*) opisano w publikacji [32]. Z przedstawionych wyników badań można wyciągnąć wniosek, że najważniejszym parametrem procesu dezynfekcji gazowym nadtlenu wodoru (GNW) 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.

W badaniach sprawdzono kompatybilność materiałową: folii aluminiowej, powierzchni pokrytej powłokami malarskimi, wyrobów tkaninowych, tkanin podgumowanych, z kamuflażem, urządzeń elektronicznych i optoelektronicznych.

Próbki podlegały ekspozycji na GNW o stężeniu 2000 ppm  $H_2O_2$  w  $50^\circ C$  przez 5 godzin. Nie stwierdzono żadnych zmian właściwości, w tym korozji, z wyjątkiem nieznacznego obniżenia intensywności barw dla tkanin. Wszystkie badane urządzenia zachowały swoje funkcje [33, 34, 35].



Rys. 1. Skany koperty: b1 — po procesie likwidacji skażeń (800 dpi); k1 — próbka kontrolna (300 dpi)  
[Źródło: ze zbiorów własnych]

Badania kompatybilności materiałowej wyrobów wykonanych z papieru:

- stężenie gazowego  $H_2O_2$  na poziomie 1000 ppm;
- temperatura:  $50^\circ C$ ;

- wilgotność na poziomie 20-30% RH;
- czas prowadzenia procesu — 60 minut. Czas oddziaływania czynnika aktywnego wynosił 30 minut. Kolejne 30 minut to etap wygrzewania w temperaturze 50°C, wykonany w celu usunięcia zaabsorbowanego nadtlenu wodoru.

Próbki papieru przed procesem likwidacji skażeń i po nim oceniano za pomocą skanera Epson Perfection V370 Photo na podstawie zmian barwy. Całe dokumenty skanowano z rozdzielczością 800 dpi — z rozróżnianiem kolorów 48-bitowym, a fragmenty tekstu (obrazu) skanowano z rozdzielczością 2400 dpi — z rozróżnianiem kolorów 24-bitowym, a dla próbek z książki z rozdzielczością 4800 dpi. Przed procesem i po procesie próbki papieru ważono, a elementy elektroniczne sprawdzano na poprawność działania.

Materiały papierowe:

- kartki z książki A.A. Лурье, *Сорбенты и хроматографические носители*, (Справочник), Москва, Издательство „Химия” 1972;
- mapa (układ współrzędnych z 1954 r.);
- papier biały HP „Home & Office” o gramaturze 80 g/m<sup>2</sup> do drukarek kolorowych;
- papier biały „speed” 80 g/m<sup>2</sup> do ksero i drukarek laserowych;
- papier z brulionu A4 — lata 80. XX w. z zapisem atramentem, długopisem i ołówkiem.

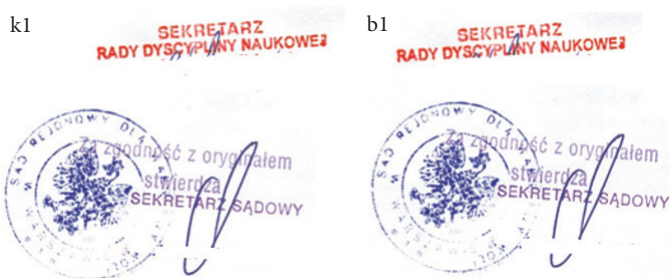
W analizie wizualnej i wykonanych skanach nie stwierdzono zmian koloru zdjęć, warstwic na mapach, czcionki, zapisów i papieru [36].



Rys. 2. Skany pieczętki i nadruku na kopercie: b1 — po procesie likwidacji skażeń (800 dpi); k1 — próbka kontrolna (300 dpi)

[Źródło: ze zbiorów własnych]

Nie stwierdzono zmian koloru nadruku, pieczętek, zapisów i tła.



Rys. 3. Skany pieczętek firmowych: b1 — po procesie likwidacji skażeń (800 dpi); k1 — próbka kontrolna (300 dpi)

[Źródło: ze zbiorów własnych]

Nie stwierdzono zmian koloru pieczętek i podpisu.



Rys. 4. Skany banknotu (300 dpi)

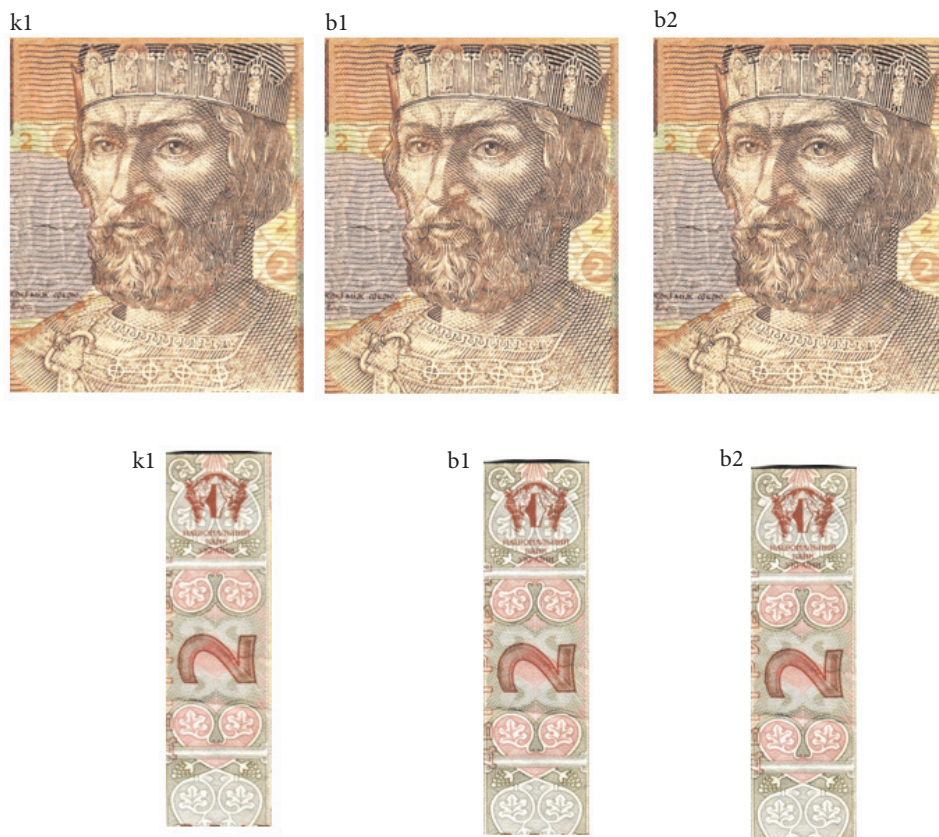
[Źródło: ze zbiorów własnych]



W dalszych badaniach sprawdzono kompatybilność materiałową wyrobów wykonanych z papieru, a mianowicie:

- kopert pocztowych z nadrukami i pieczętkami — rys. 1-2;
- pieczętek — rys. 3;
- pieniędzy papierowych — rys. 4-5;
- kartek z książki *Mały poradnik mechanika* z 1954 roku (papier V kl. 60 g) — rys. 6;
- papier błyszczący z „Głosu Akademickiego WAT” — rys. 7.

Ze względu na fakt, że skanery mają wbudowaną opcję uniemożliwiającą skanowanie banknotów będących aktualnie w obiegu, do badań wykorzystano wycofany ukraiński banknot.



Rys. 5. Skany elementów banknotu: k1 — próbka kontrolna (300 dpi), b1 — po procesie likwidacji skażeń (800 dpi), b2 — po procesie likwidacji skażeń (2400 dpi)

[Źródło: ze zbiorów własnych]

k1

ROZDZIAŁ IV — CHEMIA 195

tyczne lub z materiałem anody. Nienasycone elektrycznie dodatnie kationy pobierają z katody ujemne ładunki elektryczne, dzięki czemu stają się obojętnymi atomami, które podobnie jak to ma miejsce z anionami, albo stają się cząsteczkami i wydzielają się na katodzie, albo ulegają wtórnej reakcji chemicznej z wodą.

W rezultacie opisanych zjawisk obserwujemy: 1) przepływ prądu przez roztwór elektrolitu i 2) rozkład elektrolityczny (elektrolizę) rozpuszczonego ciała.

Ponieważ stopień dysocjacji dla każdego elektrolitu jest w danych warunkach stały, przeto na miejsce rozłożonych elektrolitycznie i zazwyczaj usuwających się z układu cząsteczek coraz to nowe ulegają dysocjacji, a nowoutworzone jony kierują się ku odpowiednim elektrodom. W miarę postępowania elektrolizy roztwór staje się coraz uboższy w elektrolit, a w końcu całkowicie się wyczerpuje.

Na rys. 1 pokazany jest przebieg elektrolizy chłorowodoru rozpuszczonego w wodzie (kwasu solnego). Na katodzie dodatnie jony wodorowe pobierają ładunek ujemny i stają się atomami, a następnie cząsteczkami wodoru, które gromadzą się pod kłosem A. Ujemne jony chloru dochodząc do anody oddają elektrodzie swój ładunek, stają się wolnymi atomami, a następnie cząsteczkami chloru i wreszcie zbierają się pod kłosem B. Rozkład elektrolityczny ma tu miejsce według następujących schematów:

$$2 \text{HCl} \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2 \text{Cl}^-$$

$$2 \text{H}^+ + 2 \ominus \rightarrow 2 \text{H} \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$$

$$2 \text{Cl}^- - 2 \ominus \rightarrow 2 \text{Cl} \rightarrow \text{Cl}_2 \uparrow$$

W sumie elektroliza odbywa się tak, jak gdyby miała miejsce reakcja  $2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Cl}_2$ .

Gdy poddamy elektrolizie roztwór kwasu siarkowego, mamy następujący przebieg zjawiska:

1. Dysocjacja elektrolityczna:  $2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 4\text{H}^+ + 2(\text{SO}_4)^{2-}$
2. Wydzielenie wodoru na katodzie:  $4\text{H}^+ + 4 \ominus \rightarrow 2\text{H}_2$
3. Wydzielenie reszty kwasowej na anodzie:  $2(\text{SO}_4)^{2-} - 4 \ominus \rightarrow 2\text{SO}_4$
4. Reakcja wolnego  $\text{SO}_4$  z wodą:  $2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2$

Sumując powyższe cztery równania i znosząc podobne wyrazy po obu stronach, otrzymamy  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 \uparrow + \text{O}_2 \uparrow$

1)  $\ominus$  oznacza ładunek elementarny elektryczności ujemnej.  
2) Znak  $\uparrow$  oznacza wywołujący się gaz.

13\*

b1

ROZDZIAŁ IV — CHEMIA 195

tyczne lub z materiałem anody. Nienasycone elektrycznie dodatnie kationy pobierają z katody ujemne ładunki elektryczne, dzięki czemu stają się obojętnymi atomami, które podobnie jak to ma miejsce z anionami, albo stają się cząsteczkami i wydzielają się na katodzie, albo ulegają wtórnej reakcji chemicznej z wodą.

W rezultacie opisanych zjawisk obserwujemy: 1) przepływ prądu przez roztwór elektrolitu i 2) rozkład elektrolityczny (elektrolizę) rozpuszczonego ciała.

Ponieważ stopień dysocjacji dla każdego elektrolitu jest w danych warunkach stały, przeto na miejsce rozłożonych elektrolitycznie i zazwyczaj usuwających się z układu cząsteczek coraz to nowe ulegają dysocjacji, a nowoutworzone jony kierują się ku odpowiednim elektrodom. W miarę postępowania elektrolizy roztwór staje się coraz uboższy w elektrolit, a w końcu całkowicie się wyczerpuje.

Na rys. 1 pokazany jest przebieg elektrolizy chłorowodoru rozpuszczonego w wodzie (kwasu solnego). Na katodzie dodatnie jony wodorowe pobierają ładunek ujemny i stają się atomami, a następnie cząsteczkami wodoru, które gromadzą się pod kłosem A. Ujemne jony chloru dochodząc do anody oddają elektrodzie swój ładunek, stają się wolnymi atomami, a następnie cząsteczkami chloru i wreszcie zbierają się pod kłosem B. Rozkład elektrolityczny ma tu miejsce według następujących schematów:

$$2 \text{HCl} \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2 \text{Cl}^-$$

$$2 \text{H}^+ + 2 \ominus \rightarrow 2 \text{H} \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$$

$$2 \text{Cl}^- - 2 \ominus \rightarrow 2 \text{Cl} \rightarrow \text{Cl}_2 \uparrow$$

W sumie elektroliza odbywa się tak, jak gdyby miała miejsce reakcja  $2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Cl}_2$ .

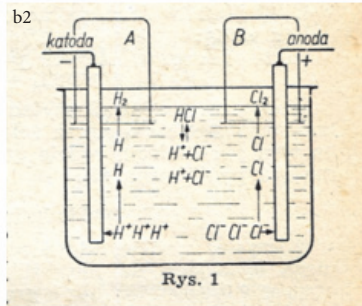
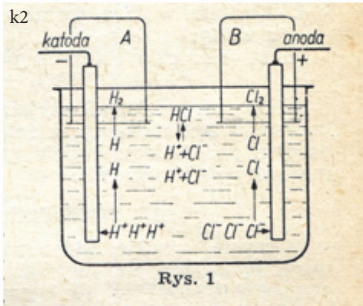
Gdy poddamy elektrolizie roztwór kwasu siarkowego, mamy następujący przebieg zjawiska:

1. Dysocjacja elektrolityczna:  $2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 4\text{H}^+ + 2(\text{SO}_4)^{2-}$
2. Wydzielenie wodoru na katodzie:  $4\text{H}^+ + 4 \ominus \rightarrow 2\text{H}_2$
3. Wydzielenie reszty kwasowej na anodzie:  $2(\text{SO}_4)^{2-} - 4 \ominus \rightarrow 2\text{SO}_4$
4. Reakcja wolnego  $\text{SO}_4$  z wodą:  $2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2$

Sumując powyższe cztery równania i znosząc podobne wyrazy po obu stronach, otrzymamy  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 \uparrow + \text{O}_2 \uparrow$

1)  $\ominus$  oznacza ładunek elementarny elektryczności ujemnej.  
2) Znak  $\uparrow$  oznacza wywołujący się gaz.

13\*



k3

$$2 \text{HCl} \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2 \text{Cl}^-$$

$$2 \text{H}^+ + 2 \ominus \rightarrow 2 \text{H} \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$$

$$2 \text{Cl}^- - 2 \ominus \rightarrow 2 \text{Cl} \rightarrow \text{Cl}_2 \uparrow$$

W sumie elektroliza odbywa się tak, jak gdyby miała miejsce reakcja  $2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Cl}_2$ .

b3

$$2 \text{HCl} \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2 \text{Cl}^-$$

$$2 \text{H}^+ + 2 \ominus \rightarrow 2 \text{H} \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$$

$$2 \text{Cl}^- - 2 \ominus \rightarrow 2 \text{Cl} \rightarrow \text{Cl}_2 \uparrow$$

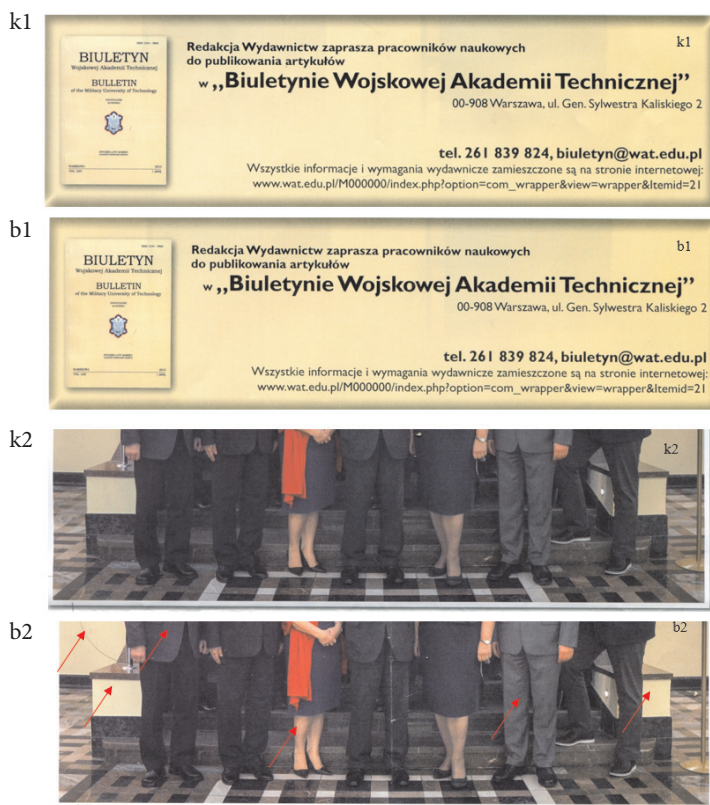
W sumie elektroliza odbywa się tak, jak gdyby miała miejsce reakcja  $2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Cl}_2$ .

Rys. 6. Skany kartki z książki: k1 — próbka kontrolna (300 dpi), b1 — po procesie likwidacji skażeń (800 dpi), k2 — kontrolna: element kartki; b2 — po procesie likwidacji skażeń (2400 dpi); k3 — kontrolna: element kartki; b3 — po procesie likwidacji skażeń (2400 dpi)

[Źródło: ze zbiorów własnych]

Nie stwierdzono zmian koloru tła i warstw. Z uwagi na brak możliwości skanowania banknotów obiegowych banknoty o nominałach 10, 20, 50 i 1000 zł poddano procesowi dezynfekcji, a ocenę ich stanu przeprowadzono wizualnie za pomocą szkła powiększającego — nie stwierdzono jakichkolwiek zmian typu odbarwienia.

Nie stwierdzono zmian koloru druku i tła.



Rys. 7. Skany stron „Głosu Akademickiego”: k1 — kontrolna: element kartki; b1 — po procesie likwidacji skażeń (2400 dpi); k2 — kontrolna: element kartki; b2 — po procesie likwidacji skażeń (2400 dpi)

[Źródło: ze zbiorów własnych]

Z analizy wizualnej skanów stron „Głosu Akademickiego” z rozdzielczością 800 i 2400 dpi nie stwierdza się zmian koloru czcionki i papieru. Obserwuje się lekkie rozjaśnienie materiału po oddziaływaniu nadtlenu wodoru.

## 5. Podsumowanie

W czasie pandemii COVID-19 dostarczanie w sposób bezpieczny różnego rodzaju przesyłek jest problemem. Nie każdą korespondencję można przesłać pocztą elektroniczną, a jeżeli koronawirus SARS-CoV-2 nie traci swoich właściwości zakaźnych na wyrobach z papieru lub z tworzyw sztucznych przez cztery dni, to zakładany 72-godzinny okres kwarantanny może być za krótki.

W kraju podjęto badania nad procesem dezynfekcji powierzchni i materiałów niepodatnych na tzw. mokre metody likwidacji skażeń z wykorzystaniem gazowego nadtlenu wodoru. Laboratoryjne wyniki badań kompatybilności materiałowej są obiecujące. W dalszych badaniach należałoby określić parametry technologiczne procesu, np. w jakiej formie poddawać dezynfekcji pliki dokumentów: jako pojedyncze kartki czy cały plik. To samo dotyczyłoby również korespondencji: czy tylko koperta, czy cała przesyłka. Problemem będą banknoty. Co prawda istnieje możliwość transakcji bezgotówkowych (karta, telefon), ale niestety nie rozwiązuje to problemu. Małe sklepy, bazary, targowiska nie korzystają z tego typu rozliczeń. Problemem jest ocena stanu ich powierzchni, w szczególności ocena stanu zabezpieczeń banknotów po procesie dezynfekcji GNW. Wydaje się, że szukaniem rozwiązania powinny zająć się np. laboratoria kryminalistyczne.

Według danych literaturowych, aby osiągnąć pożądany wynik dezynfekcji, zastosowany środek dezynfekcyjny musi spełniać wiele określonych kryteriów. Cechy idealnego środka dezynfekcyjnego to m.in.:

- skuteczność w krótkim czasie kontaktu,
- trwałość, czyli stabilność chemiczna, a także niepalność,
- skuteczność w obecności obciążenia organicznego,
- brak toksyczności i negatywnego wpływu na środowisko oraz zapachu nie do zaakceptowania przez użytkownika,
- kompatybilność materiałowa z dezynfekowanymi powierzchniami,
- szeroki zakres aktywności obejmujący bakterie, grzyby, prątki, wirusy [37, 38, 39].

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że metoda z wykorzystaniem gazowego nadtlenu wodoru jako czynnika dezynfekcyjnego spełnia powyższe kryteria.

Wydaje się, że urzędnicy do „suchej” dezynfekcji za pomocą GNW powinny znaleźć się w urzędach centralnych, ZUS, bankach i urzędach pocztowych.

Artykuł był współfinansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach realizacji projektu UGB 762/WAT/2020 *Naukowe podstawy doskonalenia wojskowego systemu rozpoznania skażeń i obrony przed bronią masowego rażenia*.

Artykuł wpłynął do redakcji 6.11.2020. Zatwierdzono do publikacji 15.12.2020.

Władysław Harmata <https://orcid.org/0000-0001-6271-9000>

#### LITERATURA

- [1] Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD-3.8(B), Ministerstwo Obrony Narodowej, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych Szkol. 978/200.
- [2] HARMATA W., *Ochrona przed skażeniami. Cz. IV. Wybrane zagadnienia metodologiczne, organizacyjne i techniczne likwidacji skażeń*, Wyd. WAT, Warszawa 2019.
- [3] TRZCIŃSKA A., *Badanie aktywności wirusobojczej środków dezynfekcyjnych stosowanych w obszarze medycznym*, *Zakażenia XXI Wieku*, 2, 5, 2019, 241-248.
- [4] KSIĄŻCZYK M., KRZYŻEWSKA E., FUTOMA-KOŁOCH B., BUGLA-PŁOSKOŃSKA G., *Oddziaływanie związków dezynfekcyjnych na komórki bakteryjne w kontekście bezpieczeństwa higieny i zdrowia publicznego*, *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej* [online], 69, 2015, 1042-1055.
- [5] OBLĄK E., GAMIAN A., *Biologiczna aktywność czwartorzędowych soli amoniowych (CSA)*, *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej* [online], 2010, 64, 201-211.
- [6] GŁUSZEK K., *Ocena wrażliwości szczepów Staphylococcus aureus na środki dezynfekcyjne*, *Studia Medyczne*, 19, 2010, 13-23.
- [7] MAŁECKA I., BOROWSKI G., *Dezynfekcja powietrza promieniami UV i promieniową jonizacją katalityczną w instalacjach wentylacyjnych*, *Zeszyty Naukowe — Inżynieria Lądowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska*, nr 3, 2011, 25-30.
- [8] PINEAU L., ESBUQUOIS C., *Dezynfekcja z użyciem pary, skuteczność antybakteryjna*, Biotech-Germade Laboratory, Marseilles, <http://www.meden.pl/media/downloads/sanivap/pl/PUBLICATION-DEZYNEFKJA-z-uyciem-pary.pdf>, [dostęp: 10 października 2020].
- [9] *Koronawirus na pyłach* [online], <https://fakty.interia.pl/raporty/raport-koronawirus-chiny/aktualnosc/news-koronawirusa-wykryto-na-czasteczkach-zanieczyszczenia-powiet,nId,4458682>, [dostęp: 10 września 2020].
- [10] BÜHLER S., RODDY P., NOLTE E., BORCHERT M., *Clinical documentation and data transfer from Ebola and Marburg virus disease wards in outbreak settings: health care workers' experiences and preferences*, *Viruses*, 6, 2014, 927-937.
- [11] *Zakażenia bakterią legionelli* [online], <http://tvnmeteo.tvn24.pl/informacje-pogoda/swiat,27/wybuch-smiertelnie-groznej-epidemii-w-afryce-zachodniej-to-wirus-ebola,117171,1,0.html> [dostęp: 10 października 2020].
- [12] EHEC [online], <https://tvn24.pl/swiat/salata-ogorki-pomidory-ehc-pilnie-poszukiwana-ra173092-3527572> [dostęp: 14 października 2020].
- [13] *Koronawirus na papierze*, <https://portal.abczdrowie.pl/jak-dlugo-koronawirus-moze-przetrwac-na-papierze-na-listach-ksiazkach-dokumentach> [dostęp: 14 października 2020].
- [14] WAGNER G.W., SORRICK D.C., PROCELL L.R., *Decontamination of VX, GD, and HD on surface using modified vaporized hydrogen peroxide*, *Langmuir*, 23, 2007, 1178-1186.
- [15] WAGNER G.W., SORRICK D.C., PROCELL L.R., BRICKHOUSE M.D., McVEY I.F. AND 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.

- [16] 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, 2005.
- [17] 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., 90, 2011, 446-452.
- [18] KLAPES N.A., VESLEY D., *Vapour-phase hydrogen peroxide as decontaminant and sterilant*, Appl. Environ. Microbiol. 56, 1990, 503-506.
- [19] KOKUBO M., INOUE T., AKERS J., *Resistance of common environmental spores of the genus Bacillus to vapor hydrogen peroxide*, PDA J. Pharm. Sci. Technol. 52, 1998, 228-231.
- [20] MALMBORG A., WINGREN M., BONFIELD P., McDONNELL G., *Room decontamination with vaporized hydrogen peroxide*, Cleanrooms. Listopad, 2001.
- [21] 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. 21-25 października 2001.
- [22] AUSTIN 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, TX. 27-31 października 2002.
- [23] McDONNELL G., GRIGNOL G., ANTLOGA K., *Vapour phase hydrogen peroxide decontamination of food contact surfaces*, Dairy Food Environ. Sanit., 22, 2002, 23-28.
- [24] McDONNELL G., RUSSEL A.D., *Antiseptics and disinfectants. Activity, action and resistance*, Clin. Micro. Rev., 12, 1999, 147-179.
- [25] MCANAY 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.
- [26] WAGNER W.G., PROCELL L.R., SORRICK D.C., LAWSON G.E., WELLS C.M., REYNOLDS C.M., RINGELBERG D.B., FOLEY K.L., LUMETTA G.J., AND BLANCHARD D.L., JR., *Weather Hydrogen Peroxide-Based Decontamination of CBRN Contaminants*, Ind. Eng. Chem. Res., 2010, 49, 3099-3105.
- [27] MCANAY 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, February 2007.
- [28] Patent US *Vaporized hydrogen peroxide decontamination adjustment mode* (wo/2006/046993 vaporized hydrogen peroxide concentration detector) <http://www.faqs.org/patents/app/20080267818> [dostęp: 10 października 2020]
- [29] *Powierzchnie* [online], <https://www.medonet.pl/koronawirus-pytania-i-odpowiedzi/jak-sie-chronic,jak-dlugo-koronawirus-covid-19-przetrwa-na-przedmiotach-,artykul,91659604.html> [dostęp: 29 października 2020].
- [30] GOŁĘBIEWSKI M., *Jak długo koronawirus może przetrwać na papierze, na listach, książkach, dokumentach?* [online], <https://portal.abczdrowie.pl/jak-dlugo-koronawirus-moze-przetrwac-na-papierze-na-listach-ksiazkach-dokumentach> [dostęp: 29 października 2020].
- [31] KŁOSOWICZ S., HARMATA W., PIRSZEL J., FEDIUK W., *Sprawozdanie końcowe z realizacji projektu badawczego Nr O R00 0018 12 „Opracowanie technologii dekontaminacji wnętrza za pomocą waporyzowanego nadtlenu wodoru oraz mieszanin gazowego nadtlenu wodoru z nadtlenkami organicznymi, amoniakiem oraz aminami”*, WAT, Warszawa, 2012.

- [32] HARMATA W., KŁOSOWICZ S., CHAŁUPCZAK M., PĘPCZYŃSKA M., FEDIUK W., *Dezynfekcja za pomocą par nadtlenku wodoru*, Przem. Chem., 92, 5, 698, 2013, 698-704.
- [33] HARMATA W., KŁOSOWICZ S., CHAŁUPCZAK M., PĘPCZYŃSKA M., PIRSZEL J., *Mobilny system do odkażania materiałów barierowych i sprzętu skażonych iperytem siarkowym*, Przem. Chem., 93, 4, 2014, 468-471.
- [34] HARMATA W., KŁOSOWICZ S., CHAŁUPCZAK M., WITCZAK M., PIRSZEL J., *Problemy likwidacji skażeń powierzchni wrażliwych*, Biuletyn Wojskowego Instytutu Chemii i Radiometrii WICHiR, 43, 1, 2014, 63-76.
- [35] HARMATA W., KŁOSOWICZ S., WITCZAK M., PIRSZEL J., FEDIUK W., *Likwidacja skażeń powierzchni „wrażliwych”*, BiTP, 38, 2, 73-87.
- [36] HARMATA W., MARKOWSKA A., PIRSZEL J., *Dezynfekcja powierzchni „wrażliwych”*, BiTP, 47, 3, 2017, 28-44.
- [37] World Health Organization and Pan American Health Organization. *Decontamination and reprocessing of medical devices for health-care facilities*, 2016 [online], [www.who.int/infection-prevention/publications/decontamination/en/](http://www.who.int/infection-prevention/publications/decontamination/en/) [dostęp: 4 listopada 2020].
- [38] RUTALA W.A., WEBER D.J., *Selection of the ideal disinfectant*, Infect Control Hosp Epidemiol. 35, 7, 2014, 855-865.
- [39] TRZCIŃSKA A., *Dezynfekcja przeciwwirusowa w obszarze medycznym*, Post. Mikrobiol., 58, 1, 2019, 101-110.

W. HARMATA

### Decontamination – disinfection of paper products

**Abstract.** In this paper, the problems of elimination of surface contamination with biological substances were characterised. The possibility of SARS-CoV-2 virus contamination of various surfaces was analysed. Disinfection processes were characterised, including the method using hydrogen peroxide gas. The test results of disinfection effectiveness and material compatibility of selected products, mainly these made of paper, disinfected by means of hydrogen peroxide gas were presented.

**Keywords:** paper products, disinfection, hydrogen peroxide gas

**DOI:** 10.5604/01.3001.0015.3840

