

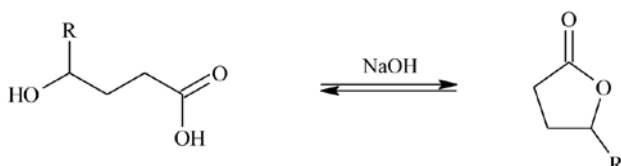
# Laktony o właściwościach sensorycznych

Barbara GAWDZIK, Angelika KAMIZELA – Instytut Chemii, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Kielce, Agnieszka SZYSZKOWSKA – Wydział Chemiczny, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2015, 69, 6, 342–349

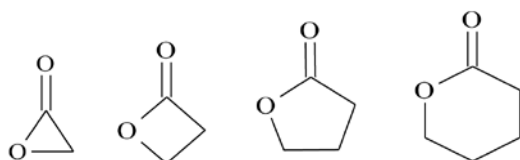
## Wstęp

Laktony stanowią grupę cyklicznych estrów, powstających w wyniku wewnątrzcząsteczkowej estryfikacji hydroksykwasów (Schem. 1). Grupa estrowa - laktonowa występuje w ugrupowaniu cyklicznym [7].



Schem. 1. Wewnątrzcząsteczkowa estryfikacja hydroksykwasów

W zależności od wzajemnego położenia grupy hydroksylowej i karboksylowej w wyjściowym hydroksykwacie wyróżnia się cztery rodzaje laktonów:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , różniące się wielkością pierścienia cyklicznego (Rys. 1).



Rys. 1. Wzory  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -laktonów

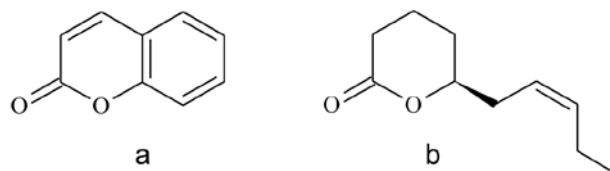
Poszczególne typy laktonów wykazują odmienną trwałość i właściwości. Do najbardziej stabilnych należą  $\gamma$ -laktony i  $\delta$ -laktony, czyli zawierające odpowiednio pięć lub sześć atomów w pierścieniu cyklicznym. Najmniejszą trwałość przypisać można  $\alpha$ -laktonom, ze względu na silne naprężenia torsyjne i kątowe wiązań pomiędzy atomami tworzącymi pierścień. Podobne naprężenia, w nieco mniejszym stopniu, obserwuje się także w  $\beta$ -laktonach, jednak pomimo tego niektóre z nich występują naturalnie w przyrodzie i opracowano metody pozwalające na ich izolowanie. Związki z ugrupowaniem laktonowym, zawierające powyżej sześciu atomów w pierścieniu są z reguły nietrwałe, ze względu na występujące w nich niekorzystne oddziaływania związane z budową układu cyklicznego. Niemniej jednak znane są przykłady takich substancji, powszechnie wykorzystywanych m.in. w przemyśle kosmetycznym, np.  $\omega$ -pentadekalakton [8, 17]. Cykliczne estry, jakimi są laktony, odpowiadają za zapach i smak owoców, warzyw, mięsa, grzybów oraz napojów alkoholowych. Ich właściwości zależą przede wszystkim od ilości atomów w pierścieniu, rodzaju podstawników, obecności wiązań nienasyconych oraz konfiguracji centrów stereogenicznych [6]. Na zapach i smak owoców, warzyw i napojów alkoholowych wpływają głównie  $\gamma$ -laktony, podczas gdy  $\delta$ -laktony wchodzą w bukiety aromatyzujący produkty mleczne [9].

## Laktony stosowane w przemyśle spożywczym

Wiele związków z ugrupowaniem laktonowym odpowiada za charakterystyczny zapach różnych rodzajów produktów spożywczych.

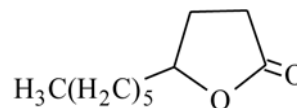
Autor do korespondencji:  
Dr hab. inż. Barbara GAWDZIK, e-mail: b.gawdzik@ujk.edu.pl

Do najpowszechniejszych należą: kumaryna – o zapachu świeżego siana i lakton jaśminowy – o słodkim, kwiatowym zapachu (Rys. 2) [2].



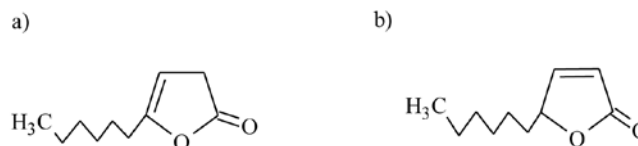
Rys. 2. a) kumaryna; b) lakton jaśminowy

Ważnym pod względem zastosowania w przemyśle spożywczym jest  $\gamma$ -dekalakton (Rys. 3), który ze względu na wysoką cenę izolacji z naturalnych produktów, wytwarzany jest na dużą skalę na drodze syntezy chemicznej [6] oraz metodami biotechnologicznymi [10], z zastosowaniem m.in. mikroorganizmów, takich jak: *Ceratocystis moniliformis*, *Pityrosporumspecies* czy *Fusarium poae* [11]. W wyniku syntezy chemicznej jako produkt otrzymuje się mieszaninę racemiczną  $\gamma$ -dekalaktonu. Enancjomer S – występuje naturalnie w mango, natomiast enancjomer R – spotykany jest w większości owoców, a w szczególności w brzoskwiach. Nadaje on produktom spożywczym intensywny zapach brzoskwini lub kokosu, nawet przy stężeniu poniżej 5 mg/dm<sup>3</sup>. Z uwagi na tak niski próg wyczuwalności,  $\gamma$ -dekalakton odgrywa istotną rolę jako składnik aromatów owocowych [6].



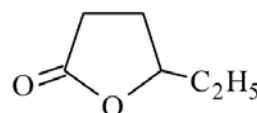
Rys. 3.  $\gamma$ -dekalakton

Dec-3-en-4-olid charakteryzuje się bardziej intensywnym zapachem brzoskwiniowym niż  $\gamma$ -dekalakton. Jednak ze względu na skomplikowany proces rozdziału regioizomerów: dec-2-en-4-olidu (zapach grzybowy) i dec-3-en-4-olidu (Rys. 4), dec-3-en-4-olid nie jest produkowany na skalę przemysłową [6].



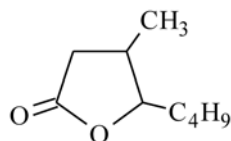
Rys. 4. a) dec-3-en-4-olid; b) dec-2-en-4-olid

Jednym ze składników aromatów owocowych i kwiatowych jest 5-etylo- $\gamma$ -lakton (Rys. 5), charakteryzujący się bardzo intensywnym aromatem karmelu i lukrecji; wykorzystywany jest szeroko w przemyśle spożywczym jako substancja aromatyzująca napoje, piwa, herbaty, brandy, tytoń oraz masło [9].



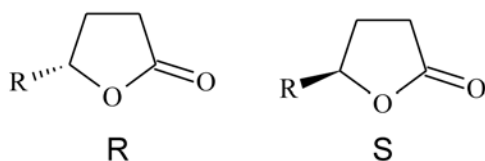
Rys. 5. 5-etylo- $\gamma$ -lakton

Podczas procesu dojrzewania win i innych napojów alkoholowych przechowywanych w dębowych beczkach uwalniany jest 4-n-butylo-5-metylo- $\gamma$ -lakton (Rys. 6), nazywany potocznie whisky laktonem, nadający charakterystyczne aromaty trunkom. Za jeden z najważniejszych enancjomerów odpowiedzialnych za zapach wina lub whisky uważany jest izomer (4S,5S)-cis-whisky laktonu [9].



Rys. 6. whisky-lakton

Można zauważyć, że właściwości zapachowe laktonów zależą od obecności oraz wielkości podstawników w pierścieniu laktonowym. Najprostszy  $\gamma$ -lakton o pięcioczłonowym pierścieniu, czyli  $\gamma$ -butyrolakton (Rys. 7), w zależności od rodzaju podstawnika charakteryzuje się innym zapachem [12].



Rys. 7. Izomery (R) i (S)  $\gamma$ -butyrolaktonu

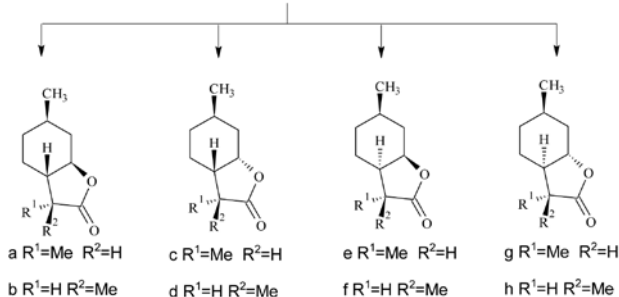
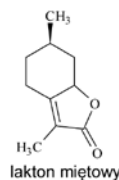
W Tabelcy I przedstawiono zapachy oraz ich intensywności w zależności od wielkości podstawnika przyłączonego do pierścienia  $\gamma$ -butyrolaktonu [12].

Tabelca I

Zapachy pochodnych  $\gamma$ -butyrolaktonu [12]

Pochodna $\gamma$ -butyrolaktonu	Stereo-izomer	Zapach
R=C <sub>1</sub>	R	słaby, słodki
	S	prawie bezwonny
R=C <sub>2</sub>	R	słaby, słodki, kokosowy, tłuszczowy, zapach świeżego siana
	S	słodki, kremowy, kokosowy
R=C <sub>3</sub>	R	słodki, ostry, ziołowy, podobny do kumaryny
	S	tłuszczowy, kokosowy z słodko-owocową nutą, mniej intensywny niż enancjomer R
R=C <sub>4</sub>	R	ostry, ziołowy, kokosowy, migdałowy
	S	tłuszczowy, kokosowy, mniej intensywny niż enancjomer R
R=C <sub>5</sub>	R	intensywny, słodki, kokosowy, tłuszczowy, mleczny
	S	tłuszczowy, pleśniowy, kokosowy, mniej intensywny niż enancjomer R
R=C <sub>6</sub>	R	intensywny, słodki, tłuszczowy, owocowy, kokosowy, karmelowy
	S	łagodny, słodki, kokosowy, owocowy
R=C <sub>7</sub>	R	intensywny, słodki, tłuszczowy, podobny do zapachu brzoskwini
	S	słodki, tłuszczowy, mniej intensywny niż enancjomer R
R=C <sub>8</sub>	R	intensywny, owocowy, słodki, zapach drewna
	S	tłuszczowy, owocowy, mleczny, mniej intensywny niż enancjomer R

Interesujące właściwości zapachowe wykazuje także grupa podstawionych p-metylolaktonów, takich jak pochodne laktonu miętowego (Rys. 8) [13].



Rys. 8. Pochodne laktonu miętowego

Spośród wymienionych pochodnych laktonu miętowego (Rys. 8), tylko izomer e) nie został obdarzony zapachem (Tab. 2).

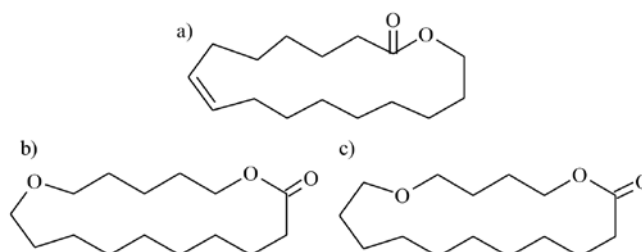
Tabelca 2

Zapachy pochodnych laktonu miętowego [13]

Pochodna	Zapach
a	mleczny
b	kumarynowy, mleczny, bób, siano
c	kumarynowy, tłuszczowy
d	kumarynowy, mleczny
e	bez zapachu
f	mleczny
g	kumarynowy, siarkowy, siano
h	kumarynowy, siano

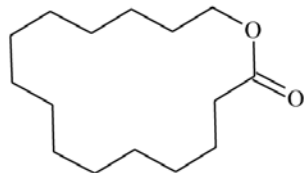
### Laktony stosowane w przemyśle kosmetycznym

Związkami o ciekawej strukturze, użytkowanymi na szeroką skalę jako substancje zapachowe (w produkcji m.in. kremów do twarzy, antyperspirantów, perfum, olejków do kąpieli, mydeł, szamponów, lakiery do włosów, środków czystości i detergentów) są: lakton kwasu 16-hydroksy-7-heksadekenowego [14] oraz 11-oksyheksadekanolid [15] i 12-oksyheksadekanolid [16] (Rys. 9). Szacuje się, że każdego roku na świecie zużywa się od 0,01–0,1 t pierwszego związku [14] i 1–10 t drugiego i trzeciego [15, 16].



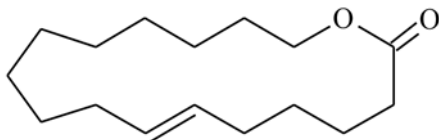
Rys. 9. a) 16-hydroksy-7-heksadekenowego; b) 11-oksyheksadekanolidu; c) 12-oksyheksadekanolid

Podobne zastosowanie w kosmetyce znalazł  $\omega$ -pentadekalakton (Rys. 10). Największe stężenie tego związku znajduje się w korzeniu arcydzięgla – gatunku rośliny należącej do selerowatych. Roczne, światowe zużycie syntetycznie otrzymywanego laktonu szacuje się na 100–1000 t [17].



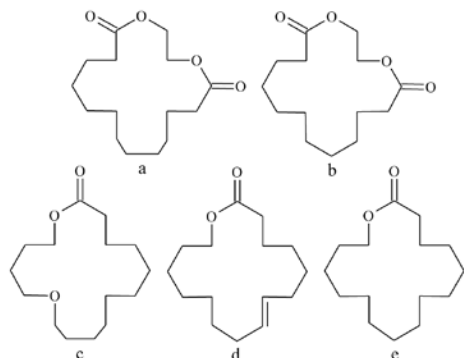
Rys. 10. Struktura ω-pentadekalaktonu

Związkiem chemicznym stosowanym w wielu produktach przemysłu kosmetycznego, ale także używanym w produkcji środków czystości i detergentów, jest ω-6-heksadekalakton. Jego roczne zużycie na świecie IFRA szacuje na 0,1–1 t [18].



Rys. 11. ω-6-heksadekalaktonu

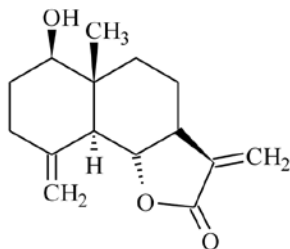
Innymi związkami powszechnie wykorzystywanymi w przemyśle perfumeryjnym są makrocykliczne laktony, takie jak: musk T, musk MC-4, cerwolid, ambretolid oraz egzaltolid (Rys. 12). Związki te znajdują się m.in. w perfumach, balsamach do ciała oraz innych handlowych produktach kosmetycznych. Na szczególną uwagę zasługuje egzaltolid, który jest syntetycznym związkiem o zapachu i właściwościach zbliżonych do piżma, co sprawia, iż jest on wykorzystywany jako zamiennik naturalnych substancji zapachowych, a także jako substancja utrwalająca perfumy [19].



Rys. 12. a) musk T, b) musk MC-4, c) cerwolid, d) ambretolid, e) egzaltolid

### Laktony o zadaniu specjalnym w środowisku naturalnym

Laktony, ze względu na właściwości sensoryczne i smakowe, znajdują zastosowanie w środowisku naturalnym jako substancje chroniące rośliny przed roślinożercami. Grupą tego typu związków chemicznych są laktony sekswiterpenoidowe, które spełniają swoją rolę dzięki gorzkiemu smakowi, wyczuwalnemu m.in. innymi w sałacie. Laktonem należącym do omawianej grupy jest renozyna [20].



Rys. 14. Renozyna

Jednym z najpopularniejszych związków z ugrupowaniem laktonowym jest kumaryna (Rys. 2) oraz jej pochodne, które poza charak-

terystycznym zapachem świeżego siana, charakteryzuje się szeroką aktywnością biologiczną. Kumarynę po raz pierwszy zidentyfikowano w 1820 r., a syntetyzowano w 1868 r. [21]. Na przestrzeni wielu lat wyizolowano kumarynę i jej pochodne z ponad 800 gatunków roślin i mikroorganizmów, oraz potwierdzono aktywność biologiczną. Do najważniejszych właściwości zaliczyć można właściwości przeciwnowotworowe, przeciwwirusowe, antyalergiczne, przeciwzapalne czy przeciwzakrzepowe [22]. Kumaryny wykorzystywane są także jako inhibitory wzrostu roślin, bakterii czy grzybów [23]. Kumaryna oraz jej pochodne znacząco przyczyniają się do inhibicji monoaminoooksydaz (MAO) oraz acetylocholinesteraz (AChE), co wpływa na złagodzenie objawów Alzheimer'a [24, 25]. Przeprowadzone badania wskazują także na możliwość hamowania rozwoju bakterii *Helicobacter pylori* odpowiedzialnej za chorobę wrzodową [26].

### Podsumowanie i wnioski

Związki o właściwościach zapachowych są szczególnie istotne w przemyśle spożywczym, kosmetycznym czy farmaceutycznym. Wiele substancji zawierających ugrupowanie laktonowe charakteryzuje się zapachem, przez co są powszechnie wykorzystywane do produkcji perfum, kosmetyków, czy produktów spożywczych. Trwają ciągle badania nad syntezą nowych laktonów o właściwościach zapachowych, ponieważ obecnie wykorzystywane metody często są kosztowne, albo mało wydajne. Z niniejszego przeglądu łatwo zauważyć, iż wiele związków z ugrupowaniem laktonowym posiada omawiane właściwości zapachowe, przez co są wykorzystywane w różnych gałęziach przemysłu.

### Spis literatury

- Gładkowski W.: *Zastosowanie biotransformacji w syntezie optycznie czynnych laktonów*. Wiad. Chem., 2009, **5–6**, 361–389.
- Libiszewska K.: *Laktony jako związki biologicznie czynne*. Biotechnology Food Science, 2011, **75,2**, 45–51.
- Mazur M.: *Naturalne i syntetyczne laktony o aktywności przeciwnowotworowej i przeciwdrobnoustrojowej*. Wiad. Chem., 2011, **65**, 135–149.
- Devon T.K., Scott A.J.: *Naturally Occuring Compounds*. Academic Press, New York and London, 1975, 517.
- Pask G.M., Romaine I.M., Zwiebel L.J.: *The molecular receptive range of lactone receptor in Anopheles gambiae*. Chem. Senses, 2013, **38,1**, 19.
- Krzaczkowska J., Białecka-Florjańczyk E., Stolarzewicz I.: *Biotechnologiczne metody otrzymywania substancji zapachowych*. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2009, **3,64**, 5–18.
- Mastalerz P.: *Elementarna chemia organiczna*. Wydawnictwo Chemiczne, 1998, 176.
- Morrison R.T., Boyd R.N.: *Chemia organiczna*. PWN, 2011, t. 1, 768.
- Pisani L., Superchi S., Elia A.D.: *Synthetic approach toward cis-disubstituted γ- and δ-lactones through enantioselective dialkylzinc addition: application to the synthesis of optically active flavors and fragrances*. Tetrahedron, 2012, **68**, 29, 5779–5784.
- Gamil I., Khatteb A.E.N., Shaaban M.: *Enhancing gamma-decalactone production by protoplast fusion of Yarrowialipolytica*. Biotechnology and Food Science, 2014, **78**, 1, 3–13.
- Okamoto K., Chimori M., Iwanaga F.: *Production of γ-lactones by the Brown-Rot Basidiomycete Piptoporusoloniensis*. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2002, **94**, 2, 182–185.
- Brenna E., Fuganti C., Serra S.: *Enantioselective perception of chiral odorants*. Tetrahedron: Asymmetry, 2003, **14**, 1–42.
- Gaudin J.M.: *Synthesis and Organoleptic Properties of p-Menthane Lactones*. Tetrahedron, 2000, **56**, 4769–4776.
- McGinty D., Letizia C.S., Api A.M.: *Fragrance material review on 16-hydrokso-7-hexadecenoic acid lactone*. Food and Chemical Toxicology, 2011, **49**, S149–S151.
- McGinty D., Letizia C.S., Api A.M.: *Fragrance material review on 11-oxaheksadecanolide*. Food and Chemical Toxicology, 2011, **49**, S163–S167.
- McGinty D., Letizia C.S., Api A.M.: *Fragrance material review on 12-oxaheksadecanolide*. Food and Chemical Toxicology, 2011, **49**, S168–S173.
- McGinty D., Letizia C.S., Api A.M.: *Fragrance material review on ω-pentadecalactone*. Food and Chemical Toxicology, 2011, **49**, S193–S201.

18. McGinty D., Letizia C.S., Api A.M.: *Fragrance material review on  $\omega$ -6-hexadecalactone*. Food and Chemical Toxicology, 2011, **49**, S207-S211.
19. Nakata H., Hinosaka M., Yanagimoto H.: *Macrocyclic- polycyclic-, and nitromuskincosmetics, household commodities and indoor dusts collected from Japan: Implications for their human exposure*. Ecotoxicology and Environmental Safety 2015, **111**, 248–255.
20. Zidorn C.: *Sesquiterpene lactones and their precursors as chemosystematic markers in the tribe Cichorieae of the Asteraceae*. Phytochemistry, 2008, **69**, 2270–2296.
21. Strzemiński M.: *Roślinne substancje aktywne*. Farmacja Krakowska, 2010, **2**, 24–29.
22. Mladenović M., Vuković N., Nićiforović N., Sukdolak S., Solujić S.: *Synthesis and Molecular Descriptor Characterization of Novel 4-Hydroxy-chromene-2-one Derivatives as Antimicrobial Agents*. Molecules, 2009, **14**, 1495–1512.
23. Udaya Sri N., Chaitanya K., Prasad M.V.S., Veeraiah V., Veeraiah A.: *FT-IR, FT-Raman and UV-Vis spectra and DFT calculations*. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2012, **97**, 728–736.
24. Huang M., Xie S.S., Jiang N., Lan J.S., Kong L.Y., Wang X.B.: *Multifunctional coumarin derivatives: Monoamine oxidase B (MAO-B) inhibition, anti- $\beta$ -amyloid (Ab) aggregation and metal chelation properties against Alzheimer's disease*. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2015, **25**, 508–513.
25. Fallarero A., Oinonen P., Gupta S., Bloma P., Galkine A., Mohand C.G., Vuorela P.M.: *Inhibition of acetylcholinesterase by coumarins: The case of coumarin 106*. Pharmacological Research, 2008, **58**, 215–221.
26. Jadhav S.G., Meshram R.J., Gond D.S., Gacche R.N.: *Inhibition of growth of Helicobacter pylori and its urease by coumarin derivatives: Molecular docking analysis*. Journal of pharmacy research, 2013, **7**, 705–711.

Dr hab. inż. Barbara GAWDZIK jest absolwentką Wydziału Chemii Politechniki Krakowskiej (1988). Doktorat i habilitacja na Wydziale Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej (1998, 2012). Pracuje w Instytucie Chemii Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach. Zainteresowania naukowe: synteza i modyfikacje strukturalne związków organicznych zawierających w swej strukturze układy heterocykliczne.  
e-mail: b.gawdzik@ujk.edu.pl, tel.: 413497016

Mgr Angelika KAMIZELA jest absolwentką Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach. Doktorantka w Zakładzie Chemii Organicznej UJK. Zainteresowania naukowe: synteza biologicznie aktywnych laktonów, krystalografia, synteza związków koordynacyjnych.  
e-mail: angelikakamizela@o2.pl, tel.: 889600667

Mgr Agnieszka SZYSZKOWSKA jest absolwentką Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach. Doktorantka w Zakładzie Chemii Organicznej Politechniki Rzeszowskiej. Zainteresowania naukowe: otrzymywanie pochodnych 1-fenyl-2-H,6H-imidazo[1,5-c]chinazolino-3,5-dionu, synteza termoodpornych polimerów  
e-mail: szyszkowska.a@wp.pl, tel.: 668072559

## Aktualności z firm

News from the Companies

Dokończenie ze strony 338

### Znamy laureatów FameLab Poland 2015!

W finałowym pojedynku, który odbył się w sobotę w Centrum Nauki Kopernik w Warszawie, zmierzyło się dziesięciu młodych popularyzatorów nauki. Każdy miał zaledwie trzy minuty na to, by w sposób ciekawy i niebanalny opowiedzieć o swoich badaniach naukowych. Decyzją jury, któremu przewodniczył profesor Marek Abramowicz, zdobywcą pierwszego miejsca został dr Szymon Drobniak z Uniwersytetu Jagiellońskiego. Zwycięzca IV edycji FameLabu przybliżył warszawskiej publiczności „logikę ptasich żon”, które na ojców swoich dzieci wybierają samców z jak najlepszymi genami. W nagrodę otrzymał 30 tys. PLN na badania naukowe oraz 5 tys. PLN na własne wydatki. Będzie też reprezentował Polskę w międzynarodowym finale konkursu w Cheltenham w Wielkiej Brytanii, który odbędzie się na początku czerwca br.

Drugie miejsce na podium zajęła doktorantka z Uniwersytetu Warszawskiego Aleksandra Klemba. W swoim wystąpieniu mówiła o roli wielbłądów, które przyczyniły się do odnalezienia nanoprzeciwciał, dzięki którym można m.in. skuteczniej walczyć z niektórymi rodzajami nowotworów. Pani Klemba otrzymała również nagrodę od firmy BASF Polska, która sfinansuje jej pobyt w swojej siedzibie w Niemczech, gdzie znajduje się największy na świecie zintegrowany produkcyjny kompleks chemiczny. Nagrody BASF otrzymali także: doktorantka Uniwersytetu Wrocławskiego Alicja Wolny oraz Jakub Bochiński – doktorant The Open University, Milton Keynes.

Laureatem trzeciego miejsca tegorocznej edycji FameLabu została dr Aleksandra Ziemińska-Buczyńska z Politechniki Śląskiej. W swoim wystąpieniu mówiła, w jaki sposób mikrobiolodzy identyfikują nowe rodzaje bakterii. Została również laureatką Nagrody Publiczności. (kk)

(<http://www.nauka.gov.pl>, 27.04.2015)

### Polscy naukowcy nagrodzeni za współpracę z Chinami

Naukowcy z gdańskiego Instytutu Maszyn Przepływowych PAN zostali laureatami Dragon-STAR Innovation Award, wyróżnienia przyznawanego za współpracę i wspólne osiągnięcia państw Unii Europejskiej i Chińskiej Republiki Ludowej. Wręczenie nagród, przyznawanych przez Komisję Europejską, było jednym z punktów odbywającego się w Brukseli Chińsko-Europejskiego Naukowego Forum Współpracy. W zespole z Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, pod kierownictwem prof. Wiesława Ostachowicza znalazło się troje młodych naukowców: mgr Maciej Radziński, dr Paweł Kudela i dr Magdalena Mieloszyk. Polscy naukowcy otrzymali wyróżnienie za projekt „Structural Health Monitoring of Intrastructural Facilities via 3D Laser Scanning Vibrometer”. (kk)

(<http://naukawpolsce.pap.pl/>, 7.05.2015)

### Ponad 366 mln PLN na realizację badań podstawowych od Narodowego Centrum Nauki

Ponad 366 mln PLN na realizację badań podstawowych otrzymała naukowcy od Narodowego Centrum Nauki, które ogłosiło wyniki konkursów Opus 8, Preludium 8 i Sonata 8. We wszystkich trzech konkursach finansowanie przyznano 861 projektom. Naukowcy prowadzący badania z zakresu nauk humanistycznych, społecznych i o sztuce otrzymają od Narodowego Centrum Nauki ponad 48,5 mln PLN, przedstawiciele nauk o życiu – prawie 157,5 mln PLN, zaś nauk ścisłych i technicznych – ponad 160 mln PLN. Najwięcej środków na badania otrzymają naukowcy, którzy złożyli wnioski w konkursie Opus 8 – aż 280 mln PLN. We wszystkich trzech grupach nauk (nauki humanistyczne, społeczne i o sztuce; nauki o życiu; nauki ścisłe i techniczne) do finansowania zakwalifikowano 444 projekty. (kk)

(<http://naukawpolsce.pap.pl/>, 12.05.2015)

Dokończenie na stronie 349