

# Perspektywy wykorzystania ozonu

mgr inż. Kinga Skalska

prof. dr hab. inż. Stanisław Ledakowicz

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechnika Łódzka

## Rozwój dezynfekcji chemicznej perspektywy wykorzystania ozonu Streszczenie

Zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa w laboratoriach przemysłowych, medycznych i mikrobiologicznych, w których może wystąpić ryzyko rozprzestrzenienia się niebezpiecznych mikroorganizmów, jest wyjątkowo ważne w dzisiejszych czasach. Jednym z podstawowych działań jest rutynowa, jak i awaryjna dezynfekcja laboratorium przeprowadzana metodami fizycznymi oraz przy użyciu różnych środków chemicznych.

W artykule przedstawiono niektóre z często stosowanych dezynfekantów, a także opisano możliwość wykorzystania ozonu do dezynfekcji pomieszczeń laboratoryjnych. Ponad 150 lat temu, w okresie rewolucji przemysłowej, nastąpił znaczny rozwój immunologii medycznej zapoczątkowany przez odkrycia Pasteura i Kocha, którzy ustalili, że choroby, takie jak wścieklizna czy gruźlica, są wywoływane przez mikroorganizmy (a dokładniej przez bakterie). Już wtedy przeprowadzano wiele udanych zabiegów chirurgicznych, mimo to pacjenci nadal umierali w wyniku zakażeń operacyjnych.

Jeszcze przed pojawieniem się teorii Pasteura w 1847 r. pewien węgierski lekarz położnik, Ignaz P. Semmelweiss, dostrzegł przydatność mycia rąk przez lekarzy chlorkiem wapnia przed przystąpieniem do badania pacjentów, co pozwoliło zredukować o jedną piątą częstotliwość występowania komplikacji poporodowych, tzw. gorączki poporodowej. Metoda ta nie zdobyła wówczas szerokiego poparcia i nawet w latach sześćdziesiątych XIX wieku w wielu europejskich klinikach jej nie stosowano; dopiero po pracach Pasteura z zakresu bakteriologii zwrócono na nią uwagę.

Wprowadzenie antyseptyki w chirurgii zawdzięczamy Josephowi Listerowi, który – przekonany o istnieniu możliwości obniżenia częstości infekcji szpitalnych – zapoczątkował stosowanie fenolu (jednego z najbardziej skutecznych dezynfekantów nieutleniających) w dezynfekcji pola operacyjnego (10). Eliminacja mikroorganizmów z otoczenia Często ostatnio poruszonymi w literaturze fachowej tematami są wewnątrzszpitalne zakażenia, poszukiwanie ich przyczyn oraz metody prewencji.

Kolejnym znaczącym problemem jest istniejące w laboratoriach przemysłowych, medycznych czy mikrobiologicznych ryzyko zakażeń, które dotyczy nie tylko personelu, ale także osób odwiedzających laboratorium i najbliższego otoczenia laborantów. Według Jacobson, która przeprowadziła przegląd infekcji nabytych w laboratoriach w latach 1978-1982, mikrobiolodzy byli bardziej narażeni na występowanie u nich infekcji niż lekarze ogólni (6). Zakażenia mające swoje źródło w laboratoriach medycznych mogą być niebezpieczne, a nawet prowadzić do śmierci.

Według autorytetów w dziedzinie kontroli zakażeń otoczenie, tj. środowisko nieożywione, nie odgrywało roli w przenoszeniu chorób zakaźnych. Przeprowadzone ostatnio przez CDCP (Centers for Disease Control and Prevention) badania dowiodły, że transmisja bezpośrednia (z powierzchni ciała na ciało) i pośrednia (poprzez obiekty nieożywione) jest jedną z głównych dróg przenoszenia mikroorganizmów. Wynika to ze zdolności drobnoustrojów patogennych nie tylko do występowania, ale także do egzystowania na powierzchniach nieożywionych (4, 6). W laboratoriach medycznych, szpitalnych czy przemysłowych wykorzystuje się wiele technik eliminacji mikroorganizmów, zarówno fizycznych, jak i chemicznych. Spośród technik fizycznych należy wymienić: promieniowanie UV, wysoką temperaturę (urządzenia typu autoklaw), promieniowanie jonizujące. Usuwanie mikroorganizmów patogennych z powierzchni obiektów

abiotycznych (dezynfekcję) realizuje się najczęściej przy użyciu środków chemicznych. Wybór związków chemicznych, mogących służyć jako dezynfekanty, jest bardzo duży.

Cechy charakterystyczne dobrego dezynfekanta to przede wszystkim szerokie spektrum działania, właściwości bakteriobójcze, nietoksyczność, łatwość użycia i spłukiwania z powierzchni, a także brak podatności na dezaktywację przez inne produkty czyszczące, z którymi może być mieszany, np. mydła, detergenty (3, 9). Dodatkowo należy pamiętać, że na efektywność dezynfekcji ma wpływ wiele czynników, np. temperatura – jej wzrost o 10°C z reguły przyspiesza proces dwukrotnie. Także podwyższenie stężenia środka aktywnego poprawia bakteriobójcze właściwości. Również pH, czas kontaktu, charakter powierzchni poddanej dezynfekcji czy obecność materii organicznej nie pozostają bez wpływu na aktywność chemicznych środków dezynfekujących. Skuteczność tych środków jest zdecydowanie największa przy nieobecności tłuszczów, cukrów czy białek. Wystąpienie materii organicznej na dezynfekowanej powierzchni nie tylko blokuje dostęp do mikroorganizmów, ale również dezaktywuje większość chemicznych środków biobójczych (4, 7, 10, 16).

Bardzo ważne jest więc, aby przed przystąpieniem do dezynfekcji wszystkie powierzchnie poddawane procesowi zostały wstępnie oczyszczone przy użyciu detergentów. Dzięki temu usuwa się materię organiczną, a także część drobnoustrojów. W rezultacie dezynfekant działa szybciej i skuteczniej. Powszechnie znany jest problem uodparniania się niektórych bakterii na działanie antybiotyków. Obawy te przeniosły się także na dezynfekanty. Jednakże istnieje istotna różnica między tymi chemikaliami, potwierdzona przez szereg badań. Większość dezynfekantów ma wiele celów ataku, podczas gdy antybiotyki posiadają z reguły jeden określony cel w komórce. Należy zwrócić uwagę na istnienie dezynfekantów tzw. antybiotykopodobnych, które także mają jeden określony cel, np. BKC – chlorek benzalkonium, CHX – chlorheksydyna, TLN – triklosan, stosowane w różnego rodzaju płynach antyseptycznych, takich jak: płyny do mycia rąk, twarzy lub płyny do płukania ust. Rozwój odporności na te dezynfekanty jest możliwy, jednak mało prawdopodobny, gdyż stosuje się je w stężeniach przekraczających minimalne stężenie inhibicji (MIC), co przyspiesza szybkość zabijania. W przypadku dezynfekantów ogólnego stosowania, które utleniają, denaturują bądź działają w inny sposób, wytworzenie się odporności jest jeszcze trudniejsze.

Ponadto są one z reguły stosowane na obiektach nieożywionych i w związku z tym ich stężenia użytkowe znacznie przekraczają minimalne stężenie inhibicji i minimalne stężenie bakteriobójcze o kilka rzędów wielkości (2, 7, 8). Stosowane chemiczne środki dezynfekujące Wyróżnia się sześć głównych klas dezynfekantów: jodowe, czwartorzędowe związki amoniowe (QAC), nadtlenkowe, fenolowe, chlorowe i aldehyd glutarowy. Pochodne jodowe to z reguły niekorozyjne środki odkażające, są one łatwe w użyciu i niedrażniące. Spośród ich wad należy wymienić dezaktywację w obecności materii organicznej, nieprzyjemny zapach i wysoką cenę. Należy również pamiętać, że ich aktywność bakteriobójcza jest większa w środowisku kwaśnym. W zależności od ich przeznaczenia, na antyseptyki czy dezynfekanty, różne jest w nich stężenie wolnego jodu (dezynfekanty – duża zawartość wolnego jodu). Mają one tę zaletę, że jako pochodne jodowe zachowały skuteczność antybakteryjną jodu przy swojej nietoksyczności i braku działania drażniącego. Najpowszechniejsza jest jodyna powidynowa, której efektywność przeciw wszystkim typom mikroorganizmów (wegetatywnym i przetrwalnikującym) jest dobrze znana.

Posiada ona wiele zalet, takich jak np. brak odnotowanej odporności. Stosowana jest jako antyseptyk w leczeniu ran, a także do przygotowywania skóry pacjentów przed operacjami (7, 11, 16). Czwartorzędowe związki amoniowe (QAC) są stosowane jako dezynfekanty, środki powierzchniowo czynne, jak i antyseptyczne. QAC są nietoksyczne, niekorozyjne, nie pozostawiają zapachu ani smaku. Dezaktywowane są w niskim pH przez sole wapnia i magnezu oraz obecność materii organicznej. Ponadto w większości przypadków są nieskuteczne przeciwko bakteriom Gram-ujemnym. Najlepiej znany jest

chlerek benzalkonium (BKC) wykazujący działanie biostatyczne i biobójcze względem bakterii Gram-dodatnich oraz Gram-ujemnych, pewnych wirusów, grzybów, drożdży i pierwotniaków. Jest to jeden z bezpiecznych, syntetycznych środków bakteriobójczych, szeroko stosowany w płynach do mycia rąk, twarzy i płukania ust, a także w produktach plemnikobójczych (8, 16). Nadtlenek wodoru, który należy do grupy dezynfekantów utleniających, jest bezbarwnym płynem. Najczęściej występuje w stężeniu 3% obj. i nosi wtedy nazwę wody utlenionej;  $3H_2O_2$  może być wykorzystywany w sterylizacji, antyseptyce i dezynfekcji.

Przy wysokich stężeniach (10-30% obj.) zabija nawet przetrwalnikowe formy bakterii. Działa szczególnie niszcząco na bakterie beztlenowe, jest względnie nietoksyczny, łatwy w użyciu, bardzo skuteczny przy usuwaniu biofilmu ze sprzętów medycznych. Niestety, musi być stosowany w dużych stężeniach i powoduje korozję (7, 16). W grupie dezynfekantów fenolowych najstarszy i najpopularniejszy jest fenol, który – tak jak większość związków z tego kręgu – nie ma właściwości utleniających. Jest on najsilniejszym z nieutleniających dezynfekantów powodującym uszkodzenia błony komórkowej, a także działającym jako trucizna protoplastyczna. Po raz pierwszy został zastosowany przez Josepha Listera. Kolejnym, dość powszechnym fenolowym dezynfekantem jest triklosan – chlorowany dwufenyloeter. Ma on szerokie działanie bakterio- i grzybobójcze. Jak już wspomniano wcześniej, należy do grupy dezynfekantów antybiotykopodobnych.

Często stosowany jest w produktach higieny osobistej, między innymi w mydłach, pastach do zębów i innych kosmetykach (8). W grupie chlorowych środków dezynfekujących należy wymienić chlor gazowy, podchloryn sodu ( $NaOCl$ ), dwutlenek chloru ( $ClO_2$ ). Podchloryn sodowy jest tanim i skutecznym dezynfekantem działającym przeciw szerokiej gamie mikroorganizmów, nawet przy relatywnie niskich stężeniach zanotowano efekty biobójcze względem bakterii vegetatywnych i *M. tuberculosis*. Niestety, ma on także wady. Ze względu na niestabilność powinien być przygotowywany przed użyciem, a następnie przechowywany z dala od ciepła i światła. Ponadto jest toksyczny i powoduje korozję powierzchni metalowych, dlatego nie powinien być stosowany do ich rutynowej dezynfekcji. Natomiast dwutlenek chloru nie jest tak agresywnym utleniaczem jak np. ozon, kwas nadoctowy czy nadtlenek wodoru, w rezultacie nie wywołuje korozji. Znalazł zastosowanie w dezynfekcji całych pomieszczeń i nie wpływa szkodliwie na meble, większość plastików, komputery czy inne urządzenia elektroniczne (1, 11, 14, 15, 16). Aldehyd glutarowy to bezbarwny płyn o ostrym zapachu, wykorzystywany do sterylizacji urządzeń medycznych, należy do dezynfekantów wysokiej skuteczności. Charakteryzuje go niska cena, skuteczność nawet w niskich stężeniach oraz niekorozyjność. Niestety, środek ten jest toksyczny i może powodować poważne podrażnienia oczu, nosa, gardła i płuc (11, 16).

Oprócz podstawowych dezynfekantów należy również wymienić inne zasługujące na uwagę. Istotną grupą są alkohole. Alkohole etylowy i izopropylowy są przydatne do rutynowej dezynfekcji powierzchni metalowych, gdzie ryzyko korozji wyklucza zastosowanie podchlorynu sodu. Oba są doskonałymi związkami biobójczymi, gdy są stosowane w stężeniach 60-90% objętościowych w wodzie. Etanol jest najbardziej efektywny w stężeniu 70%, wyższe bądź niższe stężenia mają mniejsze zdolności dezynfekujące. Alkohole są, niestety, nieskuteczne względem bakterii przetrwalnikowych. Ponadto alkohol izopropylowy nie niszczy pewnych wirusów, np. Echo, Coxsackie. Ze względu na wysoką lotność alkoholi, a także ich palność, należy postępować z nimi ostrożnie (1, 8, 10). Ozon jako środek do dezynfekcji chemicznej Bardzo skutecznym związkiem chemicznym – mogącym służyć do dezynfekcji – jest ozon będący jednym z najsilniejszych utleniaczy. Może być on stosowany w formie gazowej lub w postaci ozonowanej wody. Gazowy ozon jest wykorzystywany do sterylizacji pomieszczeń mieszkalnych i do eliminacji odorów.

Znajduje zastosowanie przy poprawie jakości i sterylizacji powietrza w budynkach użyteczności publicznej: teatrach, kasynach, szpitalach itd., a także komorach chłodniczych, zakładach przetwórstwa mięsnego i browarach (9). Ozon poddano badaniom porównawczym z wieloma środkami chemicznymi stosowanymi do dezynfekcji. W oparciu o te badania można stwierdzić, że góruje on nad innymi dezynfekantami. Wskazują na to chociażby badania przeprowadzone przez I.C. Telles Silveira (13), w których zestawiono działanie ozonu i podchlorynu sodu na organizmy występujące w ściekach szpitalnych, głównie *Enterococcus species* – Gram- -dodatnie bakterie odpowiedzialne za dużą część infekcji szpitalnych, jak np. infekcje układu moczowego, bakteriemia (obecność bakterii we krwi, bakteryjne zapalenie wsierdza, zapalenie opon mózgowych). Testy dezynfekcji *Enterococcus sp.* wykazały skuteczność ozonu wobec tych patogenów, nawet wankomycynoopornych enterokoków (VRE); natomiast podchloryn sodu okazał się niewystarczająco skuteczny. Ponadto badania pokazały, że szybkość dezynfekcji ozonem jest wyjątkowo duża. Dlatego też ozon jako środek dezynfekcyjny wymaga krótkiego czasu kontaktu, w przeciwieństwie do podchlorynu sodu.

Kolejne badania przeprowadził A. Filippi, porównał on przeżywalność organizmów chorobotwórczych w urządzeniach stomatologicznych, które poddano dezynfekcji nadtlenkiem wodoru i ozonem (5). W próbkach z urządzeń dezynfekowanych nadtlenkiem wodoru wykryto obecność bakterii *Pseudomonas aeruginosa*, podczas gdy próbki z urządzeń poddanych działaniu ozonu nie zawierały tych mikroorganizmów (5, 13). Bardzo spektakularnym zastosowaniem ozonu jest odgrzybianie starych, zaniedbanych mieszkań czy domów, których niewłaściwa eksploatacja, a w szczególności brak wentylacji i utrzymująca się duża wilgotność, doprowadziły do rozprzestrzenienia się grzybów strzępkowych, popularnych pleśni, najczęściej z gatunków *Stachybotrys chartarum* czy *Aspergillus versicolor*. Grzyby te wydzielają niebezpieczne dla ludzi mykotoksyny, które ozon również skutecznie eliminuje. W USA funkcjonuje firma SCO Medalion Healthy Homes Ltd., która opracowała skuteczną technologię odgrzybiania mieszkań, a także całych domów (9). W obliczu zagrożeń terrorystycznych z wykorzystaniem broni biologicznej zaczęto się zastanawiać nad unieszkodliwianiem za pomocą ozonu niektórych bakterii, np. popularnego wąglika – *Bacillus anthracis*.

Ozon jest, jak wiadomo, skutecznym czynnikiem bakteriobójczym, ale czy także w stosunku do bakterii tworzących przetrwalniki, endospory? Dlatego ogłoszono konkurs na projekt badawczy unieszkodliwiania endospor bakterii wąglika, który wygrał zespół badawczy prof. M. Gurola (2005) z Uniwersytetu w North Karolina (USA). Prace badawcze w tym zespole są wciąż prowadzone i – jak wynika z ustnej informacji uzyskanej od kierownika tego projektu – skuteczność usuwania endospor *B. anthracis* zależy w dużym stopniu od wilgotności powietrza w zainfekowanym pomieszczeniu.

Niemniej jednak są to z pewnością bardzo obiecujące wyniki badań, rozszerzające zakres zastosowań ozonu (9). W wyniku zastosowania ozonu nie powstają szkodliwe produkty uboczne, natomiast jego nadmiar rozkłada się do tlenu. Kolejną zaletą jest możliwość wytwarzania go na miejscu w przenośnych generatorach. Niestety, jest on silnie korozyjny, zwłaszcza w środowisku wilgotnym, w związku z czym jego użycie musi być odpowiednio przemyślane. Ozon ma olbrzymie perspektywy w zastosowaniu do poprawy stanu powietrza. Trzeba sobie tylko zdawać sprawę, że stosować go można, unikając bezpośredniego kontaktu ludzi z mieszaniną ozonowo- powietrzną. Dopiero po wentylacji pomieszczeń, gdy resztki ozonu ulegną rozkładowi, można ponownie użytkować oczyszczane pomieszczenia (9). Podsumowanie Rozwój metod walki z drobnoustrojami doprowadził do poprawy jakości życia, a co ważniejsze, także do ograniczenia rozprzestrzeniania się chorób zakaźnych. Niestety, skuteczność technik eliminacji mikroorganizmów jest w dużej mierze zależna od czynnika ludzkiego, tzn. od rzetelności pracowników.

Wspomniana wyżej zdolność pewnych mikroorganizmów patogennych do przeżywania na powierzchni obiektów nieożywionych, w przypadku niewłaściwego postępowania, może prowadzić do transmisji tych organizmów. Dlatego ściśle przestrzeganie procedur dezynfekcyjnych i sterylizacyjnych w laboratoriach medycznych, mikrobiologicznych i przemysłowych jest bardzo ważne. Do podstawowych środków bezpieczeństwa w laboratoriach należą: noszenie jednorazowych fartuchów ochronnych i dobrze dopasowanych rękawiczek podczas wszelkich działań na terenie laboratorium, a także ich usuwanie każdorazowo przed opuszczeniem laboratorium przez personel.

Następnie mycie rąk przed opuszczeniem laboratorium i oczywiście dokładne, codzienne czyszczenie całego laboratorium. Istotne jest również ciągle dążenie do zwiększania bezpieczeństwa w laboratoriach, w których występuje ryzyko związane z obecnością niebezpiecznych drobnoustrojów, a także poszukiwanie nowych metod walki z tymi mikroorganizmami.

Na przykład poprzez zastosowanie ozonu, który jest nie tylko znanym, skutecznym środkiem wirusobójczym, bakteriobójczym, grzybobójczym, ale także efektywnie usuwa jaja czy oocysty pasożytów, np. z rodzaju *Cryptosporidium* (3, 9).