

Izomery a zapach czyli nos jako stereochemik

Katarzyna WIŃSKA*, Bartłomiej POTANIEC, Wanda MAĆZKA, Małgorzata GRABARCZYK, Mirosław ANIOŁ, Czesław WAWRZEŃCZYK – Katedra Chemii, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław

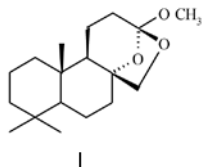
Please cite as: CHEMIK 2014, 68, 2, 83–90

Wstęp

Węch jest jednym z najważniejszych zmysłów. Pierwotnie służył on człowiekowi do ostrzegania przed niebezpieczeństwem. Zwykle nie zdajemy sobie sprawy z tego, że narząd, którym wachamy jest niezwykle wrażliwą analityczną „maszyną”. Właściwie nie ma dwóch różniących się budową cząsteczek, których nasz nos nie potrafiłby rozróżnić. Wykrywa on nawet niewielkie ilości zanieczyszczeń w badanej próbce, a co najważniejsze robi to lepiej niż niejedna maszyna analityczna [1]. Dzięki naszym receptorom węchowym, które są wrażliwe na kształt cząsteczki, jesteśmy zdolni do rozpoznawania niuansów zapachowych z tym związanych. Badania nad syntezą nowych pachnących substancji pokazały, że wprowadzając zmiany w budowie przestrzennej cząsteczki, można również wpływać na właściwości osmiczne, czyli zapachowe związku. Nawet niewielkie modyfikacje struktury mogą wpłynąć na kształt przestrzennej cząsteczki, a tym samym na sposób dopasowania się do wymagań receptora i sposób połączenia z nim. Dotychczasowe badania wykazały, że czynnikami stereochemicznymi najbardziej wpływającymi na zapach są: konfiguracja wiązania podwójnego oraz konfiguracja centrów chiralności [2]. W niniejszej pracy pragniemy pokazać różnice i podobieństwa właściwości zapachowych pomiędzy stereoizomerami, czyli izomerami przestrzennymi. Przedstawione zostaną pary izomerów różniących się zapachem oraz jego intensywnością, oraz takie, gdzie zmiana dotyczyć będzie tylko jednej cechy, np. intensywności lub nuty zapachowej.

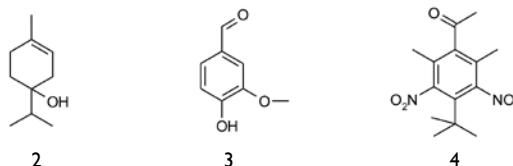
Właściwości fizyczne związków zapachowych

Omawiając związki zapachowe należy przedstawić ogólne cechy, jakimi powinna charakteryzować się cząsteczka. Przede wszystkim jej masa cząsteczkowa powinna oscylować w granicach od ok. 80 do 300u. Górną granicę wyznacza z kolei związek o masie cząsteczkowej 294u, czyli 13-metoksy-8 α ,13,13,20-diepoksy-14,15,16-trisnorlabdan (C₁₈H₃₀O₃) (**1**) o zapachu ambry.

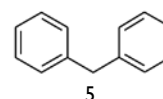


Jednymi z najbliższych związków wykazujących właściwości zapachowe są: H₂S o masie 34u i zapachu zgniłych jaj oraz NH₃ (14u) o charakterystycznym dla niego zapachu [3–5]. Cząsteczka o właściwościach osmicznych powinna ponadto charakteryzować się małą polarnością, aktywnością powierzchniową, słabą rozpuszczalnością w wodzie oraz wykazywać wysoką lipofilowość i wysoką prężność par. Znaczenie ma nie tylko liczba i rodzaj grup funkcyjnych (osmoforów), ale również heteroatomy, takie jak azot lub siarka, które są niezwykle istotnymi czynnikami wpływającymi na zapach. Przykładem związku zawierającego w swojej strukturze tylko jeden osmofor – grupę hydroksylową jest terpinen-4-ol (**2**) wykorzystywany w kompozycjach perfumeryjnych podczas tworzenia nut herbacianych i lawendowych [6]. Charakteryzuje się on zapachem

korzennym, przypominającym gałkę muszkatołową, drzewno-ziemnym z nutą kwiatu bzu. Istnieją również związki, których cząsteczki posiadają większą liczbę grup osmoforowych. Wanilina (**3**) o zapachu drzewno-waniliowym zawiera w swojej strukturze aż trzy grupy funkcyjne. Innymi związkami zawierającymi trzy grupy osmoforowe są syntetyczne piżma nitrowe o zapachu piżma. Przedstawicielem tej grupy jest, odkryty w 1894 r. przez Alberta Baura, keton piżmowy (**4**) [7].



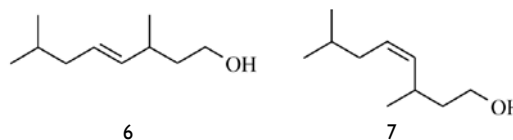
Obecność grup osmoforowych nie jest jednak konieczna, aby cząsteczka charakteryzowała się interesującym zapachem. Odpowiednim przykładem może być difenylometan (**5**) o zapachu podobnym do liści geranium, który nie posiada grup funkcyjnych [2, 8].



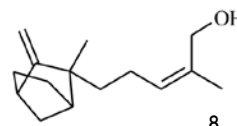
Wpływ konfiguracji wiązania podwójnego na zapach

Izomery konfiguracyjne (*E*) i (*Z*) wykazują zazwyczaj zupełnie inny profil sensoryczny. Generalnie uznaje się, że (*Z*)-izomery mają przyjemniejsze zapachy i są bardziej „naturalne” niż (*E*). Zależność tego typu występuje w przypadku izomerów hept-4-enalu, gdzie cząsteczka o konfiguracji (*Z*) ma przyjemny kremowo-masłowy zapach, a jego drugi izomer charakteryzuje się agresywnym zapachem kitu z nutą zieloną [6]. Istnieje jednak wiele przykładów stanowiących wyjątek od tej reguły.

Otrzymane przez Wawrzeńczyka i wsp. w latach 90. ub. w. niewystępujące w przyrodzie izomery (*E*) i (*Z*) 3,7-dimetylokt-4-en-1-olu różnią się między sobą, zarówno intensywnością jak i charakterem zapachu. (*E*)-3,7-dimetylokt-4-en-1-ol (**6**) ma intensywny, przyjemny, kwiatowy zapach z nutą różaną, natomiast izomer (*Z*) (**7**) jest mniej intensywny, również przyjemny, ale z wyraźnym zapachem grzybowym z nutą warzywną [9].



Christian Chapis opisuje podobną sytuację w otrzymanych przez niego analogach santalolu (**8**) [10]. Związki te posiadały zaskakująco inne właściwości zapachowe niż pierwowzór, a zależność między właściwościami osmicznymi i konfiguracją wiązania podwójnego w łańcuchu była jeszcze bardziej widoczna (Tab. 1).



Autor do korespondencji:
Dr inż. Katarzyna WIŃSKA, e-mail: katarzyna.winska@up.wroc.pl

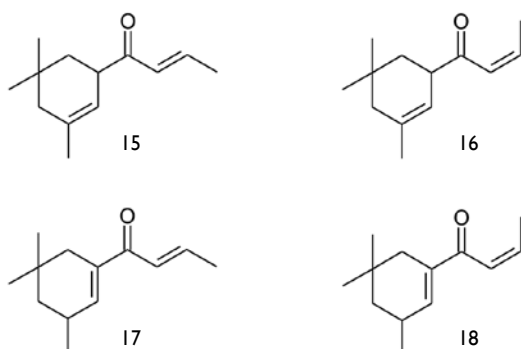
Tablica 1

Właściwości zapachowe analogów santalolu

R =	Konfiguracja	Zapach	Konfiguracja	Zapach
Me	(R, E)-(+)- 9	zapach drzewa sandałowego	(R, Z)-(-)- 12	zielony, pomidorowy, słaby
Et	(R, E)-(-)- 10	zapach drzewa sandałowego, drzewny	(R, Z)-(-)- 13	niedrzewny, masłowy
Pr	(R, E)-(+)- 11	drzewny, zapach drzewa sandałowego	(R, Z)-(-)- 14	zielony, niewyraźny owocowy, drzewny

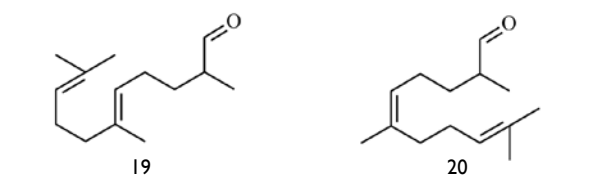
Seria analogów (E) charakteryzowała się nutami drzewa sandałowego podczas gdy związki z wiązaniem podwójnym o konfiguracji (Z) były pozbawione zapachu olejku drzewa sandałowego.

Zsyntezowane przez Weyerstahla w 1996 r. mieszaniny izomerów E/Z (**15**÷**18**) mają równie interesujące właściwości zapachowe.

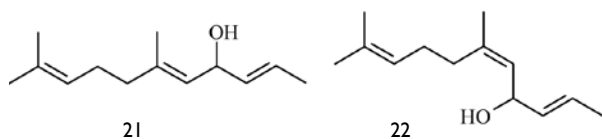


Związek **15** charakteryzuje się zapachem jabłkowym, orzechowo-drzewnym, a jego izomer (**16**) ma zapach świeży, zielony, tłuszczoworybny z nutą bergamotki. Zapach związku **17** opisany został jako świeży, bergamotkowo-mandarynkowo-drzewny, natomiast cząsteczka **18** ma zapach drzewny, cedrowy, świeży z nutą irysową [11].

Konfiguracja wiązania podwójnego nie zawsze ma aż tak widoczny wpływ na charakter zapachu związku. Przykład aldehydów **19** i **20** pokazuje, że konfiguracja wiązania podwójnego może wpływać tylko na intensywność i nutę. Obydwa związki mają zapach kwiatowy, ale **19** jest intensywniejszy i ma nutę ozonową. Natomiast zapach związku **20** jest opisany jako owocowo-kwiatowy, bardzo słodki, mdły [12].



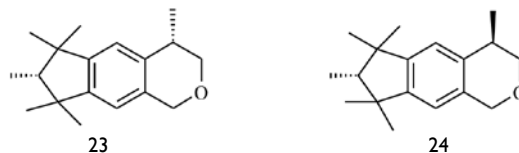
W parze izomerów alkoholi **21** i **22** jest odwrotnie, ponieważ to izomer (Z) charakteryzuje się intensywniejszym zapachem. Obie cząsteczki mają zapach kwiatowy z wyraźną nutą różaną, a różnica w jakości zapachu obu związków polega na istnieniu drzewnej nuty w profilu sensorycznym izomeru (E) [13].



Rozmieszczenie podstawników względem pierścienia

Szczególnym przypadkiem stereoisomerii konfiguracyjnej jest różne rozmieszczenie podstawników względem płaszczyzny pierścienia. Tego typu pary diastereoizomerów charakteryzują się zazwyczaj odmiennymi zapachami. Przykładem może być cis izomer Galaxolidu®

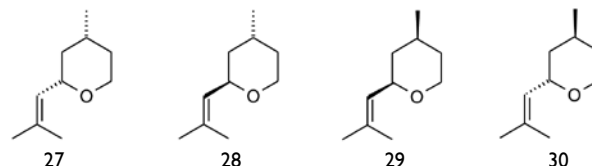
(**23**) o przyjemnym, piżmowym zapachu oraz owocowo pachnący związek **24**. Ponadto zapach izomeru trans jest prawie 700 razy słabszy od izomeru cis [14].



Kolejna para izomerów – bicyklicznych eterów – różni się również zapachem. Zapach eteru **25** opisywany jako kamforowy, drzewny z nutą zwierzęcą w niczym nie przypomina kwiatowo-konwaliowego, zielono-balsamicznego zapachu z nutą drzewną eteru **26** [15].



Jednym z najczęściej wykorzystywanych związków do tworzenia nut różanych jest tlenek różany. W olejku różanym i geraniowym odkryte zostały dwa z izomerów (2S, 4R)-**27** i (2R, 4R)-**28**.



Wykorzystanie wszystkich zapachowych izomerów stało się możliwe dopiero po opracowaniu procedury syntezy asymetrycznej, wykorzystującej (-)-cytronellol [16÷18]. Charakterystyki zapachowe oraz konfiguracje diastereoizomerów tlenku różanego przedstawione zostały w Tablicy 2.

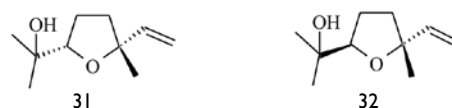
Tablica 2

Właściwości zapachowe izomerów tlenku różanego

Związek	Zapach
(2S, 4R)- 27	Kwiatowo-zielony; czysty, różany, zielony, silny
(2R, 4R)- 28	Kwiatowo-zielony; zielony, ziołowy, miętowy, owocowy
(2R, 4S)- 29	Ziołowo-zielono-kwiatowy; zapach siana, zielony, ziemisty
(2S, 4S)- 30	Ziołowo-zielono-kwiatowy; owocowy, ziołowo-różany, cytrusowy (gorzka skórka)

Obie pary diastereoizomerów tlenku różanego nie różnią się ogólnym opisem zapachu – (2S, 4R)-**27** i (2R, 4R)-**28** mają zapach kwiatowo-zielony, a (2R, 4S)-**29** i (2S, 4S)-**30** ziołowo-zielono-kwiatowy. Natomiast charakterystyka ich nut zapachowych nie są już tak podobna. W pierwszej parze następuje zmiana zapachu z różano-zielonego na zielony, ziołowy, miętowy-owocowy a w drugiej różnica ta jest jeszcze bardziej wyraźna: nuta zmienia się z zielono-ziemistej na owocową, ziołowo-różaną, cytrusową (gorzka skórka) [19].

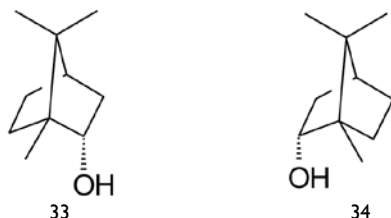
Furanoidowe tlenki linalolu zostały wyizolowane w 1908 r. z olejków roślin *Bursera* sp. i *Aniba rosaeodora*. Dopiero w latach 60. ub. w. Felix ustalił ich strukturę [20]. Zapach przedstawionej poniżej pary izomerów jest taki sam – liściasto-ziemisty, a różnica polega tylko na jego intensywności. Zapach izomeru (2R, 5S)-**31** jest znacznie silniejszy od zapachu (2R, 5R)-**32** [21].



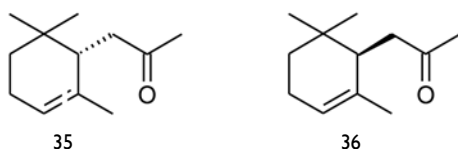
Enancjomery

Jednym z najważniejszych czynników wpływających zarówno na intensywność jak i rodzaj zapachu jest konfiguracja centrów chiralności w cząsteczce. Przykładem mogą być izomery borneolu. W 1874 r.

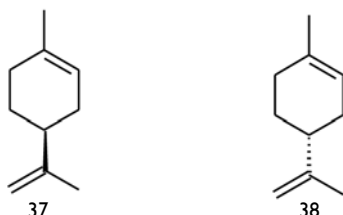
pojawiła się uwaga dotycząca odmiennych właściwości zapachowych jego enancjomerów. W badaniach porównano dwa olejki eteryczne, które różniły się zapachem. Olejek z *Dryobalanops aromatica* miał słaby kamforowy, nieprzyjemnie pieprzowy zapach, a olejek z *Blumea balsamifera* kamforowo-terpentynowy. Po szeregu badań okazało się, że w pierwszym z olejków znajdował się (1R, 2S, 4R)-(+)-borneol (**33**), natomiast w drugim (1S, 2R, 4S)-(-)-borneol (**34**) [4]. W 1961 r. Ohloff [22] opublikował badania dotyczące enancjoselektywnego postrzegania chiralnych substancji zapachowych [18].



Różnice w zapachach pary enancjomerów doskonale przedstawia para produktów biodegradacji α -izometylojononów. Zapach (S)-enancjomeru (**35**) opisany został jako silny kwiatowo-owocowy z irysową nutą, podczas gdy (R) izomer (**36**) jako drzewno-zwierzęcy i mniej intensywny [23].

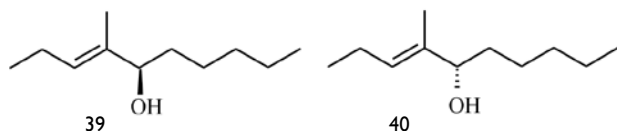


Kolejnym związkiem jest limonen – nienasycony węglowodór monoterpenny, występujący w wielu kompozycjach zapachowych oraz aromatach spożywczych.



Jego izomer R-(+)-(38) charakteryzuje się zapachem cytrusowym z nutą pomarańczową. Jest on głównym składnikiem olejków ze skórek cytrusów gdzie jego zawartość w olejkach może przekraczać nawet 90%. Natomiast S-(-)-(37) izomer ma zapach ciepki, podobny do terpentyny z nutą cytrynową. Znalezione go między innymi w olejkach z roślin rodziny *Mentha* oraz drzew iglastych [8, 18].

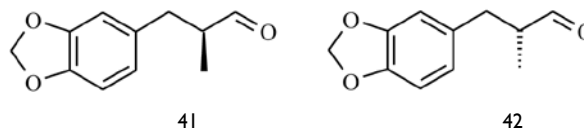
Ze względu na swoje dość interesujące właściwości zapachowe racemiczny Undecavertol[®] firmy Givaudan wykorzystywany jest dość często przy tworzeniu różnych i owocowo-gruszkowych nut. W literaturze jego zapach opisany jest jako silny o zielono-kwiatowym charakterze, naturalnie świeży, owocowy z nutą liści fiołka i kwiatów lipy.



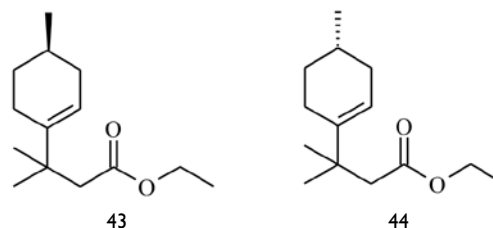
Z kolei czyste enancjomery tego związku różnią się właściwościami osmicznymi. (R)-(+)-undecavertol (**39**) ma podobny dla racematu zapach kwiatowy, zielony, świeży, liści fiołka, ale jest silniejszy i bardziej zielony. Ponadto obecna jest również nuta ogórka i Neofolione (ester metylowy kwasu non-2-enowego). Zapach (S)-(-)-(40) jest dziesięciokrotnie słabszy od enancjomeru R, owocowo-zielony z nutą balsamu pinefiru a ponadto wyczuwalne są również nuty herbaciane [24].

Ze względu na charakterystyczną świeżą morską nutę racemiczny Tropional[®] stosowany jest w wielu kompozycjach perfumeryjnych.

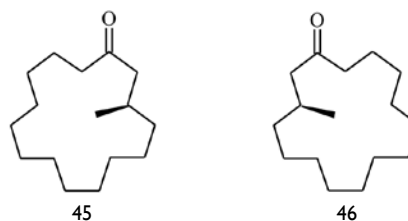
Obecnie dla przemysłu produkuje się 300–350 ton tego produktu. Charakterystyki zapachowe jego enancjomerów różnią się znacząco. Zapach izomeru (S)-41 opisany jest jako zielono-kwiatowy z morskimi i ozonowymi nutami podobnymi do stoney wody, z odcieniem słodkim, owocowo-kuminowym. Z kolei związek (R)-42 ma zapach kwiatowy, podobny do cyklamenu i konwalii, z aldehydową i słodką, owocowo-cytrusową nutą. Ponadto związki te różnią się intensywnością – (S)-enancjomer jest ok. pięć razy silniejszy od (R) [25, 26].



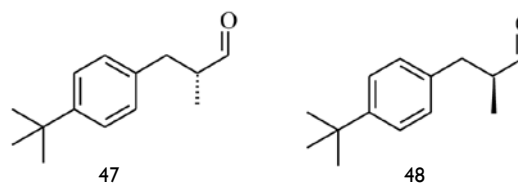
Syntezywane przez Dams enancjomeryczne estry z układem p-mentenu mają bardzo podobne charakterystyki zapachowe. Oba związki charakteryzują się owocowo-gruszkowym zapachem, a jedyna różnica wynika z obecności drzewnej nuty w (S)-44 enancjomerze [27].



Również enancjomery muskonu (45 i 46) mają ten sam zapach piżmowy. Jedyna różnica polega na intensywności zapachów. Próg wyczuwalności (-)-muskonu (45) jest pięć razy niższy niż jego (+)-izomeru (46) [14, 18, 28].



Podobną zależność obserwujemy w przypadku enancjomerów Lialiu[®] (47). Obydwa związki mają świeży kwiatowy, podobny do konwalii zapach z nutami lipy i cyklamenu, ale zapach izomeru R(-) jest bardziej intensywny [5, 29].



Bardzo interesująca jest różnica zapachów między enancjomerami nienasyconego alkoholu (49) i jego krzemowego analogu (50). Obydwa enancjomery alkoholu (49) mają kwiatowy zapach, ale (-)-enancjomer jest mniej intensywny. Natomiast krzemowe analogi różnią się diametralnie zapachem i intensywnością. (+)-Enancjomer (50) charakteryzuje się aromatem grzybowo-ziemistym, a zapach izomeru (-) jest kwiatowy, lekko różany [25, 30].



(+) silny, kwiatowy, podobny do linalolu
(-) słabszy, konwaliowy, bez charakteru linalolu

(+) intensywny, grzybowy, ziemisty
(-) bardzo słaby, kwiatowy, lekko różany

Podsumowanie

Obserwacje otaczającego nas świata pokazują, że lubimy otaczać się pachnącymi przedmiotami. My sami również lubimy ładnie pachnieć i właściwie nie wyobrażamy sobie życia bez zapachu. Jako istoty chiralne, zbudowane z cząsteczek o określonej konfiguracji mamy możliwość odróżniania chiralnych obiektów, w tym również, dzięki interakcjom między pachnącymi molekułami i receptorami, możemy rozróżnić je poprzez zapach. Z tego powodu niezwykle istotne są dalsze badania właściwości biologicznych stereoisomerów. Należy podkreślić, że wiarygodne dane mogą być zbierane tylko w przypadku związków o bardzo wysokiej czystości. Dlatego nikogo nie powinny dziwić wymagania dotyczące opracowania stereoselektywnych metod otrzymania i rozdziału izomerów.

Literatura

1. Turin L.: *The nose as spectroscopist*. Chemistry and Industry, 1997, **21**, 866–870
2. Nowicki J., Góra J.: *Struktura chemiczna a zapach. Próba analogii na przykładzie związków furfurylowych i benzytowych*. POLLENA-TSPK, 1993, **37**, 134–139.
3. Ohloff G.: *Scent and Fragrances*, Springer-Verlag, Heidelberg 1994, 9, IX.
4. Bentley R.: *The Nose as a Stereochemist. Enantiomers and Odor*. Chem. Rev., 2006, **106**, 4099–4112.
5. Fráter G., Bajgrowicz J. A., Kraft P.: *Fragrance Chemistry*. Tetrahedron, 1998, **54**, 7633–7703.
6. Weyerstahl P.: *Odor and structure*. J. Prakt. Chem., 1994, **336**, 95–109.
7. Baur A.: *Studien über den künstlichen Moschus*. Ber. Dtsch. Chem. Ges., 1891, **24**, 2832.
8. Bauer K., Garbe D., Surburg H.: *Common Fragrance and Flavour Materials*, Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2001, s. 5, 41–42, 49–50, 68, 83, 89, 93, 96, 125.
9. Wawrzeńczyk C., Obara R., Góra J.: *Odor analysis of (E)- and (Z)-3,7-dimethyl-1,4-octen-1-ols and their derivatives*. Perfumer&Flavorist, 1993, **18**, 29–32.
10. Chapuis C.: *In the Quest for a Virtual Pseudo Receptor for Sandalwood-Like Odorants, Part I*. Chem.&Biodiv., 2004, **1**, 980–1021.
11. Weyerstahl P., Licha K.: *Structure-odor correlation. 24. Synthesis and olfactory properties of damascene and damascenone analogs*. Liebigs Ann., 1996, **5**, 809–814.
12. Góra J., Antczak U.: *Syntheses and odor characteristics of some analogs of acyclic sesquiterpenoids*. Perfumer&Flavorist, 1980, **5**, 31–37.
13. Wawrzeńczyk C., Zabża A., Góra J.: *Syntheses and odor characteristics of some homologs of acyclic terpenoids*. Perfumer&Flavorist, 1983, **8**, 39–47.
14. Kraft P., Frater G.: *Enantioselectivity of the musk odor sensation* Chirality, 2001, **13**, 388–394.
15. Linares-Palomino P. L., Salido S., Altarejos J., Noguera M., Sanchez A.: *Synthesis and odour evaluation of stereoisomers of octahydrobenzopyran derivatives*. Flav. Fragr. J., 2006, **21**, 659–666.
16. Seidel C. F., Feilix D., Eschenmoser A., Biemann K., Palluy E., Stoll M.: *Rose oil. II. The constitution of the oxide C10H18O from Bulgarian rose oil*. Helv. Chim. Acta, 1961, **66**, 598–606.
17. Seidel C. F., Stoll M.: *Investigation of rose oil. I. Low boiling constituents of Bulgarian rose oil*. Helv. Chim. Acta, 1959, **199**, 1830–1844.
18. Brenna E., Fuganti C., Serra S.: *Enantioselective perception of chiral odorants*. Tetrahe.: Asymm. 2003, **14**, 1–42.
19. Zviely M.: *Material study: Heterocyclic Nitrogen- and Sulfur-Containing Aroma Chemicals*, Perfumer&Flavorist, 2006, **31**, 34–46.
20. Felix D., Melera A., Seil J., Kovats E. Sz.: *Zur Kenntnis ätherischer Öle. 2. Mitteilung. Die Struktur der sogenannten Linalooloxide*. Helv. Chim. Acta, 1963, **167**, 1513–1536.
21. Wust M., Mosandl A.: *Important chiral monoterpenoid ethers in flavours and essential oils enantioselective analysis and biogenesis*. Eur. Food Res. Technol., 1999, **209**, 3–11.
22. Rienacker R., Ohloff G.: *Optisch aktives β-Citronellol aus (+)- oder (-)-Pinan*. Angew. Chem. 1961, **73**, 240.
23. Ishizaki S., Itoh M., Komai T., Kitahara T.: *Biotransformation of α-Isomethylionone to 1-(2,6,6-Trimethyl-2-cyclohexen-1-yl)propan-2-one*. Biosci. Biotechnol. Biochem., 2004, **68**, 1164–1166.
24. Abate A., Brenna E., Fregosi G.: *Bio-catalysed synthesis of optically active Undecaverto® enantiomers*. Tetrahedron: Asymm., 2005, **16**, 1997–1999.
25. Doszczak L., Gasperi T., Saint-Dizier A., Loreto M. A., Enders D.: *Silylating reagents: a powerful tool for the construction of isosteric analogs of highly branched odorants*. Chem.&Biodiv., 2004, **1**, 1921–1935.
26. Enders D., Backes M.: *First asymmetric synthesis of both enantiomers of Tropional® and their olfactory evaluation*. Tetrahedron: Asymm., 2004, **15**, 1813–1817.

27. Dams I., Białońska A., Ciunik Z., Wawrzeńczyk C.: *Lactones. 21. Synthesis and odoriferous properties of lactones with the p-menthane system*. J. Agric. Food Chem., 2004, **52**, 1630–1634.
28. Sell C.S.: *On the unpredictability of odor*. Angew. Chem. Int. Ed., 2006, **45**, 6254–6261.
29. Sell C. S.: *Scent through the looking glass*. Chem.&Biodiv., 2004, **1**, 1899–1919.
30. Schmid T., Daiss J. O., Ilg R., Surburg H., Tacke R.: *Enantiopure chiral derivatives of the fragrance materials majantol and sila-majantol: A bioisosteric carbon/silicon switch with drastic effects on the sensory characteristics*. Organometallics, 2003, **22**, 4343–4346.

Dr inż. Katarzyna WIŃSKA ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej (1999). Tytuł doktora nauk chemicznych uzyskała w 2008 roku. W 2011 roku otrzymała wyróżnienie w konkursie „Wynalazczyni 2011” organizowanym przez FSNT-NOT, Urząd Patentowy RP, Stowarzyszenie Polskich Wynalazców i Racjonalizatorów oraz redakcję „Przeglądu Technicznego”. Obecnie jest adiunktem w Katedrze Chemii na Wydziale Nauk o Żywności Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Specjalność – synteza organiczna, chemia związków zapachowych, biokataliza. Jest współautorką 16. artykułów naukowych, 31. referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych, ok. 50. patentów.
e-mail: katarzyna.winska@up.wroc.pl, tel. 71 320 5213

Mgr inż. Bartłomiej POTANIEC ukończył studia na Wydziale Chemicznym kierunku Medicinal Chemistry na Politechnice Wrocławskiej we Wrocławiu (2009). Jest doktorantem w Katedrze Chemii Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Specjalność – biotechnologia, synteza pochodnych flawonoidów. Jest autorem lub współautorem 1. patentu, 3. rozdziałów w podręcznikach, 5. artykułów w prasie naukowo-technicznej oraz 18. referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych.

Dr inż. Wanda MAĆZKA jest absolwentką biotechnologii na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej (1999). Stopień doktora nauk biologicznych w zakresie biotechnologii uzyskała w 2003 r. na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu, gdzie obecnie pracuje w Katedrze Chemii. Zainteresowania naukowe obejmują biotransformacje oraz chemię związków naturalnych. Jest współautorką 15. artykułów w prasie naukowo technicznej, 23. referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych oraz 11. patentów.

Dr Małgorzata GRABARCZYK jest absolwentką Chemii Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego (1989). Od 1995 r. pracuje w Katedrze Chemii Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. W 2003 r. obroniła pracę doktorską w dziedzinie chemii organicznej na Wydziale Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego. Zainteresowania naukowe: synteza laktonów terpenoidowych (głównie chlorowco- i hydroksypochodnych) z układem metylo-, dimetylo- i trimetylocykloheksanu oraz biotransformacje chlorowcolaktonów przy użyciu grzybów strzępkowych (głównie z rodzaju Fusarium). Jest współautorem 18. artykułów naukowych, 26. referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych, 10. patentów.

Dr hab. inż. Mirosław ANIOŁ jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej (1987). Stopień doktora nauk chemicznych na tymże Wydziale uzyskał w 1996 roku, a doktora habilitowanego nauk biologicznych z dziedziny biotechnologii w 2010 r. Jest zatrudniony na stanowisku prof. nadzw. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w Zakładzie Syntezy Organicznej Katedry Chemii na Wydziale Nauk o Żywności. Specjalność – biotransformacje, synteza organiczna, metody spektroskopowe, fizykochemia, analiza związków naturalnych.

Prof. dr hab. Czesław WAWRZEŃCZYK w roku 1966 ukończył chemię na Wydziale Mat.-Fiz.-Chem. Uniwersytetu Wrocławskiego. Jest profesorem zwyczajnym i kierownikiem Zakładu Chemii Żywności Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Specjalność – chemia bioorganiczna i biotechnologia. Zainteresowania naukowe: synteza związków biologicznie aktywnych, chemia związków zapachowych.