

prof. dr hab. inż. Andrzej K. Biń

Politechnika Warszawska, Wydz. Inż. Chemicznej i Procesowej

Członek Międzynarodowego Stowarzyszenia Ozonowego w Europie

(International Ozone Association - IOA EA3)

Wice-prezydent IOA EA3 - lata 2007-2008

Group of Directors IOA EA3 - lata 2008-2009

Inaktywacja wirusów ozonem

Ozon jest bardzo efektywnym środkiem dezynfekującym i wyraźnie góruje nad innymi środkami chemicznymi stosowanymi powszechnie np. w uzdatnianiu wody do picia, takimi jak chlor, chloramina czy dwutlenek chloru. Wniosek ten wynika z porównania wartości iloczynu C t, który przyjmuje się jako wskaźnik efektywności środka do dezaktywacji mikroorganizmów. C oznacza tu stężenie środka [mg dm^{-3}], zaś t - czas jego działania [min] (ściślej rzecz biorąc czas potrzebny do tego, aby osiągnąć określony poziom dezaktywacji mikroorganizmów w określonych warunkach). Koncepcja tego wskaźnika wywodzi się z prawa Chicka i Watsona. Typowo wirusy są bardziej odporne na działanie ozonu niż bakterie. Względą odporność mikroorganizmów na działanie ozonu można następująco uszeregować w rosnącym porządku: bakterie < wirusy < cysty pasożytów. Badania nad dezaktywacją wirusów przy użyciu ozonu w procesie uzdatniania wody do picia prowadzone były w latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia. W latach późniejszych publikacje na ten temat są stosunkowo nieliczne. Zainteresowania badawcze koncentrowano na zagadnieniu usuwania z wody do picia mikroorganizmów bardziej odpornych na działania dezynfektantów, np. takich jak formy przetrwalnikowe (cysty *Giardia* czy *Cryptosporidium*).

W Tabelicy 1 zestawione są dane porównawcze dla skuteczności działania różnych dezynfektantów w usuwaniu typowych mikroorganizmów. Dane te można uzupełnić kilkoma dalszymi przykładami wyników badań prowadzonych w latach późniejszych (2005-2010).

Tablica 1. Wartości iloczynu C-t [$\text{mg}\cdot\text{min dm}^{-3}$] dla różnych środków dezynfekcyjnych, przy których można uzyskać 99% dezaktywację wybranych mikroorganizmów w temp. 5°C. (Biń A.K., 2005)

Mikroorganizm	Ozon pH = 6 - 7	Chlor pH = 6 - 7	Chloramina pH = 8 - 9	Dwutlenek chloru pH = 6 - 7
<i>E. coli</i>	0,02	0,034 – 0,05	95 – 180	0,4 – 0,75
<i>Wirus polio 1</i>	0,1 – 0,2	1,1 – 2,5	770 – 3740	0,2 – 6,7
<i>Rotavirus</i>	0,006 – 0,06	0,01 – 0,05	3806 – 6480	0,2 – 2,1
Cysty <i>Giardia lamblia</i>	0,5 – 0,6	47 - > 150	-	-
Cysty <i>Giardia muris</i>	1,8 – 2,0	30 – 630	-	7,2 – 18,5
<i>Cryptosporidium parvum</i>	5 – 9 ^{*)}	2250 ^{**)}	7200 ^{***)}	78 ^{***)}

^{*)} Clark i inni (2002); ^{**)} dla 96% dezaktywacji w temp. 22°C (Lewin i inni, 2001); ^{***)} dla 90% dezaktywacji w temp. 20-25°C

99% poziom dezaktywacji Norowirusa Murine można osiągnąć stosując wartości iloczynu C t = 0,7 $\text{mg}\cdot\text{min dm}^{-3}$ w warunkach pH = 7 i temperaturze wody 20°C lub o połowę mniejsze w temperaturze 5°C (Lim i inni, 2010). Thurston-Enriquez i inni (2005) podają podobne wyniki dla dezaktywacji adenowirusa i kalciowirusa za pomocą ozonu. W przypadku wirusa grypy typu H1N1 oraz H5N1 poziom dezaktywacji odpowiadający 4 dekadom logarytmicznym (99,99%) można uzyskać przy resztkowych stężeniach ozonu w wodzie 0,4-0,5 mg/dm^3 i czasie kontaktu 10 min. (Lénés i inni, 2010).

W jednej z ostatnich publikacji (Wolf i inni, 2018) poświęconej dezaktywacji wirusów obecnych w wodzie autorzy zwracają uwagę na rozbieżności między wynikami badań dostępnych w literaturze. W szczególności, ich zdaniem kluczowym elementem jest problem określenia wielkości ekspozycji wirusów na działanie ozonu, bowiem konieczne jest uwzględnienie początkowej fazy rozkładu ozonu wprowadzanego do uzdatnianej wody. Wprawdzie efekty dezaktywacji wirusów są zależne od ich rodzaju, jednak stosowana wielkość ekspozycji na działanie ozonu w procesach uzdatniania wody i oczyszczania ścieków jest zwykle długa, co zapewnia skuteczną inaktywację obecnych w nich wirusów. W oparciu o wyniki własnych pomiarów autorzy oszacowali, iż wielkość ekspozycji dla badanych wirusów powinna wynosić ok. 2×10^{-6} M s, aby zapewnić 99% ich redukcję.

$$\text{Ekspozycja: } \int_0^t [\text{O}_3](t) dt \qquad \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -k_{\text{O}_3\text{-virus}} \int_0^t [\text{O}_3](t) dt$$

Większość praktycznych zastosowań ozonu dotyczy uzdatniania (w tym dezynfekcji) wody przeznaczonej do picia, ale od momentu zaakceptowania tego dezynfektanta przez EPA (USA) oraz inne kraje, otworzyły się dalsze możliwości stosowania ozonu, np. w produkcji żywności (O'Donnell C. (Editor), Tiwari B.K. (Editor), Cullen P.J. (Editor), Rice Rip G. (Editor) (2012)) lub w medycynie. Przykłady zastosowań ozonu do dezynfekcji produktów żywnościowych - owoców lub warzyw są szczególnie interesujące, bowiem stosuje się w tym procesie [wodę ozonowaną](#).

Biń A.K., Rozdział 6 – Wykorzystanie ozonu w uzdatnianiu wody. w: J. Perkowski i R. Zarzycki (red.) "ZASTOSOWANIE OZONU", Polska Akademia Nauk o/Łódź, Łódź, 2005, ISBN 83-86492-31-7, str. 207-278.

Hirneisen K.A., Kniel K.E. (2013): "Inactivation of internalized and surface contaminated enteric viruses in green onions". *International Journal of Food Microbiology*, 166, 201–206.

Lénés D., Deboosere N., Ménard-Szczebara F., Jossent J., Alexandre V., Machinal C., Vialette M. (2010): "Assessment of the removal and inactivation of influenza viruses H5N1 and H1N1 by drinking water treatment". *Water Research*, 44, 2473-2486.

Lim M.-Y., Kim J.-M, Lee J.-E., Ko G.-P. (2010): „Characterization of ozone disinfection of murine norovirus”. *Applied And Environmental Microbiology*, 76 (4), 1120–1124.

O'Donnell C. (Editor), Tiwari B.K. (Editor), Cullen P.J. (Editor), Rice RipG. (Editor) (2012): "Ozone in Food Production". Wiley.

Thurston-Enriquez J.A., Haas C.N., Jacangelo J., Gerba C.P. (2005): "Inactivation of enteric adenovirus and feline calicivirus by ozone". *Water Research*, 39, 3650-3655.

Wolf C., von Gunten U., Kohn T. (2018): "Kinetics of inactivation of waterborne enteric viruses by ozone". *Environ. Sci. Technol.*, 52, 2170–2177.