

MAŁGORZATA KOWALSKA, BARBARA GAJEWNIK, TERESA SUMIŃSKA,
ANDRZEJ BARYGA

PARAMETRY MIKROBIOLOGICZNE I FIZYKOCHEMICZNE SOKU SUROWEGO Z BURAKÓW CUKROWYCH PRZED I PO OZONOWANIU

Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu ozonowania soku surowego otrzymanego z buraków cukrowych na jego skład chemiczny i zanieczyszczenie mikrobiologiczne. Materiał do badań stanowiły próbki soku surowego z kampanii cukrowniczej 2014 r. Zastosowano następujące parametry procesu ozonowania soku: czas 5 ÷ 30 min, przepływ ozonu 1,0, 4,5 i 7 dm³·min⁻¹, temperatura soku ok. 18 °C, objętość próbki: 500 ml. Stężenie ozonu w mieszaninie powietrzno-ozonowej wyniosło średnio 11 mg·dm⁻³. W badaniach wykazano, że ozon zastosowany w dawce 7 dm³·min⁻¹ obniżył liczbę bakterii mezofilnych o 4 log, bakterii tworzących śluz o 3,3 log, drożdży o 2,6 log, przetrwalników bakterii termofilnych tlenowych o 1,2 log a liczbę pleśni o 0,5 log. Statystycznie istotną ($p \leq 0,05$) różnicę wykazano tylko w przypadku liczby bakterii mezofilnych po 30 min stosowania ozonu w dawce 7 dm³·min⁻¹. Nie wykazano wpływu ozonowania na zawartość takich składników soku surowego, jak: sucha masa sacharozy, związki mineralne w postaci popiołu, związki azotowe i metale – Na i K. Zmiany stwierdzono w przypadku zawartości związków redukujących, kwasowości i zabarwienia. Intensywność zabarwienia zmniejszyła się maksymalnie o 35 % przy 30-minutowym przepływie ozonu 7 dm³·min⁻¹. Kwasowość uległa redukcji o 52 % przy dawce 4,5 dm³·min⁻¹ i 20-minutowym ozonowaniu. Wydłużenie czasu ozonowania do 30 min przy przepływie 1,0 i 7,0 dm³·min⁻¹ nie wpłynęło znacząco na obniżenie kwasowości soku surowego. Zawartość związków redukujących zmniejszyła się maksymalnie o 44 % podczas 20-minutowego ozonowania, przy przepływie gazu 4,5 dm³·min⁻¹.

Słowa kluczowe: buraki cukrowe, sok surowy, zabarwienie soku, ozonowanie, dawka, redukcja

Wprowadzenie

W przemyśle cukrowniczym ozon stosuje się głównie do zmniejszenia intensywności zabarwienia cukru. Barwa jest podstawowym wskaźnikiem decydującym o jako-

Mgr inż. M. Kowalska, mgr inż. B. Gajewnik, mgr inż. T. Sumińska, dr inż. A. Baryga, Zakład Cukrownictwa, Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego, ul. Inżynierska 4, 05-084 Leszno k. Błonia. Kontakt: malgorzata.kowalska@ibpr.s.pl

ści cukru. Sok komórkowy buraka cukrowego nie zawiera substancji barwnych. Pojawiają się one dopiero w trakcie procesu technologicznego, nadając oczyszczonym sokom barwę od żółtej do brunatnej. Ich obecność w procesie krystalizacji zmniejsza również szybkość wzrostu kryształów sacharozy [8]. Na zabarwienie cukru wpływa jakość odwirowanych mączek, z których sporządza się klarówki i gotuje cukrzycę I. Ilość substancji barwnych wzrasta siedmiokrotnie w kolejnych etapach produkcji cukru, począwszy od soku rzadkiego aż do melasu. Intensywność barwy soków cukrowniczych zależy od: czasu trwania technologicznych procesów jednostkowych, temperatury, odczynu (pH), zawartości suchej masy, zawartości związków redukujących i aminokwasów [8, 13, 14, 15]. Barwę soku tworzą: melaniny, substancje karmelowe, barwne produkty rozkładu związków redukujących oraz melanoidyny (produkty reakcji Maillarda). W celu zmniejszenia zawartości substancji barwnych cukrownie stosują m.in. węgiel aktywny, żywice, węglanocukrzany. Środki te są kosztowne, a ich stosowanie powoduje komplikacje technologiczne. Z danych literaturowych wynika, że zastosowanie ozonu pozwala na zmniejszenie zabarwienia roztworu cukru nawet o 75 % jednostek ICUMSA. Zmniejszyła się również mętność roztworu cukru, a jego jakość była wyższa ze względu na brak pozostałości chemicznych związków stosowanych do odbarwiania cukru [1, 4]. Godshall i McKee [5] porównali skuteczność odbarwiania soku za pomocą H_2O_2 , ozonu i związków siarki. Stwierdzili, że środki te silnie oddziaływały na barwniki soku, ale równocześnie związki siarki wpływały na 12-procentowe zmniejszenie zawartości sacharozy, czego nie obserwowano w przypadku zastosowania ozonu i H_2O_2 . Analizowano również możliwość odbarwiania ozonem klarówek. Efekt odbarwiania syropów trzcinowych przekraczał 70 %. Za optymalną dawkę ozonu (wysoki efekt odbarwienia roztworów przy stosunkowo niskim jego zużyciu uznano 250 ÷ 400 mg ozonu w przeliczeniu na 1 kg sacharozy w analizowanych syropach. Proces ozonowania przebiegał najefektywniej w temp. ok. 70 °C i w środowisku o pH 6 - 7. W trakcie dodawania ozonu struktury związków barwnych były niszczone i powstawały kwasy organiczne powodujące obniżenie pH o ok. 0,5 jednostki na 250 mg·kg⁻¹ dodanego ozonu [12]. Mechanizmy usuwania zabarwienia roztworów ozonem są skomplikowane. Gaz ten działa m.in. na sprzężone wiązania podwójne, odpowiedzialne za zabarwienie soku przez większość substancji barwnych. Przeprowadzono też badania nad odbarwianiem syropów cukrowniczych z użyciem ozonu, nadtlenku wodoru oraz kwasu nadnienodwusiarkowego [11]. Środki te wpłynęły na znaczne zmniejszenie intensywności zabarwienia roztworów, czemu towarzyszył wzrost zawartości związków redukujących oraz zmniejszenie zawartości sacharozy. Użycie optymalnych dawek utleniaczy spowodowało 40- do 50-procentowe odbarwienie roztworów. Zastosowanie tej metody nie zapewniło jednak trwałego odbarwienia syropów. Dzięki wykorzystaniu ozonu i kwasu nadnienodwusiarkowego otrzymano cukier o mniejszej intensywności zabarwienia niż miał cukier uzyskany z roztworów

wyściowych, ale zawierający więcej związków redukujących niż ten wykrystalizowany z syropów wyjściowych. Odcieki po krystalizacji poddano też testom mikrobiologicznym w celu określenia ich ewentualnej przydatności w przemyśle fermentacyjnym. Ozonowanie syropów spowodowało silne natlenienie środowiska, co sprzyjało wzrostowi komórek drożdżowych. Po zakończeniu procesu ozonowania stwierdzono znaczne zmniejszenie zabarwienia roztworów. Efekt odbarwienia wynosił ok. 50 % przy zużyciu maksymalnie 0,18 % ozonu na suchą masę klarówki. W odbarwionych syropach zaobserwowano również zmniejszenie odczynu (pH) o ok. 2 jednostki, wzrost zawartości związków redukujących oraz niewielki ubytek sacharozy [6, 7, 9]. Madho i Davis [10] wykazali, że zmniejszenie zabarwienia soku rzadkiego o 60 % można uzyskać przy zastosowaniu dawki ozonu 12500 ppm. Jest to bardzo duża i nieuzasadniona ekonomicznie dawka. Przeprowadzono także próby eliminacji specyficznego zapachu cukru z buraków cukrowych. Przez warstwę cukru przepuszczano ozon i powietrze. Stwierdzono, że charakterystyczny zapach cukru wynika głównie z obecności lotnych kwasów tłuszczowych. Lepsze efekty, także ekonomiczne, osiągnięto po zastosowaniu napowietrzania [3].

Do zalet stosowania ozonu należy zaliczyć brak szkodliwych produktów rozpadu. Ozon generowany jest na miejscu, w zakładzie produkcyjnym, co eliminuje potrzebę jego transportu i składowania. W trakcie ciągłej produkcji generowanie ozonu jest stosunkowo tanie [9].

Celem pracy było określenie wpływu ozonowania soku surowego otrzymanego z buraków cukrowych na jego skład chemiczny i zanieczyszczenie mikrobiologiczne.

Material i metody badań

Material do badań stanowiły próbki soku surowego z cukrowni mazowieckiej, z kampanii cukrowniczej w 2014 r.

Próbki ozonowano mieszaniną gazów wytworzoną w urządzeniu OZ-5G (BNP Ozone, Chiny) o wydajności ozonu $5 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$ z O_2 . Parametry procesu ozonowania soku surowego były następujące: czas $5 \div 30$ min, przepływ ozonu: 1,0, 4,5 i $7 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, temperatura soku ok. $18 \text{ }^\circ\text{C}$, objętość próbki 500 ml. Podjęto próbę określenia optymalnej dawki ozonu, przy której uzyska się dezynfekcję soku surowego i zmniejszenie intensywności jego zabarwienia. Dlatego też przy różnych przepływach ozonu stosowano różne okresy czasowe jego oddziaływania. Stężenie ozonu w mieszaninie powietrzno-ozonowej wynosiło średnio $15 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Do soku surowego dodawano 0,5 ml preparatu przeciwwapiennego. Ozonowanie prowadzono w cylindrze o wysokości 25 cm z bełkotką.

Liczbę drobnoustrojów oznaczano metodą płytek lanych. Bakterie mezofilne hodowano na pożywce PCA (BTL, Polska) 72 h w temp. $30 \text{ }^\circ\text{C}$, pleśnie i drożdże – na pożywce YGC (Merck, Niemcy) 72 h w temp. $30 \text{ }^\circ\text{C}$, bakterie tworzące śluzę – na

pożywce Mc Clesky Favillea (pożywkę wykonano w laboratorium wg metody ICUMSA GS2/3-45:2002) 48 h w temp. 30 °C oraz bakterie termofilne tlenowe – na pożywce glukozowo-tryptonowej z purpurą bromokrezolową (pożywkę wykonano w laboratorium wg metody ICUMSA GS2/3-49:1998) 48 h w temp. 55 °C. Stężenie ozonu w mieszaninie gazów określano metodą pośrednią z wykorzystaniem 10-procentowego roztworu KI i tiosiarczuanu sodu.

W soku surowym przed procesem ozonowania, jak i po jego przeprowadzeniu, oznaczano [2]: zawartość suchej masy (Bx) metodą refraktometryczną (refraktometrem ATR firmy Schmidt & Hansach, Niemcy), zawartość sacharozy (Ck) – metodą polarymetryczną (przy użyciu polarymetru fotoelektrycznego Saccharomat Z, firmy Schmidt & Hansach, Niemcy), czystość (Cz) (czyli procentową zawartość cukru w stosunku do zawartości suchej masy) – metodą obliczeniową, pH – metodą potencjometryczną (przy użyciu pH-metru FiveEasy 20, firmy Mettler Toledo, Niemcy), zabarwienie – metodą spektrofotometryczną, przez pomiar absorbancji przy $\lambda = 560$ nm (przy użyciu spektrofotometru HACH DR 5000, firmy HACH, Niemcy), kwasowość – metodą miareczkową (1/28 M roztwór HCL), zawartość związków redukujących (inwertu) – metodą miareczkową, popiół konduktometryczny – metodą konduktometryczną (przy użyciu konduktometru WTW, InoLab Cond 730, Niemcy), metale: Na, K – metodą spektrofotometrii atomowej (przy użyciu spektrofotometru AAS Solaar 929, firmy ATI Unicam Ltd., Wielka Brytania), zawartość azotu amidowego i amoniakalnego, zawartość azotu ogólnego oraz zawartość azotu białkowego – metodą miareczkową po destylacji z parą wodną, zawartość azotu α -aminokwasowego – metodą spektrofotometryczną przy $\lambda = 600$ nm (przy użyciu spektrofotometru HACH DR 5000, firmy HACH, Niemcy).

Analizę statystyczną przeprowadzono tylko dla wyników uzyskanych w doświadczeniu z dozowaniem ozonu w ilości $7 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ przez 10, 15, 20 i 30 min. Doświadczenie to powtórzono trzykrotnie. Analizę statystyczną wykonano testem t-Studenta przy $p = 0,05$ i $n = 3$. Porównano parami średnie liczby bakterii mezofilnych, pleśni, drożdży, bakterii tworzących śluz i przetrwalników bakterii termofilnych tlenowych przed ozonowaniem i 10, 15, 20 i 30 min po ozonowaniu. W ten sam sposób porównano parametry fizykochemiczne istotne dla procesu technologicznego produkcji cukru (zawartość: suchej masy, sacharozy, związków redukujących, popiołu oraz azotu α -aminokwasowego, ponadto czystość, pH, zabarwienie i kwasowość). Do obliczeń wykorzystano program Microsoft Excel 2010.

Omówienie wyników

Ozonowanie soku surowego dawką $1 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ przez 30 min zredukowało liczbę bakterii mezofilnych o 3 log, liczbę drożdży o 0,65 log, liczbę bakterii tworzących

śluzy o 0,75 log, liczbę przetrwalników bakterii termofilnych tlenowych o 1,35 log i liczbę pleśni o 0,12 log (tab. 1).

Tabela 1. Liczba drobnoustrojów w soku surowym przed ozonowaniem i po ozonowaniu dawką ozonu $1 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Table 1. Count of microorganisms in raw juice before and after ozonation with ozone dose of $1,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Grupa drobnoustrojów Group of microorganisms	Sok surowy przed ozonowaniem Raw juice before ozonation	Sok surowy po ozonowaniu Raw juice after ozonation		
		Czas ozonowania / Duration time of ozonation [min]		
		5	15	30
log [jtk/ml] / log [cfu/ml]				
Bakterie mezofilne Mesophilic bacteria	7,64	7,15	5,15	4,64
Pleśnie / Moulds	2,65	2,38	2,69	2,53
Drożdże / Yeasts	4,30	4,08	3,74	3,65
Bakterie tworzące śluzy Slime-forming bacteria	2,86	2,59	2,74	2,11
Przetrwalniki bakterii termofilnych tlenowych Spores of thermophilic aerobic bacteria	3,30	2,48	1,88	1,95

Na skutek ozonowania w soku surowym wzrosła zawartość sacharozy (o 6,5 %), a zmniejszyło się zabarwienie (o 65,4 %), zawartość związków redukujących (o 17,1 %) i kwasowość (o 78 %). Zaobserwowano także obniżenie wartości takich parametrów, jak: pH, zawartość popiołu, azotu α -aminokwasowego i sodu (tab. 2).

W kolejnym doświadczeniu zwiększono przepływ ozonu do $4,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Uzyskane wyniki przedstawiono w tab. 3 i 4. Wyniki analiz mikrobiologicznych wykazały, że wydłużenie czasu ozonowania zwiększyło redukcję liczby bakterii mezofilnych (o 4,34 log), drożdży (o 1,72 log), bakterii tworzących śluzy (o 1,81 log) i przetrwalników bakterii termofilnych tlenowych (o 0,96 log). Liczba pleśni obniżyła się o 0,66 log po 20 minutach, a następnie zwiększyła się po 25 i 30 min ozonowania.

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne soku surowego przed ozonowaniem i po ozonowaniu dawką ozonu $1 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ Table 2. Physicochemical properties of raw juice before and after ozonation using ozone dose of $1 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Sok surowy przed ozonowaniem Raw juice before ozonation	Sok surowy po ozono- waniu przez 30 min Raw juice after 30 min ozonation
Zawartość suchej masy Content of dry matter	[%]	16,3	16,2
Zawartość sacharozy Content of sucrose		13,8	14,7
Czystość / Purity quotient		84,7	90,7
pH	-	5,4	5,2
Zabarwienie / Colour	[IU ₅₆₀]	89153	30879
Zawartość popiołu kon- duktometrycznego Content of conductivity ash	[%]	0,49	0,48
Zawartość związków re- dukujących (inwertu) Content of reducing com- pounds (invert sugar)		0,35	0,29
Kwasowość / Acidity	[g CaO · 100 ml ⁻¹]	0,050	0,011
Zawartość azotu α -aminokwasowego Content of α -aminoacid ni- trogen	[%]	0,019	0,008
Zawartość azotu amidowego i amoniakalnego Content of amido and amido nitrogen		0,013	0,014
Zawartość azotu białkowego Content of protein nitrogen		0,010	0,040
Zawartość azotu ogólnego Content of total nitrogen		0,110	0,120
Zawartość sodu Content of sodium		0,060	0,051
Zawartość potasu Content of potassium		0,155	0,163

Tabela 3. Liczba drobnoustrojów w soku surowym przed ozonowaniem i po ozonowaniu dawką ozonu $4,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ Table 3. Count of microorganisms in raw juice before and after ozonation using ozone dose of $4.5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Grupa drobnoustrojów Group of microorganisms	Sok surowy przed ozonowaniem Raw juice before ozonation	Sok surowy po ozonowaniu Raw juice after ozonation					
		Czas ozonowania / Times ozonation [min]					
		5	10	15	20	25	30
log [jtk/ml] / log [cfu/ml]							
Bakterie mezofilne Mesophilic bacteria	8,38	4,38	4,32	6,76	4,00	3,95	4,04
Pleśnie Moulds	2,89	2,74	2,78	2,60	2,23	3,00	3,04
Drożdże Yeasts	4,46	4,56	4,43	4,32	2,70	3,18	2,74
Bakterie tworzące śluzy Slime-forming bacteria	3,59	3,59	3,59	4,90	1,78	2,11	1,78
Przetrwalniki bakterii termofilnych tlenowych Spores of thermophilic aerobic bacteria	2,26	2,18	2,15	1,48	2,00	1,70	1,30

Stwierdzono, że ozonowanie soku surowego w ilości $4,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ wpłynęło na jego kwasowość, zawartość związków redukujących i zabarwienie. Kwasowość obniżyła się o 50 % po 20 min ozonowania, zawartość związków redukujących zmniejszyła się o ok. 44 % również po 20 min. Zabarczenie soku surowego zmniejszało się stopniowo i dopiero po 30 min ozonowania uległo redukcji o 28,5 %. W przypadku kwasowości i zawartości związków redukujących przedłużenie czasu ozonowania soku surowego z 20 do 25 i 30 min nie zwiększyło ich redukcji. Zaobserwowano w soku surowym ozonowanym zmniejszenie zawartości popiołu, azotu α -aminokwasowego, białkowego i ogólnego.

Doświadczenia z zastosowaniem ozonu w ilości 1 i $4,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ przeprowadzono jednokrotnie, co mogło mieć wpływ na uzyskane wyniki (brak monotoniczności wyników). Zaobserwowano jednak wpływ ozonu na obniżenie się liczby większości grup drobnoustrojów oraz zmniejszenie intensywności zabarwienia, związków redukujących (inwertu) i kwasowości.

Tabela 4. Właściwości fizykochemiczne soku surowego przed ozonowaniem i po ozonowaniu dawką ozonu $4,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ Table 4. Physicochemical properties of raw juice before and after ozonation using ozone dose of $4.5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Sok surowy przed ozonowaniem Raw juice before ozonation	Sok surowy po ozonowaniu Raw juice after ozonation					
			Czas ozonowania / Duration time of ozonation [min]					
			5	10	15	20	25	30
Zawartość suchej masy Content of dry matter		16,2	16,3	16,2	16,2	16,2	16,3	16,3
Zawartość sacharozy Content of sucrose	[%]	13,9	13,9	13,9	14,0	14,0	14,0	14,0
Czystość Purity quotient		85,8	85,3	85,8	86,4	86,4	85,9	85,9
pH	-	4,8	5,0	5,0	5,0	5,0	4,9	5,0
Zabarwienie / Colour	[IU ₅₆₀]	18151	17120	17885	16956	14094	13301	12969
Zawartość popiołu kondukt. Content of conductivity ash		0,51	0,49	0,48	0,47	0,48	0,48	0,48
Zawartość związków redukcujących (inwertu) Content of reducing com- pounds (invert sugar)	[%]	0,82	0,86	0,75	0,74	0,46	0,46	0,47
Kwasowość / Acidity	[g CaO· 100 ml ⁻¹]	0,108	0,084	0,068	0,058	0,052	0,052	0,056
Zawartość azotu α -amino-kwasowego Content of α -aminoacid nitrogen		0,018	0,019	0,013	0,018	0,016	0,017	0,016
Zawartość azotu amidowe- go i amoniakalnego Content of amido and ammonia nitrogen		0,011	0,011	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013
Zawartość azotu białkowego Content of protein nitrogen	[%]	0,012	-	-	-	-	-	0,010
Zawartość azotu ogólnego Content of total nitrogen		0,12	0,010	-	0,01	-	0,11	0,11
Zawartość sodu Content of sodium		0,033	0,038	0,034	0,030	0,038	0,042	0,037
Zawartość potasu Content of potassium		0,128	0,143	0,142	0,127	0,132	0,142	0,148

W następnym doświadczeniu dawkę ozonu zwiększono do $7,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, a czas ozonowania wyniósł [min]: 10, 15, 20, 30. Badania przeprowadzono trzykrotnie. Średnie wartości analizowanych parametrów przedstawiono w tab. 5 i 6.

Tabela 5. Liczba drobnoustrojów w soku surowym przed ozonowaniem i po ozonowaniu dawką ozonu $7 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Table 5. Count of microorganisms in raw juice before and after ozonation using ozone dose of $7 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Grupa drobnoustrojów Group of microorganisms	Sok surowy przed ozonowaniem Raw juice before ozonation	Sok surowy po ozonowaniu Raw juice after ozonation			
		Czas ozonowania / Duration time of ozonation [min]			
		10	15	20	30
log [jtk/ml] / log [cfu/ml]					
Bakterie mezofilne Mesophilic bacteria	$7,18 \pm 0,37$	$5,21 \pm 0,18^*$	$4,88 \pm 0,23^*$	$4,36 \pm 0,13^*$	$4,15 \pm 0,06^*$
Pleśnie Moulds	$2,97 \pm 0,26$	$3,19 \pm 0,11$	$3,01 \pm 0,21$	$2,86 \pm 0,42$	$2,52 \pm 0,25$
Drożdże Yeasts	$3,51 \pm 0,28$	$3,34 \pm 0,11$	$2,73 \pm 0,18^*$	$2,38 \pm 0,11^*$	$1,35 \pm 1,17^*$
Bakterie tworzące śluzę Slime-forming bacteria	$5,54 \pm 0,22$	$3,77 \pm 0,66^*$	$3,26 \pm 0^*$	$2,41 \pm 0,21^*$	$2,28 \pm 0,11^*$
Przetrwalniki bakterii termofilnych tlenowych Spores of thermophilic aerobic bacteria	$3,41 \pm 0,47$	$2,45 \pm 0,64$	$2,15 \pm 0,21^*$	$2,26 \pm 0,25^*$	$2,22 \pm 0,38^*$

Objaśnienia:/ Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie \pm odchylenia standardowe / Table shows mean values and standard deviations. Wartości średnie oznaczone gwiazdką różnią się statystycznie istotnie (w porównaniu z wynikami soku surowego przed ozonowaniem) przy $p \leq 0,05$ / Mean values denoted by asterisk differ statistically significantly (compared to the results for the raw juice before ozonation) at $p \leq 0.05$; $n = 3$.

Tabela 6. Właściwości fizykochemiczne soku surowego przed i po ozonowaniu dawką ozonu 7,0 dm³·min⁻¹Table 6. Physicochemical properties of raw juice before and after ozonation using ozone dose of 7.0 dm³·min⁻¹

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Sok surowy przed ozono- waniem Raw juice before the ozonation	Sok surowy po ozonowaniu Raw juice after ozoning			
			Czas ozonowania / Duration time of ozona- tion [min]			
			10	15	20	30
Zawartość suchej substancji Content of dry matter	[%]	17,17 ± 0,61	16,9 ± 0,29	16,9 ± 0,45	16,9 ± 0,25	16,87 ± 0,31
Zawartość sacharozy Content of sucrose		15,54 ± 0,41	15,3 ± 0,44	15,2 ± 0,37	15,1 ± 0,49	15,40 ± 0,26
Czystość / Purity quotient		90,37 ± 0,95	90,5 ± 1,29	89,9 ± 2,15	89,3 ± 0,98	90,3 ± 2,45
pH	-	5,67 ± 0,12	5,4 ± 0,22	5,4 ± 0,19	5,4 ± 0,13	5,3 ± 0,1*
Zabarwienie / Colour	[IU ₅₆₀]	27586 ± 4209	23808 ± 4010	22345 ± 3808	20604 ± 1155	17963 ± 960*
Zawartość popiołu konduktometrycznego Content of conductivity ash	[%]	0,44 ± 0,02	0,44 ± 0,03	0,45 ± 0,01	0,45 ± 0,04	0,45 ± 0,03
Zawartość związków redukujących (inwertu) Content of reducing compounds (invert sugar)		0,44 ± 0,12	0,34 ± 0,13	0,36 ± 0,09	0,30 ± 0,07	0,36 ± 0,09
Kwasowość / Acidity	[g CaO· 100 ml ⁻¹]	0,049 ± 0,017	0,040 ± 0,019	0,039 ± 0,013	0,036 ± 0,010	0,041 ± 0,014
Zawartość azotu α-aminokwasowego Content of α-aminoacid nitrogen	[%]	0,019 ± 0,002	0,020 ± 0,003	0,018 ± 0,001	0,015 ± 0,004	0,020 ± 0,002
Zawartość azotu amidowego i amoniakalnego Content of amido and ammonia nitrogen		0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Zawartość azotu białkowego Content of protein nitrogen		0,020	0,020	0,019	0,019	0,019
Zawartość azotu ogólnego Content of total nitrogen		0,11	0,11	0,12	0,011	0,11
Zawartość sodu content Content of sodium		0,063	0,050	0,038	0,031	0,031
Zawartość potasu Content of potassium		0,148	0,144	0,169	0,187	0,187

Objaśnienia jak pod tab. 5. / Explanatory notes as in Tab. 5.

Liczba bakterii mezofilnych i bakterii wytwarzających śluz zmniejszyła się w sposób statystycznie istotny po 10, 15, 20 i 30 min ozonowania. Zaobserwowano także statystycznie istotną różnicę w odniesieniu do liczby drożdży i przetrwalników bakterii termofilnych tlenowych po 15, 20 i 30 min ozonowania. Liczba pozostałych grup drobnoustrojów zmniejszyła się w niewielkim stopniu (o ok. 1 log). Nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu ozonowania na zawartość związków redukujących i kwasowość. Wraz z wydłużaniem czasu ozonowania odczyn (pH) soku surowego obniżył się z 5,8 do 5,2, co mogło być przyczyną zmniejszenia zawartości sacharozy. Kwasowość soku zmniejszyła się maksymalnie o 26,5 % po 20 min. Intensywność zabarwienia zmniejszyła się o 35,0 % po 30 min, a ilość związków redukujących – o 40 % po 20 min.

Przeprowadzone w skali laboratoryjnej badania nad ozonowaniem soku surowego umożliwiły wykazanie, że ozon w zastosowanych dawkach nie obniżył w istotny sposób liczby drobnoustrojów. W przetwórstwie spożywczym poziom redukcji drobnoustrojów w wyniku prawidłowego działania środka dezynfekcyjnego powinien wynosić co najmniej 4 log dla bakterii i 3 log dla grzybów. Żadna z zastosowanych dawek nie spełniła tego wymogu. Nie wykazano wpływu ozonowania na takie składniki soku surowego, jak zawartość: suchej masy (Bx) sacharozy, związków mineralnych w postaci popiołu, związków azotowych oraz metali: Na i K. Stwierdzono interakcje pomiędzy zawartością związków redukujących, kwasowością i zabarwieniem a dawką ozonu. Intensywność zabarwienia zmniejszyła się maksymalnie o 35,0 % przy 30-minutowym przepływie ozonu w ilości $7 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Kwasowość uległa redukcji o 52 % przy dawce $4,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ i czasie ozonowania wynoszącym 20 min. Dalsze wydłużenie czasu ozonowania do 30 min przy przepływie $1,0$ i $7,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ spowodowało tylko niewielkie zmniejszenie kwasowości soku surowego w granicach $16 \div 26,5$ %. Zawartość związków redukujących w soku surowym zmniejszyła się maksymalnie o 44 % podczas 20-minutowego ozonowania przy przepływie gazu $4,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Niska skuteczność zastosowanych dawek ozonu może wynikać z obecności dużej ilości substancji organicznych w soku surowym. Analiza statystyczna badań fizykochemicznych wykazała statystycznie istotne różnice w przypadku wartości pH i zabarwienia.

Wnioski

1. W przeprowadzonych badaniach wykazano częściowe zmiany w składzie chemicznym i zanieczyszczeniu mikrobiologicznym soku surowego pod wpływem stosowania różnych dawek ozonu.
2. Zastosowana w badaniach najwyższa dawka ozonu wynosząca $7 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ obniżyła w soku surowym liczbę bakterii mezofilnych i bakterii tworzących śluz o ok. 3 log, drożdży – o 2,2 log, a pleśni – o 0,45 log.

3. Wśród badanych składników soku surowego zmiany dotyczyły tylko kwasowości, zabarwienia i zawartości związków redukujących. Maksymalna zastosowana dawka ozonu wpłynęła na zmniejszenie zawartości związków redukujących o 40 % po 20 min ozonowania, zabarwienia – o 34,9 % po 30 min i kwasowości – o 16 % po 30 min.

Publikacja została zrealizowanych w ramach tematu pt. „Określenie wpływu ozonowania soku dyfuzyjnego na jego jakość chemiczną i mikrobiologiczną”, Etap roczny I: „Porównanie parametrów fizykochemicznych i mikrobiologicznych soku dyfuzyjnego przed i po ozonowaniu”, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Anonim: E2O3 – Ozone Sugar Decolorization System. Dostęp w Internecie [11.05.2015]: <http://www.e2ps.com.br/site/ingles/ozonio.htm>
- [2] Butwiłowicz A.: Metody analityczne kontroli produkcji w cukrowniach. Instytut Przemysłu Cukrowniczego, Warszawa 1997.
- [3] Duffant E., Godshall M., Grimm C.: Ozone treatment for off odors in sugar. Sugar Journal, 2003, **66**, 14-21
- [4] Fernandez L.A., Bataller M., Perez Rey R., Véliz E., Hernández C., Alvarez C.: Use of ozone in the decolorization of sugar industry liquors. Ozone: Sci. Eng.: J. Inter. Ozone Assoc., 2006, **28 (4)**, 261-267.
- [5] Godshall M.A., McKee M.: Effect of ozone, hydrogen peroxide and sulfite on cane and beet macromolecules. Proc. Conf. Sugar Processing Res., New Orleans, 2004, pp. 111-127.
- [6] Grabka J., Miłek L., Śmigielski K.: Zastosowanie ozonu do odbarwiania klarówek. Gazeta Cukrownicza, 2004, **9**, 251-254.
- [7] Grabka J., Miłek L., Śmigielski K.: Termiczne kondycjonowanie i krystalizacja cukru z syropów odbarwianych ozonem. Gazeta Cukrownicza, 2006, **8**, 243-245.
- [8] Gruszecka H., Strębska J., Sumińska T.: Przebieg reakcji Maillarda w modelowych roztworach cukrowniczych. Gazeta Cukrownicza, 2002, **5**, 120-128.
- [9] Kryża K., Bielowiec P., Szczepanik G., Błaszkiwicz P.: Zastosowanie techniki ozonowania w przechowywalnictwie żywności. Rol. Mag. Elektron. CBR. Dostęp w Internecie [11.05.2015]: <http://rme.cbr.net.pl/index.php/archiwum-rme/29-maj-czerwiec-nr-43/wiadomosci-rolnicze/35-zastosowanie-techniki-ozonowania-w-przechowalnictwie-zywnosci>
- [10] Madho S., Davis S.B.: Review of proven technologies available for the reduction of raw sugar colour. Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass., 2008, **81**, 165-183. Dostęp w Internecie [11.05.2015]: <http://www.sasta.co.za/wp-content/uploads/essential%20reading/Factory/2008%20Madho,%20A%20review%20of%20proven%20technologies%20for%20the%20removal%20of%20colour.pdf>
- [11] Miłek L.: Podwyższanie jakości syropów cukrowniczych przez zastosowanie utleniaczy do ich odbarwienia. Rozprawa doktorska, Politechnika Łódzka, Wydział Biotechnologii i Nauki o Żywności, 2007.
- [12] Moodley M., Davis S.B., Adendorff M.: Full scale decolourisation trials with ozone. Inter. Sugar J., 1999, **101**, 165-171.

- [13] Waleriańczyk E., Żero M.: Rola i znaczenie procesu ekstrakcji w aspekcie intensywności tworzenia się substancji barwnych w produktowni. Cz. I. *Gazeta Cukrownicza*, 2000, **11/12**, 213-218.
- [14] Waleriańczyk E., Żero M.: Rola i znaczenie procesu ekstrakcji w aspekcie intensywności tworzenia się substancji barwnych w produktowni. Cz. II. *Gazeta Cukrownicza*, 2002, **2**, 38-46.
- [15] Żero M.: Zagadnienia przyrostu zabarwienia syropów cukrowych w warunkach fabrycznych. *Gazeta Cukrownicza*, 2001, **4**, 69-72.

MICROBIOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF RAW SUGAR BEETS JUICE BEFORE AND AFTER OZONATION

Summary

The objective of the research study was to determine the effect of ozonising raw juice obtained from sugar beet on its chemical composition and microbiological contamination. The research material were samples of raw juice from sugar beets harvested during a 2014 sugar campaign. The following parameters of the ozonation process of raw juice were applied: time: from 5 to 30 min; flow of ozone: 1.0, 4.5, and 7 dm³·min⁻¹; temperature of juice: approx. 18 °C; sample volume: 500 ml. The ozone concentration in the mixture of air and ozone was 11 mg·dm⁻³ on average. The research showed that the ozone applied in a dose of 7 dm³·min⁻¹ reduced the count of mesophilic bacteria by 4 log, the count of slime-forming bacteria by 3.3 log, the count of yeast by 2.6 log, the count of thermophilic aerobic spore-forming bacteria by 1.2 log, and the count of moulds by 0.5 log. A statistically significant ($p \leq 0.05$) difference was confirmed only in the case of the count of mesophilic bacteria where the application of ozone in a dose of 7 dm³·min⁻¹ lasted 30 min. No effect of ozone was confirmed on the content of the following ingredients in the raw juice: dry matter of sucrose, mineral compounds in the form of ash, nitrogen compounds, and metals: Na and K. Changes were found in the case of the content of reducing compounds (invert sugar), acidity, and colour. The maximum decrease in the intensity of the juice colour was 35 % when ozone was applied in a dose of 7 dm³·min⁻¹ during 30 min. period. The reduction in the acidity was 52 % for the ozone dose of 4.5 dm³·min⁻¹ during 20 min. lasting ozonation. The application of ozone in a dose of 1.0 and 7.0 dm³·min⁻¹ during a prolonged 30 min. lasting ozonation period did not significantly impact the decrease in the acidity of raw juice. The content of reducing compounds decreased 44 % during 20 min. ozonation at a gas flow rate of 4.5 dm³·min⁻¹.

Key words: sugar beets, raw juice, colour of juice, ozonation, dose, reduction ☒