

# Zastosowanie ozonu w przemyśle spożywczym

KRZYSZTOF KROSOWIAK, KRZYSZTOF ŚMIGIELSKI, PIOTR DZIUGAN

Ozon został odkryty przez C. F. Schönbeina w 1839 r. [8]. Niemieckie Cesarstwo Ministerstwo Zdrowia w 1917 r. przeprowadziło badania nad oddziaływaniem ozonu na mikroorganizmy (w stężeniu 3 ppm, co 3-4 h, skutecznie niszczyło ponad 95% zarodników znajdujących się na powierzchni pożywek hodowlanych) i dopuściło stosowanie go w chłodniach do przechowywania mięsa [7]. Obecnie jest powszechnie stosowany do dezynfekcji wody pitnej. Urząd Kontroli Leków i Żywności (FDA, USA) w 1982 r. wpisał ozon na listę substancji uznanych za bezpieczne (Generally Recognized As Safe – GRAS) [2].

Zastosowanie w przemyśle spożywczym ozonu jako czynnika biobójczego eliminuje stosowanie do tego celu tradycyjnych, szkodliwych dla środowiska naturalnego, związków chemicznych, a więc i powstawanie odpadów na tym etapie technologicznym. Drugą zaletą stosowania ozonu jest szybki rozpad związku do tlenu, przy czym nie ma innych produktów tej reakcji, a powstają tylko nieliczne produkty uboczne dezynfekcji [7]. Właściwe zastosowanie związku w zakładach przemysłu spożywczego pozwala określić tę technologię jako bezpieczną i przyjazną dla środowiska naturalnego.

## Właściwości fizykochemiczne

Ozon jest alotropową odmianą tlenu występującą we wszystkich stanach skupienia. W stanie gazowym jest niebieskim gazem o charakterystycznym, ostrym zapachu przypominającym dwutlenek siarki i chlor. Ma bardzo silne właściwości utleniające, co bezpośrednio wynika z jego wysokiego potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (2,07 V) (tab. 1).

Tabela 1. Wartość standardowych potencjałów redox przykładowych środków dezynfekcyjnych [9, 13]

Substrat	Reakcja redox	Potencjał półogniwa [V]
Ozon	$O_3 + 2H^+ + 2e^- \leftrightarrow O_2 + H_2O$	2,07
Nadtlenek wodoru	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \leftrightarrow 2H_2O$	1,76
Kwas chlorowy (I)	$HClO + H^+ + 2e^- \leftrightarrow Cl^- + H_2O$	1,45
Chlor	$Cl_2 + 2e^- \leftrightarrow 2Cl^-$	1,36

Czas połowicznego zaniku ozonu w powietrzu jest długi i wynosi ok. 12 h [12]. Rozpuszczony w wodzie rozpada się znacznie szybciej niż w tlenie czy powietrzu. W zależności od jakości wody, czas połowicznego rozpadu wynosi od kilku sekund do kilku godzin – w roztworze wodnym jest tym krótszy, im wyższe jest pH, większa zawartość substancji organicznych i im mniejsze stężenie węglanów. Przyjmuje się, że czas połowicznego rozpadu w wodzie destylowanej,

**Streszczenie.** Omówiono możliwości zastosowania ozonu w różnych zakładach przemysłu spożywczego. Przedstawiono metody jego otrzymania i właściwości fizykochemiczne. Porównano działanie dezynfekcyjne ozonu z tradycyjnie stosowanymi środkami chemicznymi. Podano przykłady zastosowania w przechowywaniu warzyw i owoców, przemyśle cukrowniczym i fermentacyjnym. Wykazano, że właściwie użyty ozon jest bezpiecznym i odpowiednim środkiem do zastosowania w przetwórstwie żywności.

**Summary.** Possibilities of ozone applications in food industry are discussed. Methods of ozone generation, and its physical and chemical properties are given. Disinfectant activity of ozone is compared to traditional chemical disinfectants. Examples of application in storage of fruit and vegetables, in sugar and fermentation industries are demonstrated. It has been shown that proper use of ozone is safe and convenient in food processing.

**Słowa kluczowe:** ozon, dezynfekcja, żywność, owoce, warzywa, fermentacja

**Key words:** ozone, disinfection, fruit, vegetable, fermentation

w temperaturze pokojowej, wynosi 20-30 min [4]. Ozon rozpuszczony w wodzie o pH poniżej 7 nie reaguje z wodą i jest obecny w formie cząsteczkowej. Wzrost pH prowadzi do rozpadu związku do wysoko reaktywnych form, jakimi są wolne rodniki (np. rodnik hydroksylowy  $^{\circ}OH$ ). Blisko połowa ozonu wprowadzonego do wody o pH 8 rozpada się w ciągu 10 min do tlenu i produktów przejściowych [12].

## Otrzymywanie

Podstawowa metoda otrzymywania ozonu polega na zastosowaniu wyładowań elektrycznych (zwłaszcza cichych, koronowych, powierzchniowych) w urządzeniach zwanych ozonatorami lub generatorami ozonu z czystego tlenu dostarczanego z butli (stężenie ozonu 6%) lub z odpowiednio przygotowanego powietrza (stężenie ozonu 1-3%) w zakładzie przetwórstwa spożywczego [8]. Ozon można oznaczyć bezpośrednio metodą jodometryczną, natomiast pośrednio metodami spektrofotometrycznymi [4].

## Mechanizm działania na organizmy żywe

Ozon w środowisku wodnym może reagować z różnymi substancjami wg dwóch współistniejących ze sobą mechanizmów. Pierwszy to bezpośrednie oddziaływanie ozonu cząsteczkowego, a drugi to reakcje pośrednie, gdzie występują wtórne produkty utlenienia (rodniki), powstałe z jego rozpadu w wodzie [10].

W komórkach bakteryjnych pierwszym miejscem ataku są zewnętrzne struktury komórkowe. Ozon reaguje z nienasyconymi



CHŁODNICTWO I KLIMATYZACJA

AGREGATY CHŁODNICZE, ZESPOŁY SPRĘŻARKOWE,  
CHŁODNICE, CHILLERY, SPRĘŻARKI, KLIMATYZATORY



## ... i wszystko jest na swoim miejscu

### NAJWIĘKSZA FABRYKA REGAŁÓW W POLSCE

**GLIWICE** ul. Wyczółkowskiego 125 • 44-109 Gliwice  
Tel.: (+48) 32-331 69 66 • Fax: (+48) 32-331 69 67 • e-mail: gliwice@mecalux.com  
www.mecalux.pl

#### BIURA HANDLOWE

**WARSZAWA**  
ul. Łucka 20/1102  
00-845 WARSZAWA  
Tel.: (+48) 22-654 56 81  
Fax: (+48) 22-654 56 82  
e-mail: warszawa@mecalux.com

**GDYNIA**  
ul. Śląska 21  
81-319 GDYNIA  
Tel.: (+48) 58-761 80 80  
Fax: (+48) 58-761 80 81  
e-mail: gdansk@mecalux.com

**KRAKÓW**  
Al. Pokoju 78/214  
31-564 KRAKÓW  
Tel.: (+48) 12-686 38 70 (71)  
Fax: (+48) 12-686 17 89  
e-mail: krakow@mecalux.com

**POZNAŃ**  
ul. Dąbrowskiego 75/82  
60-529 POZNAŃ  
Tel.: (+48) 61-665 97 87  
Fax: (+48) 61-665 97 88  
e-mail: poznan@mecalux.com

**WROCLAW**  
Al. Armii Krajowej 62  
50-541 WROCLAW  
Tel.: (+48) 71-793 88 29  
Fax: (+48) 71-793 88 31  
e-mail: wroclaw@mecalux.com

kwasami tłuszczowymi zawartymi w lipidach błony komórkowej – powoduje rozpad cząsteczek nienasyconych kwasów tłuszczowych. Następuje wypływanie składników wewnątrzkomórkowych do środowiska zewnętrznego oraz liza komórek drobnoustrojów. Drugim miejscem ataku są wewnętrzne składniki komórek bakteryjnych. Ozon dyfunduje do wnętrza komórki i reaguje z jej składnikami – głównie z zasadami purynowymi i pirymidynowymi budującymi nukleotydy. W reakcję wchodzi także aminokwasy zawarte w białkach zarówno strukturalnych, jak i enzymatycznych [10].

Bardzo silne zdolności utleniające sprawiają, że podatne na działanie ozonu są bakterie Gram-dodatnie (np. *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*), bakterie Gram-ujemne (np. *Yersinia enterocolitica*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*), wirusy, drożdże (np. *Candida parapsilosis*, *Candida tropicalis*), spory (np. *Bacillus cereus*) oraz komórki wegetatywne [2, 12]. Bakterie są bardziej wrażliwe niż drożdże czy grzyby, Gram-dodatnie bakterie są bardziej podatne na działanie ozonu od Gram-ujemnych, spory są mniej wrażliwe niż komórki wegetatywne [6].

#### Toksyczność

Dopuszczalne stężenie ozonu na stanowisku pracy nie powinno przekraczać 0,05-0,1 ppm (8 h pracy). Reakcja błon śluzowych górnych dróg oddechowych na ozon objawia się suchością w ustach, nosie i gardle. Ozon powoduje także ograniczenie ostrości widzenia, łzawienie i puchnięcie oczu. Dłuższe działanie ozonu powoduje ostrzejsze symptomy i stan wyczerpania. W rezultacie dochodzi do przekrwienia płuc, krwotoku z nosa i w ostateczności do zgonu.

Indywidualnymi zabezpieczeniami są maski ze specjalnym pochłaniaczem lub filtry z hopkalitem chroniące przed wdychaniem tlenu węgla. Dodatkowo pracownik stosuje osobisty analizator dawki ozonu [4].

#### Oddziaływanie na materiały konstrukcyjne

Większość metali ulega utleniającemu działaniu ozonu, zwłaszcza w obecności wilgoci, i to już od stężenia 2-3 ppm. Metale katalizujące rozkład ozonu to: żelazo, cynk, rtęć, platyna, srebro. Tolerancję na działanie ozonu o stężeniu do 7% i słabe lub żadne działanie katalityczne wykazuje czysty ołów, miedź, cyna i anodowo utleniony glin. Bardzo dobrym materiałem konstrukcyjnym stosowanym w niskiej temperaturze i przy dużych stężeniach ozonu jest stal nierdzewna. Najlepszym materiałem odpornym na utleniające działanie związku i zapewniającym trwałość ozonu jest szkło borokrzemianowe. Niestety, właściwości mechaniczne ograniczają jego zastosowanie [4].

Spośród tworzyw sztucznych najlepszą odpornością charakteryzuje się politetrafluoroetylen (PTFE) wykorzystywany do wyrobu rurek oraz powłok innych materiałów konstrukcyjnych [4]. Wszystkie zawory i urządzenia ruchome kontaktujące się z ozonem powinny być powlekane wyłącznie smarami fluorowęglowodorowymi. Dla małych stężeń i przez krótki czas można stosować smary silikonowe.

PPH „COOL” ul. Lipowa 10, 05-123 Chotomów

tel. +22 772 64 18, 772 64 83, fax +22 772 65 02  
kom. 602 725 266  
www.cool.pl, e-mail: cool@cool.pl



Tabela 2. Współczynnik siły dezynfekcji  $C_t$  [mg min dm<sup>-3</sup>] dla różnych środków dezynfekcyjnych, przy których można uzyskać 99% dezaktywację wybranych mikroorganizmów w temp. 5°C [9]

Mikroorganizm	Ozon (pH 6-7)	Chlor (pH 6-7)	Dwutlenek chloru (pH 6-7)
<i>E. coli</i>	0,02	0,034-0,05	0,4-0,75
Wirus polio 1	0,1-0,2	1,1-2,5	0,2-6,7
Rotavirus	0,006-0,06	0,01-0,05	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*	78**

\* Dla 96% dezaktywacji w temp. 22°C.

\*\* Dla 90% dezaktywacji w temp. 20-25°C.

### Środek dezynfekcyjny

Ozon porównano z wieloma środkami dezynfekującymi. Jest on znacznie lepszy od innych dezynfekantów, na co wskazuje współczynnik siły dezynfekcji ( $C_t$ ) przyjmowany za wskaźnik efektywności czynników dezynfekujących [9].

Do dezynfekcji urządzeń wykonanych ze stali nierdzewnej można także stosować ozon gazowy lub wodne roztwory ozonu. Na płytki ze stali nierdzewnej o powierzchni 25 cm<sup>2</sup> naniesiono kolejno zawiesinę mikroorganizmów: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Serratia liquefaciens*, *Listeria innocu*, *Rhodotorula rubra* i pozostawiono do wyschnięcia. Tak przygotowane płytki poddano działaniu ozonu o stężeniu 2 ppm w ciągu 4 h, w temp. 22°C i wilgotności względnej 77%. Zaobserwowano redukcję liczby drobnoustrojów o 7,56-2,41 cykli logarytmicznych [5].

Obiekty produkcyjne można dezynfekować ozonem o stężeniu 0,5-3,5 ppm. Gdy wykorzystywany jest gaz, czas działania jest długi (1-4 h), ale dla wodnych roztworów ozonu proces jest stosunkowo krótki (1-10 min). Ozon jako środek dezynfekcyjny nie powoduje powstawania i narastania oporności mikroorganizmów [6].

Tabela 3. Zastosowanie ozonu jako środka dezynfekcyjnego [6]

Zastosowanie	Warunki procesu	Mikroorganizmy	Wynik
System CIP*	ozonowana woda	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Candida albicans</i>	redukcja liczby drobnoustrojów o 99%
Powierzchnie robocze	gazowy ozon (2 ppm), czas 2 h	niezidentyfikowane	redukcja liczby drobnoustrojów o 2 cykle logarytmiczne
Wyposażenie, ściany, podłogi, studzienki ściekowe, stoły	ozonowana woda (3,0-3,5 ppm)	<i>Trichophyton mentagrophytes</i> , <i>Salmonella choleraesuis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Aspergillus flavus</i> , <i>Brettanomyces bruxellensis</i> , <i>Escherichia coli</i>	redukcja liczby drobnoustrojów o 6-4 cykli logarytmicznych
Podłogi	ozonowana woda (2 ppm), czas 1 min	niezidentyfikowane	redukcja liczby drobnoustrojów od 84,3 do 99,9%

\* System CIP (Cleaning-in-Place – czyszczenie na miejscu).

Związek rozpuszczony w wodzie (15-30°C) może być wykorzystany (zamiast tradycyjnych środków myjących) do mycia plastikowych kontenerów używanych do przechowywania i transportowania mięsa – nie jest konieczne używanie agresywnych środków chemicznych lub ogrzewanie wody do 80°C w końcowym etapie procesu [12].

### Zastosowanie w przechowywaniu owoców

Oceniono wpływ ozonu na przechowywanie owoców jeżyny bezkolcowej. Owoce po zbiorze były przechowywane przez 12 dni w temp. 20°C w atmosferze zawierającej odpowiednio 0,1 oraz 0,3 ppm związku. Następnie poddano je ocenie pod względem psucia się spowodowanego przez grzyby, zawartości antocyjanów, a także barwy. Ozonowanie zahamowało rozwój grzybów, w atmosferze bez ozonu 20% owoców uległo zepsuciu. Najczęściej występowała pleśń z rodzaju *Botrytis cinerea*. Podczas magazynowania nie zauważono uszkodzeń ani niekorzystnych zmian. We wszystkich próbach zawartość antocyjanów soku była zbliżona do poziomu wyjściowego. Barwa powierzchni jeżyn nie zmieniła się w próbach poddanych działaniu ozonu. Ozonowanie pozwoliło na wydłużenie okresu zachowania dobrej jakości [7].

Jabłka odmiany Yellow Newton, o intensywnej, zielonej barwie, składowano w dwóch partiach przez trzy miesiące w temp. 2°C. Pierwszą partię poddano działaniu ozonu o stężeniu 1-2 ppm, a drugą traktowano jako kontrolną. Pod koniec trzeciego miesiąca jabłka w partii kontrolnej pokryły się pleśnią, ale nie było widocznej oparzeliny. Jabłka wystawione na działanie związku nie miały ani pleśni, ani oparzeliny. Następnie obie partie jabłek przeniesiono do pomieszczenia o temperaturze pokojowej. Po trzech dniach przechowywania jabłka nieozonowane miały oparzelinę na 70% owoców. Po 10 dniach oparzelina wystąpiła na 80% owoców. Dla 60% jabłek mających oparzelinę były to zmiany bardzo intensywne. Partia jabłek, która została poddana działaniu ozonu nie miała oparzeliny po 13 dniach przechowywania w temperaturze pokojowej [7].

Firma Lyons-Magnus (Fresno, USA) używa wodnego roztworu ozonu do mycia świeżych truskawek, aby zredukować liczbę mikroorganizmów na owocach przed ich zamrożeniem. Mycie świeżych truskawek wodą zawierającą średnio 2,7 ppm ozonu redukuje ogólną liczbę *E. coli* i bakterii z grupy coli oraz całkowitą liczbę bakterii, drożdży i pleśni rozwijających się na płytkach. Ogólna liczba organizmów saprofitycznych na truskawkach umytych ozonowaną wodą obniżyła się średnio o ok. 95%. Podobnie ilość drożdży i pleśni zmniejszyła się o ok. 98% [7].

### Zastosowanie w przechowywaniu warzyw

Zbadano wpływ synergistycznego działania ozonu i dwutlenku węgla na wyjąłowanie ogórków. Świeże ogórki poddano sterylizacji ozonem, dwutlenkiem węgla oraz mieszaniną tych związków w workach foliowych z polichlorku winylu. Przeżywalność mikroorganizmów w przypadku zastosowania mieszaniny tych gazów była niższa niż w przypadku zastosowania każdego z tych gazów osobno. Przypuszcza się, że przyczyną synergicznego efektu było to, że dwutlenek węgla działa inhibującą na reakcję łańcuchową degradacji ozonu, dzięki czemu stężenie w atmosferze było wystarczające dla osiągnięcia efektu bakterioobójczego oraz to, że sam dwutlenek

węgla wykazywał działanie bakteriostatyczne. Najlepsze wyniki uzyskano dla mieszaniny ozonu i dwutlenku węgla w proporcji 3:1 lub 2:1 [7].

Skuteczność działania ozonu na mikroorganizmy *Botrytis cinerea* Pers i *Sclerotinia sclerotiorum* de Bary zbadano w czasie przechowywania marchwi. Inokulowane i nieinokulowane całe korzenie marchwi przechowywano w atmosferze zawierającej 0,0; 7,5; 15,0; 30,0 i 60,0 µl związku/l. Przez komory doświadczalne z marchwią przepuszczano strumień powietrza zawierającego określoną ilość ozonu z prędkością 0,5 l/min przez 8 h dziennie w okresie 28 dni. Eksperyment powtórzono dwukrotnie w temp. 2, 8 i 16°C. Dla obu patogenów uzyskano zahamowanie rozwoju mikroflory na poziomie 50% przy najwyższym stężeniu. Szybkość respiracji marchwi, wyciek elektrolitów oraz różnice w zabarwieniu wzrastały wraz ze wzrostem stężenia ozonu. Marchew charakteryzowała się mniej intensywnym zabarwieniem w porównaniu z próbą kontrolną [7].

W innych badaniach określono wpływ ozonowanej wody (1 ppm, czas 10-50 min) na kwiatostany brokułów w zamkniętych pojemnikach, a następnie pakowanych w folię polimerową i przechowywanych przez 8 dni w warunkach handlowych (temp. 5°C). Wpływ ozonu oceniono określając zmiany koloru powierzchni kwiatostanu oraz oznaczając ilość składników odżywczych (kwas askorbinyowy i karotenoidy ogółem) i wzrost mikroflory. Natomiast wpływ związku na fizjologię brokułów badano oznaczając szybkość respiracji, tworzenie etylenu, peroksydację tłuszczów i zawartość białka. Ozon zahamował wzrost mikroflory bez wpływu na jakość brokułów przechowywanych przez 4 dni. Po tygodniu zaobserwowano straty chlorofilu na powierzchni kwiatostanu oraz ubytek witaminy C, chociaż poziom mikroflory pozostał bez zmian. Działanie gazu przez 50 min jest skuteczniejsze dla uzyskania efektu zniszczenia mikroorganizmów niż działanie przez 10 min. Nie stwierdzono zmian w poziomie karotenoidów, szybkości oddychania, zawartości białka czy wartości wskaźnika TBA (próba z kwasem 2-tiobarbiturowym) [3] dla prób z ozonem i prób kontrolnych, chociaż po 22 h zaobserwowano niższy poziom etylenu dla brokułów poddanych działaniu ozonu [7].

### Zastosowanie w przemyśle cukrowniczym

Procesowi ozonowania poddano cukrowniczy sok rzadki pobrany po zakończeniu procesu dyfuzji (szaroziemiste zabarwienie), zanieczyszczony mikrobiologicznie, o zawartości suchej substancji ok. 15%. W tym celu 100 kg soku o temp. 80°C umieszczono w reaktorze, po czym przepuszczono mieszaninę ozonu (80 g/m<sup>3</sup>) z tlenem. Ozonowanie zakończono po przepuszczeniu 0,15 kg ozonu. Proces spowodował usunięcie związków barwnych z soku rzadkiego oraz jego wyjałowienie, co wyeliminowało konieczność stosowania środków biobójczych. Jest to nowy, okresowy lub ciągły sposób oczyszczania cukrowniczego soku rzadkiego z buraka cukrowego [11].

### Zastosowanie w przemyśle fermentacyjnym

Wyjałowieniu i oczyszczeniu poddano melasę przemysłową zanieczyszczoną preparatami chemicznymi stosowanymi w cukrownictwie oraz zanieczyszczoną mikrobiologicznie. W reaktorze

umieszczono 100 kg 50% roztworu wodnego melasy, przepuszczono przez roztwór mieszaninę ozonu (80 g/m<sup>3</sup>) i tlenu w temp. 20°C. Proces zakończono po przepuszczeniu przez melasę 0,25 kg ozonu. Stwierdzono, że w wyniku ozonowania inaktywacji uległo 100% komórek drobnoustrojów oraz nastąpiło zmniejszenie pienienia roztworu melasy. Wyjałowiony i oczyszczony roztwór melasy zastosowano bezpośrednio jako podłoże fermentacyjne dla procesu fermentacji etanolowej. Stwierdzono przyspieszenie zafermentowania i odfermentowania podłoża oraz podwyższenie wydajności etanolu. Proces ozonowania powoduje odbarwienie podłoża, utlenienie SO<sub>2</sub> i NO<sub>2</sub> oraz rozkład związków powierzchniowo czynnych. W porównaniu ze znanymi sposobami oczyszczania podłoża fermentacyjnego proces jest znacznie prostszy, ekonomiczniejszy, intensyfikuje proces fermentacji i poprawia jakość produktów finalnych fermentacji [1].



Ozon może być stosowany w różnych zakładach przemysłu spożywczego jako czynnik biobójczy zarówno w fazie gazowej, jak i w roztworach wodnych – daje efekty dezynfekujące znacznie lepsze lub co najmniej porównywalne z tradycyjnie stosowanymi technologiami. Przegląd literatury naukowej wskazuje, że właściwie użyty ozon jest bezpiecznym i odpowiednim środkiem do zastosowania w przetwórstwie żywności.

### LITERATURA

- [1] Dziugan P., Dziedziczak K., Śmigiełski K.: 2006. Sposób wyjaławiania i oczyszczania podłoży fermentacyjnych. Zgłoszenie patentowe nr P-379436.
- [2] Kim J. G., Yousef A. E., Dave S.: 1999. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. *Journal of Food Protection*, 62(9), 1071-1087.
- [3] Krełowska-Kulaś M.: 1993. Badanie jakości produktów spożywczych. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- [4] Müller J.: 2005. Ozon – właściwości, metody oznaczania. W: Występowanie i właściwości ozonu. Polska Akademia Nauk, Łódź, 29-63.
- [5] Moore G., Griffith C., Peters A.: 2000. Bactericidal properties of ozone and its potential application as a terminal disinfectant. *Journal of Food Protection*, 63(8), 1100-1106.
- [6] Pascual A., Liorca I., Canut A.: 2007. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. *Trends in Food Science and Technology*, 18, S29-S35.
- [7] Rice R., G.: 2005. Etapy rozwoju i aktualne zastosowania ozonu w przetwórstwie żywności. W: Zastosowanie ozonu. Polska Akademia Nauk, Łódź, 279-322.
- [8] Seydim-Guzel Z.: 2004. Use of ozone in food industry. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 37, 453-460.
- [9] Skalska K., Ledakowicz S., Senico B., Perkowski J.: 2006. Wykorzystanie ozonu jako środka dezynfekcyjnego. Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych. IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Łódź. W: Ochrona Przed Korozją (Numer Specjalny), 9s/A/2006, 338-341.
- [10] Solecka M.: 2005. Zastosowanie ozonowania do dezynfekcji ścieków miejskich. W: Zastosowanie ozonu. Polska Akademia Nauk, Łódź, 79-102.
- [11] Śmigiełski K., Dziugan P.: 2006. Sposoby oczyszczania cukrowniczego soku rzadkiego z buraka cukrowego. Zgłoszenie patentowe nr P-380337.
- [12] Wysok B., Uradziński J., Gomółka-Pawlicka M.: 2006. Ozone as an alternative disinfectant-a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 15/56(1), 3-8.
- [13] Zarzycki R.: 2002. Wprowadzenie. W: Zaawansowane techniki utleniania w ochronie środowiska. Polska Akademia Nauk, Łódź, 1-4.

Mgr inż. K. Krosowiak, dr hab. K. Śmigiełski, dr inż. P. Dziugan – Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności, Politechnika Łódzka