

2013

# Fish processing by-products. Olfactometric assessment of chemical deodorization. Uboczne produkty przetwórstwa ryb morskich. Ocena olfaktometryczna chemicznej metody dezodoryzacji

Sebastian Opaliński

*Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

Mariusz Korczyński

*Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

Jacek A. Koziel

*Iowa State University, koziel@iastate.edu*

Fabiola Bubel

Follow this and additional works at [https://lib.dr.iastate.edu/abe\\_eng\\_pubs](https://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_pubs)



Part of the [Bioresource and Agricultural Engineering Commons](#)

Zbigniew Dobrzański

*Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

The complete bibliographic information for this item can be found at [https://lib.dr.iastate.edu/abe\\_eng\\_pubs/1077](https://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_pubs/1077). For information on how to cite this item, please visit <http://lib.dr.iastate.edu/howtocite.html>.

---

# Fish processing by-products. Olfactometric assessment of chemical deodorization. Uboczne produkty przetwórstwa ryb morskich. Ocena olfaktometryczna chemicznej metody dezodoryzacji

## **Abstract**

Salmon bones (waste) were deodorized by washing with aq. solns. of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (conc. 5%), citric acid (5%) and EtOH (85%) and tested for odor by gas-chromatog., mass spectrometric and olfactometric anal. of headspace gases. The odors were tested by 3 independent panelists. The highest odor mitigation efficiency was detd. for H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and citric acid treatment of the bones.

Przedstawiono wyniki chemicznej metody dezodoryzacji ubocznego produktu przetwórstwa ryb (przetworzone kości lososia atlantyckiego). W tym celu zastosowano (1:5 w/v) 5-proc. roztwór nadtlenu wodoru, 5-proc. roztwór kwasu cytrynowego oraz 85-proc. roztwór alkoholu etylowego. Do pobrania prób powietrza wykorzystano technikę SPME, a identyfikacji związków zapachowych dokonano przy użyciu techniki chromatograficznej GC-MS-O. Uzyskane wyniki badań wskazują, że największą skutecznością dezodoryzacji badanych produktów rybnych charakteryzowały się metody z wykorzystaniem nadtlenu wodoru oraz kwasu cytrynowego.

## **Disciplines**

Bioresource and Agricultural Engineering

## **Comments**

This article is published as Opalinski S., M. Korczynski, J.A. Koziel, F. Bubel, Z. Dobrzanski. "Fish processing by-products. Olfactometric assessment of chemical deodorization. Uboczne produkty przetwórstwa ryb morskich. Ocena olfaktometryczna chemicznej metody dezodoryzacji" *Przemysł Chemiczny* 92, no. 6 (2013): 1159-1162. Posted with permission.

## ***Fish processing by-products. Olfactometric assessment of chemical deodorization***

# **Uboczne produkty przetwórstwa ryb morskich. Ocena olfaktometryczna chemicznej metody dezodoryzacji**

Please cite as: *Przem. Chem.* 2013, **92**, 6, 1159.

**Salmon bones (waste) were deodorized by washing with aq. solns. of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (conc. 5%), citric acid (5%) and EtOH (85%) and tested for odor by gas-chromatog., mass spectrometric and olfactometric anal. of headspace gases. The odors were tested by 3 independent panelists. The highest odor mitigation efficiency was detd. for H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and citric acid treatment of the bones.**

**Przedstawiono wyniki chemicznej metody dezodoryzacji ubocznego produktu przetwórstwa ryb (przetworzone kości łososia atlantyckiego). W tym celu zastosowano (1:5 w/v) 5-proc. roztwór nadtlenu wodoru, 5-proc. roztwór kwasu cytrynowego oraz 85-proc. roztwór alkoholu etylowego. Do pobrania prób powietrza wykorzystano technikę SPME, a identyfikacji związków zapachowych dokonano przy użyciu techniki chromatograficznej GC-MS-O. Uzyskane wyniki badań wskazują, że największą skutecznością dezodoryzacji badanych produktów rybnych charakteryzowały się metody z wykorzystaniem nadtlenu wodoru oraz kwasu cytrynowego.**

Przetwórstwo ryb i innych organizmów morskich to jeden z najszybciej rozwijających się sektorów spożywczych. W 2010 r. wielkość produkcji wyniosła 148,5 mln t<sup>1)</sup>. Przemysł przetwórstwa ryb generuje ogromne ilości niejadalnych odpadów, obejmujących skóry, płetwy, wnętrzności, głowy i kości (kręgosłupy). Przyjmuje się, że po wstępnej obróbce surowca rybnego 40–50% masy stanowią odpady miękkie i twarde<sup>2, 3)</sup>. Głównym kierunkiem ich zagospodarowania jest produkcja mączki i oleju rybnego dla celów paszowych<sup>4)</sup>. Ich stosowanie w żywieniu zwierząt

gospodarskich jest jednak ograniczone, dlatego też na świecie prowadzone są badania nad wykorzystaniem zawartych w tych odpadach ogromnych ilości białka, oleju oraz substancji mineralnych dla celów nutraceutycznych i biomedycznych<sup>5–7)</sup>. W dostępnej literaturze nieliczne są informacje z zakresu przetwarzania i wykorzystania kości ryb i zawartych w nich związków organicznych i mineralnych jako suplementów diety<sup>5, 8, 9)</sup>. Udział kości (głównie kręgosłupy) w ogólnej ilości odpadów z przetwórstwa ryb jest znaczny, dlatego wykorzystanie i przetwarzanie tego bogatego w wiele składników mineralnych surowca budzi wzrastające zainteresowanie<sup>10–13)</sup>. Ponadto, kości ryb jako bogate źródło związków mineralnych, głównie wapnia, mogą być wykorzystane do wzbogacania żywności lub do wytwarzania naturalnych wapniowych suplementów diety, także preparatów stosowanych w żywieniu zwierząt. Stwierdzono, że wapń z kości ryb może być łatwo przyswajalny przez organizm<sup>5, 14, 15)</sup>.

Przetwarzanie surowca rybnego prowadzi najczęściej do uzyskania suchej, sproszkowanej masy o charakterystycznym rybnym zapachu, którego intensywność może dyskwalifikować wykorzystanie produktu do celów żywieniowych lub biomedycznych. Jednak odbiór zapachu jest silnie uzależniony m.in. od właściwości związków zapachowych stanowiących mieszaninę. Tylko część z nich przyczynia się do ogólnego postrzegania zapachu. Niejednokrotnie duże piki GC, uzyskiwane przy użyciu detektorów w jakie wyposażone są chromatografy gazowe, niekoniecznie odpowiadały dużej intensywności zapachu. Kluczowe okazuje się określenie wpływu pojedynczych związków na intensywność zapachu. Analizę utrudnia fakt, że zapach zależy od stężenia komponentów w matrycy, a nos człowieka nie jest doskonałym detektorem. Ponadto, pod uwagę powinien być brany nieprzewidywalny zakres interakcji cząsteczek zapachowych ze sobą, a także z innymi składnikami matrycy (białka, tłuszcze, węglowodany)<sup>16)</sup>. Biorąc to pod uwagę, połączenie metod chromatograficznych z olfaktometrią wydaje się być najlepszym rozwiązaniem, umożliwiającym separację, identyfikację i określanie stężeń oraz opisywanie relacji pomiędzy zapachem i związkami chemicznymi, które go powodują. Olfaktometria dynamiczna jest metodą szeroko stosowaną

Dr inż. Sebastian OPALIŃSKI – notkę biograficzną i fotografię Autora drukujemy w bieżącym numerze na str. 963.

\* Autor do korespondencji:

Katedra Higieny Środowiska i Dobrostanu Zwierząt, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Chelmońskiego 38C, 51-630 Wrocław, tel./fax: (71) 320-58-66, e-mail: sebastian.opalinski@up.wroc.pl

Dr inż. Mariusz KORCZYŃSKI – notkę biograficzną i fotografię Autora drukujemy w bieżącym numerze na str. 1127.

w wielu krajach do oceny uciążliwości zapachowej instalacji przemysłowych (np. cukrownie) lub rolniczych (fermy trzody chlewnej i drobiu)<sup>17–20</sup>. Połączenie chromatografu z olfaktometrem (GC-MS-O) było stosowane do oceny wielu produktów żywnościowych, a także identyfikacji związków odorotwórczych emitowanych z ferm hodowlanych<sup>21–26</sup>.

Celem badań było zastosowanie metody olfaktometrycznej połączonej z GC-MS do oceny skuteczności chemicznej metody dezodoryzacji (wyeliminowanie charakterystycznego rybiego zapachu) wstępnie przetworzonych kości ryb morskich.

## Część doświadczalna

### Surowiec

Do badań pozyskano twarde odpady rybne (kręgosłupy wraz z przylegającą tkanką mięśniową, pozbawione głów i płetw) powstałe w wyniku filetowania łososia atlantyckiego. Zawierały one oprócz soli mineralnych, także białko i tłuszcz. Ich fizykochemiczne właściwości przedstawiono szczegółowo w publikacji<sup>27</sup>.

### Metodyka badań

Odpady łososia rozdrobniono na kawałki o wielkości ok. 1,5 cm, a następnie odważono 4 porcje po 100 g z dokładnością 0,1 g (waga Kern PCB 2000-1) i umieszczono w szklanych zlewkach o pojemności 1000 mL. Odpady poddano działaniu 2 M roztworu wodorotlenku sodu (NaOH, cz.d.a., PPH Stanlab) (1:5 w/v) w temperaturze pokojowej przez 16 h w celu usunięcia przylegającej tkanki mięśniowej. Uzyskane osady kostne odsączono na sicie i odmyto wodą wodociągową w celu usunięcia rozpuszczonych części układu do uzyskania obojętnego pH roztworu odmywającego (pH-metr, Testo 206-PH1). Odmyte osady kostne (nazwane Salmon) poddano następnie działaniu przez 1 h wodnych roztworów (1:5 w/v) zestawionych w tabeli 1. Po zakończeniu procesu uzyskane produkty odsączono, przemyto wodą destylowaną do pH neutralnego i suszono w suszarce (POL EKO SLW 115 TOP+) w temp. 60°C przez 6 h. Po wysuszeniu uzyskane próbki zważono (waga Radwag WAS 220/X), zmielono (młynek IKA A11 Basic) i uzyskano 4 rybne preparaty organiczno-mineralne (tabela 1).

Następnie do 4 fiolek zaopatrzonych w nakrętki z teflonowymi septami (amberglass, 40 mL, Supelco, Bellefonte, USA) odważono po 1 g każdego z uzyskanych preparatów organiczno-mineralnych (Salmon). Fiolki wstawiono na 1 h do bloku grzejnego, którego temperatura

Table 1. Washing solutions

Tabela 1. Roztwory odmywające

Preparat	Roztwór, stężenie	Substancja	Pochodzenie
Salmon 1 (kontrola)	woda destylowana	-	-
Salmon 2	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 5%	30-proc. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> cz.d.a.	POCH, Gliwice
Salmon 3	kwasy cytrynowy, 5%	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> ·xH <sub>2</sub> O cz.d.a.	Chempur, Piekary Śląskie
Salmon 4	EtOH, 85%	96-proc. C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH cz.d.a.	PPH Stanlab, Lublin

wynosiła 55°C. Następnie przebijając septę przy użyciu igły do SPME (*solid phase microextraction*), Supelco, Bellefonte (USA), umieszczono wewnątrz fiolki włókno pokryte fazą stacjonarną CAR/PDMS i eksponowano przez 15 min. Bezpośrednio po pobraniu próbki powietrza metodą statyczną z nadpowierzchniowej fazy fiolki, SPME umieszczono w dozowniku chromatografu gazowego w celu przeprowadzenia analizy. Użyto aparatu Agilent Technologies wyposażonego w detektor mas oraz port olfaktometryczny<sup>23–25</sup>. Otrzymane widma masowe porównano z widmami skatalogowanymi w komercyjnej bibliotece widm NIST. Symultanicznie z analizą chromatograficzną wykonano przy użyciu programu AromaTrax (ver. 6.64, Microanalytics, Round Rock, USA) ocenę doznań zapachowych, w trakcie której posługiwano się stworzonym specjalnie do tego celu panelem wyboru (rys. 1). Analizy zostały przeprowadzone w 3 powtórzeniach przez 3 niezależnych panelistów.

### Omówienie wyników

Na rys. 2 przedstawiono przykładowy chromatogram i aromagram, uzyskane w trakcie analizy próbki powietrza pobranej z fiolki zawierającej preparat Salmon 1. Przeprowadzona analiza wskazała na widoczne rozbieżności między zapisem wynikającym z odpowiedzi detektora (linia czerwona) a odpowiedzią analizującego zapachy panelisty. Dla niektórych czasów retencji detektor nie wykrył żadnego związku chemicznego, natomiast odpowiedź na doznanie zapachowe była widoczna. Zaobserwowano również odwrotne zależności. Niewielkie rozbieżności w analizie (przesunięcie czerwonej linii względem czarnej) wynikały z opóźnionej reakcji panelisty na pojawiający się zapach.

Wyniki oceny zapachowej przeprowadzonej dla każdego z uzyskanych w procesie dezodoryzacji preparatów przedstawiono w tabeli 2. Na podstawie dostępnej biblioteki widm NIST wstępnie zidentyfikowano 22 związki organiczne. Paneliści biorący udział w ocenie olfaktometrycznej opisali 15 doznań zapachowych, w tym charakterystyczny zapach rybny (dla czasu retencji 14,90–15,50 min). Najwięcej doznań zapachowych odnotowano dla preparatu Salmon 1 (woda destylowana), a najmniej dla preparatów Salmon 2 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) oraz Salmon 3 (kwas cytrynowy). Ponadto, w odniesieniu do preparatu Salmon 3 paneliści przyporządkowali tylko 3 negatywne doznania zapachowe; w jednym przypadku zapach alkoholowy oraz dwukrotnie zapach zgniłej ryby, przy czym ten ostatni występował w odniesieniu do każdego z testowanych preparatów. Wyniki oceny olfaktometrycznej znajdują potwierdzenie w liczbie zidentyfikowanych dla każdego z preparatów związków organicznych. W przypadku Salmon 1 dopasowano, zgodnie z dostępną biblioteką, aż 18 związków, podczas gdy dla preparatów Salmon 2 i Salmon 3 tylko 8. Dodatkowo, w przypadku 5 par „doznanie zapachowe-zidentyfikowany związek” uzyskano potwierdzenie wyników w bazie ponad 700 zapachów (Flavornet) opracowanej przez amerykański Cornell University<sup>28</sup>. W przypadku niektórych zidentyfikowanych związków chemicznych, paneliści nie wyczuwali żadnych zapachów, a więc ograniczenie stężenia tych związków prawdopodobnie nie prowadziło do zmniejszenia uciążliwości zapachowej preparatów. Dowodzi to faktu, że zastosowana metoda GC-MS-O może stanowić skuteczniejsze od tradycyjnych metod chromatograficznych narzędzie detekcji substancji zlononnych emitowanych m.in. z preparatów spożywczych oraz z zakładów przemysłowych.



Prof. dr inż. Jacek A. KOZIEŁ w roku 1989 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, a w roku 1993 Environmental Quality Engineering w University of Alaska, Anchorage. Doktorat z inżynierii lądowej uzyskał w University of Texas w Austin w 1998 r. Studia podoktoranckie z dziedziny chemii analitycznej w University of Waterloo (Kanada) ukończył w 2000 r. Od tego czasu pracuje jako profesor, najpierw w Texas Agricultural Experiment Station w Amarillo, a od 2004 r. na Wydziale Inżynierii Rolnictwa i Biosystemów Iowa State University (USA). Specjalność – jakość powietrza, systemy hodowli zwierząt, odory.

Dr inż. Fabiola BUBEL – notkę biograficzną i fotografię Autorki drukujemy w bieżącym numerze na str. 962.

Prof. dr hab. Zbigniew DOBRZAŃSKI – notkę biograficzną i fotografię Autora drukujemy w bieżącym numerze na str. 962.

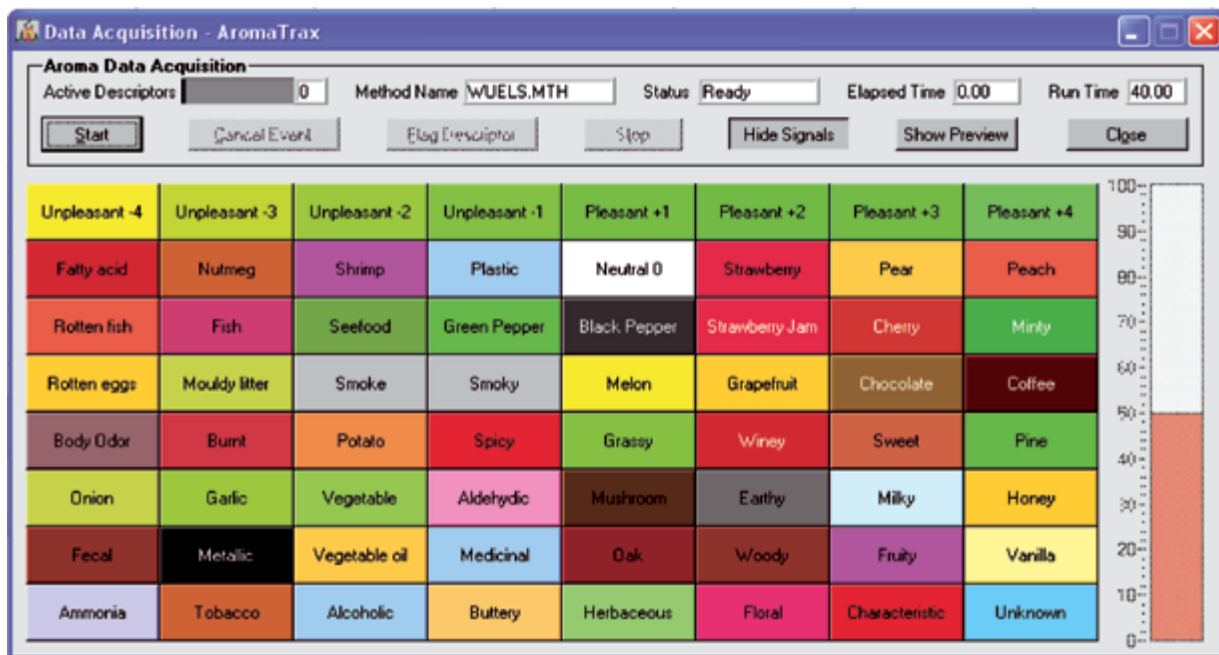


Fig. 1. Aroma descriptor panel for AromaTrax software

Rys. 1. Panel wyboru doznania zapachowego wykorzystany w programie AromaTrax

## Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań wskazują, że najwyższą skutecznością deodoryzacji badanych produktów ubocznych z przetwórstwa ryb morskich (kręgosłupy łososi) charakteryzowały się metody z wykorzystaniem nadtlenu wodoru oraz kwasu cytrynowego. Proces dalszego ich przetwarzania na preparaty wapniowe jest przedmiotem zgłoszenia patentowego<sup>29)</sup>. Zastosowana w badaniach metoda GC-MS-O, będąca połączeniem tradycyjnej chromatografii

gazowej z olfaktometrią dynamiczną, daje możliwość precyzyjnej analizy tylko związków odpowiedzialnych za tzw. uciążliwość zapachową, co niewątpliwie wiąże się z obniżeniem czasu i kosztów tego typu badań.

*Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr N N209 756840 pt. Technologia przetwarzania twardych produktów ubocznych z przetwórstwa ryb na wapniowe suplementy diety.*

*Otrzymano: 19-05-2013*

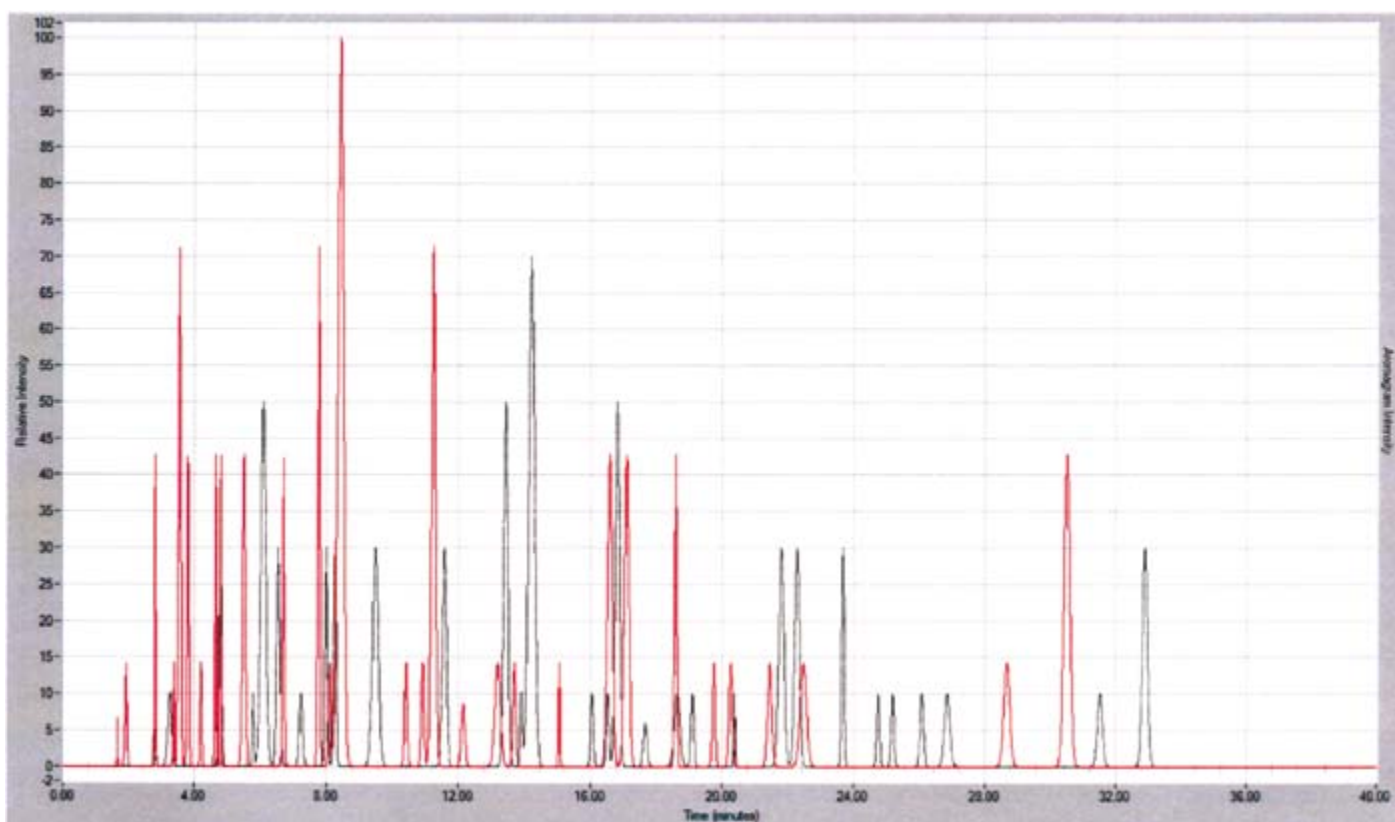


Fig. 2. Chromatogram (red line) and aromagram (black line) obtained for the sample of air from Salmon1 preparation

Rys. 2. Przykładowy chromatogram (czerwona linia) i aromagram (czarna linia) uzyskane dla próbki powietrza pobranej z preparatu Salmon1

Table 2. Results of olfactometric assessment of investigated organic-mineral preparations

Tabela 2. Wyniki oceny zapachowej rybnych preparatów organiczno-mineralnych

Lp.	Czas retencji, min	Zapach, doznanie zapachowe <sup>a</sup>	Zidentyfikowany związek, CAS, dopasowanie <sup>b</sup>	Preparat Salmon			
				1	2	3	4
1.*	5,80	medyczny, kwasu tłuszczowego, winny, -1	propanal, 123-38-6, 72%	✓	✓	✓	✓
2.	6,60	brak	4-metylooktan, 2216-34-4, 91%	✓	✓	-	-
3.	7,30	niezdefiniowany, -1	butanal, 123-72-8, 93%	-	✓	-	-
4.	8,90	brak	2-etylofuran, 3208-16-0, 91%	-	✓	-	-
5.	9,50	maślany, grzybowy, +1	pentanal, 110-62-3, 90%	✓	✓	✓	✓
6.	10,20	warzywny, 0	brak	-	-	-	-
7.*	10,90	kwiatowy, owocowy, +1	2-metylobut-2-enal, 1115-11-3, 91%	✓	✓	-	-
8.	11,30	brak	3,7-dimetylodekkan, 17312-54-8, 87%	✓	-	✓	✓
9.	11,60	brak	4-metyloundekkan, 2980-69-0, 87%	✓	-	✓	✓
10.*	11,90	kwiatowy, owocowy, +2	2,6-dimetylohept-5-enal, 106-72-9, 55%	✓	✓	-	-
11.	13,40	brak	1-penten-3-ol, 616-25-1, 59%	-	✓	-	-
12.*	13,90	medyczny, -1	dodekan, 112-40-3, 96%	✓	-	-	✓
13.	14,10	niezdefiniowane, +1	heksadekan, 544-76-3, 72%	✓	-	-	-
14.	14,50	medyczny, 0	2,3,6-trimetylodekkan, 62238-12-4, 72%	✓	-	-	✓
15.	14,70	brak	4,6-dimetylododekan, 61141-72-8, 72%	✓	-	-	✓
16.	14,90	rybny, zgnięły ryby, -2	4-metylotetradekkan, 25117-24-2, 86%	✓	-	✓	✓
17.	15,50	rybny, zgnięły ryby, -1	brak	-	-	-	-
18.	16,10	brak	tridekan, 629-50-5, 93%	-	-	-	✓
19.	16,40	grzybowy, +1	7-metylo-(Z)-2-dekan, 74630-23-2, 58%	✓	-	-	-
20.	18,40	brak	heptakozan, 593-49-7, 80%	✓	-	✓	-
21.*	19,90	kwiatowy, owocowy, +1	2-etyloheksan-1-ol, 104-76-7,	✓	-	-	✓
22.	26,90	owocowy, medyczny, +1	butylowany hydroksytoluen, 128-37-0, 98%	✓	-	✓	✓
23.	31,40	alkoholowy, -1	oktaetylenoglikol, 1000289-34-2, 91%	✓	-	✓	✓
24.	32,00	brak	1,4,7,10,13-pentaoksacyklopentadekan, 33100-27-5, 78%	✓	-	-	-
Liczba stwierdzonych pozytywnych/neutralnych doznań zapachowych				9	5	4	4
Liczba stwierdzonych negatywnych doznań zapachowych				5	4	3	5
Suma opisanych doznań zapachowych				14	9	7	9
Liczba zidentyfikowanych związków chemicznych				18	8	8	12

<sup>a</sup> oprócz formy opisowej, doznania zapachowe określane były w skali punktowej: przyjemne od +1 do +4, nieprzyjemne od -1 do -4, neutralne 0;

<sup>b</sup> procent dopasowania określony na podstawie dostępnych danych z biblioteki NIST;

\* pary „doznanie zapachowe-zidentyfikowany związek”, które zostały potwierdzone w bazie Flavornet<sup>28</sup>.

## LITERATURA

1. Anonim, *Rynek ryb*, IERiGŻ-PIB, Warszawa 2012 r.
2. W.K. Jung, B.J. Lee, S.K. Kim, *Brit. J. Nutr.* 2006, **95**, 124.
3. K. Kolodziej, *Wiad. Ryb.* 2007, **9/10**, 21.
4. A.G.J. Tacon, M. Metain, *Aquaculture* 2008, **285**, 146.
5. S.K. Kim, P.J. Park, H.G. Byun, J.Y. Je, S.H. Moon, S.H. Kim, *J. Food Biochem.* 2003, **27**, nr 3, 255.
6. M.T. Rodriguez-Estrada, S. Chung, P. Chinachoti, *J. Food Sci.* 1994, **59**, 799.
7. F. Shahidi, Y.V.A. Janak-Kamil, *Trends Food Sci. Tech.* 2001, **12**, 435.
8. T. Larsen, S.H. Thilsted, K. Kongsbak, M. Hansen, *Brit. J. Nutr.* 2000, **83**, 191.
9. E. Skierka, M. Sadowska, J. Mańkowska, A. Lipińska-Beyer, *Med. Weter.* 2008, **64**, 677.
10. P. Phiraphinyo, S. Taepakpurenat, P. Lukkanatinnaporn, W. Suntornsuk, L. Suntornsuk, *J. Sci. Technol.* 2006, **28**, nr 2, 327.
11. W.K. Jung, P.J. Park, H.G. Byun, S.H. Moon, S.K. Kim, *Food Chem.* 2005, **91**, 333.
12. J. Toppe, S. Albrektsen, B. Hope, A. Aksnes, *Comp. Biochem. Phys. B* 2007, **146**, 395.
13. M.K. Malde, I.E. Graff, H. Siljander-Rasi, E. Venäläinen, K. Julshamn, J.I. Pedersen, J. Valaja, *J. Anim. Physiol. An. N.* 2010, **94**, nr 5, 66.
14. J.S. Kim, M.L. Cho, M.S. Heu, *J. Korean Fish Soc.* 2000, **33**, nr 2, 158.
15. Y. Tsutagawa, Y. Hosogai, H. Kawai, *J. Food Hyg. Soc. Japan* 1994, **34**, 315.
16. B. d'Acampora Zellner, P. Dugo, G. Dugo, L. Mondello, *J. Chromatogr. A* 2008, **1186**, 123.
17. I. Sówka, *Ochr. Środ.* 2011, **33**, nr 1, 31.
18. I. Sówka, M. Skrętowicz, J. Zwoździak, M. Szklarczyk, A. Nych, P. Zwoździak, G. Wojnicz, *Przem. Chem.* 2011, **90**, nr 6, 1240.
19. L.D. Jacobson, B.P. Hetchler, D.R. Schmidt, R.E. Nicolai, A.J. Heber, J. Ni, S.J. Hoff, J.A. Koziel, D.B. Parker, Y. Zhang, D.B. Beasley, *J. Air Waste Manage.* 2008, **58**, 806.
20. N. Akdeniz, L.D. Jacobson, B.P. Hetchler, S.D. Bereznicki, A.J. Heber, J.A. Koziel, L. Cai, S. Zhang, D.B. Parker, *T. ASABE* 2012, **55**, nr 6, 2335.
21. L. Theron, P. Tournayre, N. Kondjoyan, S. Abouelkaram, V. Sante-Lhoutellier, J. Berdague, *Meat Sci.* 2010, **85**, 453.
22. E. Bertrand, E. Hado-Maturana, C. Chevarin, S. Portanguen, F. Mercier, P. Tournayre, S. Abouelkaram, A.-S. Guillard, A. Kondjoyan, J.-L. Berdagué, *Intern. Dairy J.* 2011, **21**, 806.
23. L. Cai, J.A. Koziel, M. Dharmadhikari, J.H. van Leeuwen, *J. Chromatogr. A.* 2009, **1216**, 281.
24. Y.C. Lo, J.A. Koziel, L. Cai, S.J. Hoff, W.S. Jenks, H. Xin, *J. Environ. Qual.* 2008, **37**, 521.
25. L. Cai, J. Koziel, Y. Liang, A. Nguyen, H. Xin, *J. Environ. Qual.* 2007, **36**, 184.
26. L. Chen, S.J. Hoff, J.A. Koziel, L. Cai, B. Zelle, G. Sun, *Bioresource Technol.* 2008, **99**, 7767.
27. Z. Dobrzański, F. Bubel, K. Chojnacka, P.J. Bykowski, J. Bolanowski, T. Trziszka, *Przem. Chem.* 2012, **91**, nr 5, 733.
28. T. Acree, H. Arn, 2004, <http://www.flavornet.org>
29. *Zgl. pat. pol.* P-403123 (2013).