

# Chemické listy

# 4



Totální syntéza přírodních látek

Polyaspartáty a hydantoiny

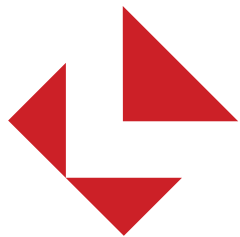
Zázračný řepkový pyl

České názvy prvků

Bulletin

Ročník 116

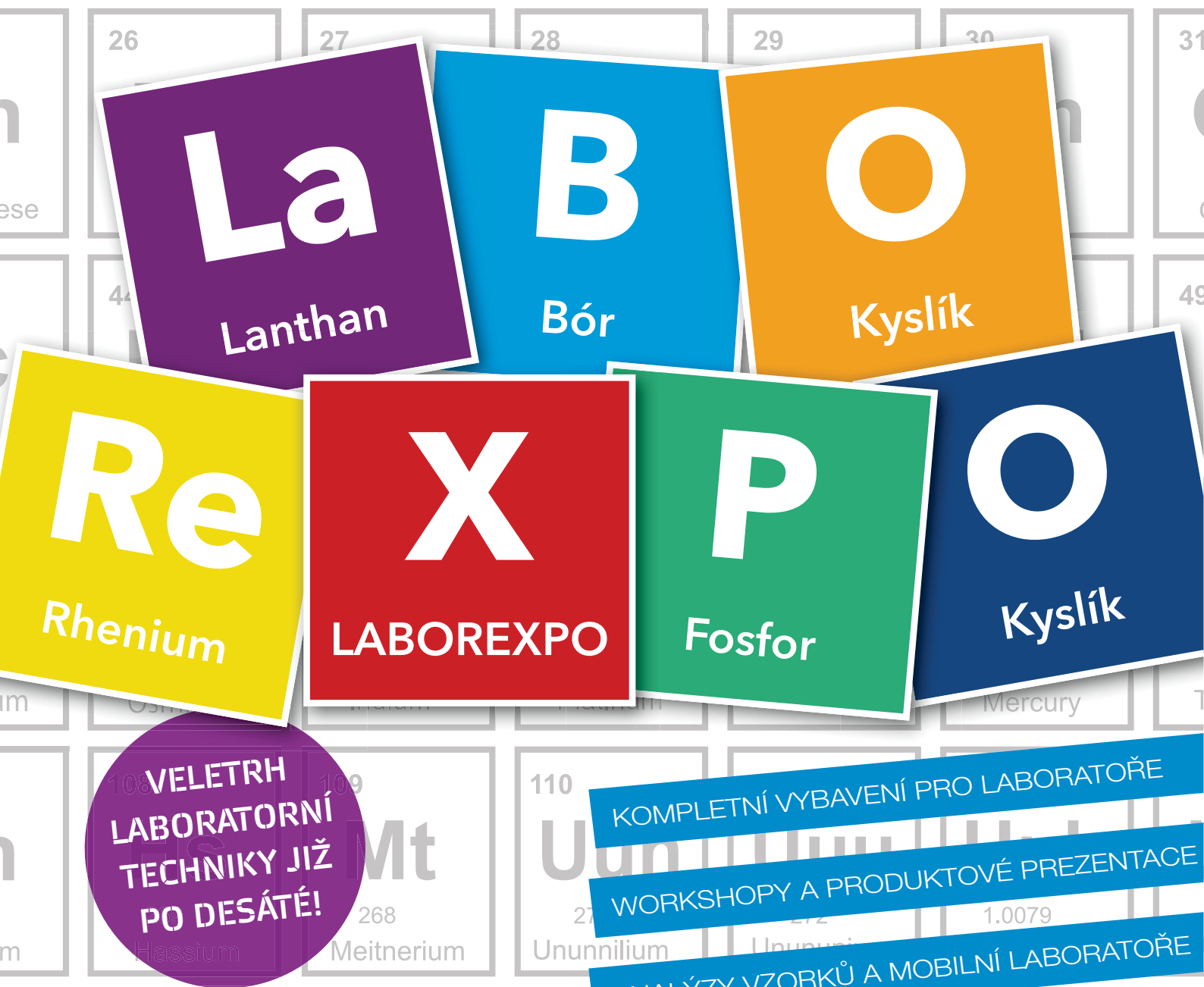
CHLSAC 116 (4) 201 - 284 (2022) ISSN 0009 - 2770 <http://www.chemicke-listy.cz>



# LABOREXPO

1.-2. 6. 2022

PVA EXPO PRAHA - LETŇANY



VELETRH  
LABORATORNÍ  
TECHNIKY JIŽ  
PO DESÁTÉ!

KOMPLETNÍ VYBAVENÍ PRO LABORATOŘE

WORKSHOPY A PRODUKTOVÉ PREZENTACE

ANALÝZY VZORKŮ A MOBILNÍ LABORATOŘE

MOŽNOST NAVŠTÍVIT VELETRH VĚDY

ORGANIZÁTOR  
**CHEMAGAZÍN**

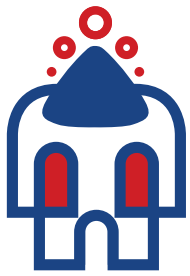
MÍSTO  
KONÁNÍ

**PVA**  
EXPO PRAHA



# Metrohm demonstrační laboratoř na Univerzitě Karlově





# WEC 2023

7<sup>TH</sup> WORLD ENGINEERS  
CONVENTION

PRAGUE, CZECH REPUBLIC

11 - 13 OCTOBER, 2023



THEME:

**ENGINEERING FOR  
LIFE - BREAKTHROUGH  
TECHNOLOGIES AND CAPACITY  
DEVELOPMENT FOCUSED ON UN SDGS:**

3 GOOD HEALTH  
AND WELL-BEING



4 QUALITY  
EDUCATION



5 GENDER  
EQUALITY



6 CLEAN WATER  
AND SANITATION



7 AFFORDABLE AND  
CLEAN ENERGY



9 INDUSTRY, INNOVATION  
AND INFRASTRUCTURE



11 SUSTAINABLE CITIES  
AND COMMUNITIES

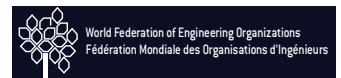


13 CLIMATE  
ACTION



## WEC 2023 KEY TOPICS

- » New Solutions for Energy
- » Smart Cities, Concept of Urbanization
- » Engineering Approach to Environment Protection
- » Engineering Education and Continuing Professional Development
- » Green Transport
- » Safe Digital World
- » Innovative Technologies in Industry
- » Engineering in Health Care
- » Food and Fresh Water Supply
- » Natural and Industrial Disaster Prevention
- » Climate Change Mitigation
- » From the Earth to the Universe
- » Young Engineers Forum
- » Women in Science and Engineering



Under the patronage of  
**UNESCO**



Under the patronage  
of the Czech Commission  
for UNESCO

**CO-HOSTED**

BY THE CZECH ASSOCIATION OF SCIENTIFIC  
AND TECHNICAL SOCIETIES ČSVTS  
AND THE WORLD FEDERATION OF ENGINEERING  
ORGANIZATIONS WFEO

[www.wec2023.com](http://www.wec2023.com)

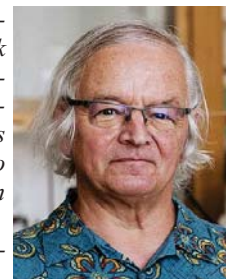
**WFEO 9 - 15 OCTOBER, 2023**

**Diktát hrubých ukazatelů snížil kvalitu výuky\***

Klasický výrok „vylít s vaničkou i dítě“ bude jistě platit na rozhodnutí vedení řady vědeckých a vysokoškolských institucí zamezit de facto svým zaměstnancům a studentům publikovat články v česky psaných odborných časopisech, byť jejich historie sahá i daleko do hloubky 19. století<sup>1</sup>. Takové rozhodnutí se na multidisciplinární vědecké radě snadno přijme kvalifikovanou většinou, protože odborných a vědeckých časopisů majících ve statutu publikování povinně v češtině, které přežily dodnes, by jeden na prstech dřevorubce spočítal, neboť většina takových časopisů sahá k možnosti, že deklaruje pro autory možnost publikovat v češtině, slovenštině či angličtině, ale většinu článků publikuje stejně v angličtině. Web of Scien-

ce (tab. I) eviduje 28 časopisů hlásících se k češtině a Scopus jich pak uvádí 84. Mezi nimi, z hlediska profese autora, hraje přední místo časopis *Chemické listy*, který letos vychází již jako 116. ročník<sup>2</sup>, a jako přímý následník *Listů chemických* dokonce 146. ročník.

Výše citované instituce, samozřejmě v dobré víře, někde nedoporučily, jinde zakázaly, posílání příspěvků a odborných či vědeckých prací do časopisů umístěných bibliometrickými ukazateli do tzv. třetího a čtvrtého kvartilu (v lepším přípa-



Tabulka I  
„České“ časopisy uváděné v uznávané databázi Web of Science

Časopis časopisy publikující v češtině podle WoS, vydávané v Česku	článků ročně	1. verze	2. verze	IF	vychází od r.
1 ACTA CHIRURGIAE ORTHOPAEDICAE ET TRAUMATOLOGIAE CECOSLOVACA	19	CZ SK EN		0,531	1933
2 AKTUALNI GYNEKOLOGIE A PORODNICTVI	2	CZ EN		n/a	2008
3 ANESTEZIOLOGIE A INTENZIVNI MEDICINA	42	CZ SK EN		n/a	1990
4 ARCHEOLOGICKE ROZHLEDY	21	multijazyčný		n/a	1949
5 CESKA A SLOVENSKA NEUROLOGIE A NEUROCHIRURGIE	24	CZ SK EN		0,350	1904
6 CESKA GYNEKOLOGIE CZECH GYNAECOLOGY	49	CZ SK EN		n/a	1935
7 CESKA LITERATURA	28	CZ		n/a	1953
8 CESKOSLOVENSKA PSYCHOLOGIE	17	CZ SK EN		0,471	1957
9 COR ET VASA	38	CZ SK EN		n/a	1958
10 DEMOGRAFIE	9	CZ SK EN		n/a	1958
11 EPIDEMIOLOGIE MIKROBIOLOGIE IMUNOLOGIE	15	CZ EN		0,444	1951
12 FILOSOFICKY CASOPIS	33	CZ SK		0,011	1953
13 GEOGRAFIE	7	CZ SK EN		0,744	1895
14 HISTORICKA SOCIOLOGIE	15	multijazyčný		n/a	2009
15 HUDEBNI VEDA	19	CZ SK EN		n/a	1964
16 CHEMICKE LISTY	78	CZ SK EN		0,381	1876
17 LISTY CUKROVARNICKE A REPARSKÉ	89	CZ		0,202	1882
18 LISTY FILOLOGICKE	9	multijazyčný		n/a	1874
19 MEZINARODNI VZTAHY CZECH JOURNAL OF INTERNATIONAL RELATIONS	6	CZ SK EN		n/a	1965
20 OBRANA A STRATEGIE DEFENCE STRATEGY	3	CZ		n/a	2001
21 POLITICKA EKONOMIE	16	CZ SK EN		0,319	1953
22 REPORTS OF FORESTRY RESEARCH ZPRAVY LESNICKEHO VYZKUMU	8	CZ		n/a	1955
23 REVUE CIRKEVNIHO PRAVA CHURCH LAW REVIEW	28	CZ EN		n/a	1995
24 SLAVIA CASOPIS PRO SLOVANSKOU FILOLOGII	3	multijazyčný		n/a	1921
25 SLOVO A SLOVESNOST	11	multijazyčný		0,200	1965
26 SOCIOLOGICKY CASOPIS CZECH SOCIOLOGICAL REVIEW	40	CZ	EN	0,588	1965
27 STUDIA THEOLOGICA CZECH REPUBLIC	22	CZ SK		n/a	1999
28 VOJENSKÉ ROZHLEDY CZECH MILITARY REVIEW	8	CZ SK EN		n/a	1992

\* Redakce časopisu *Chemické listy* souhlasí s přetištěním nezměněné verze článku dle potřeby.

dě za takové práce publikované v češtině autory netrestají). Nelze nevidět, že je k tomu vede vládou schválená Metodika 17+ (RVVI)<sup>3</sup> i ohled na státem rozdělované finance.

Povězme si, co kořen problému vlastně znamená. Pan Eugene Garfield, zakladatel Ústavu pro vědecké informace (ISI) ve Filadelfii, v roce 1975 stvořil nástroj „hodnocení“ vědeckých časopisů, který měl sloužit knihovníkům jako pomůcka k tomu, zda mají některý časopis do knihovny koupit či nikoli, takzvaný „Impact Factor“, dnes jej každoročně publikuje společnost Clarivate<sup>4</sup>, která v řetězu překupování firem nakonec ústav ISI „vlastní“. Hodnotících faktorů tohoto typu byla řada, např. podle toho, za kolik vyjde jedna strana nebo jedno písmeno otištěné v časopise apod.

Impaktní faktor (IF) je číslo, které ukazuje, kolikrát byla práce z daného časopisu citována v odborných časopisech během dvou let v poměru k celkovému počtu v tom časopise publikovaných prací. Asi nechtěl, ale stvořil „kladivo na čarodějnice“, kterého se chopili byrokrati ve vědě a podle kterého začali „kádrovat“ nejen časopisy, ale i autory v „impaktovaných“ časopisech publikující bez ohledu na to, že nástroj nikterak nebyl stvořen k hodnocení kvality těchto časopisů ani jejich autorů. Pokud se vám totiž poštěstí publikovat např. nereprodukovatelný pokus, může se stát, že budete mít tolik diskusních a odmítavých citací, že je ani v nuši neodnesete, jako se to povedlo v roce 1989 Martinu Fleischmannovi a Stanley Ponsovi s „objevem“ tzv. studené fúze spojené s emisí gama záření<sup>5</sup>.

Bibliometričtí byrokrati šli ještě dále, pomocí IF rozdělili časopisy na čtyři kategorie, čtyři kvartily a bylo „vymalováno“. Nic proti tomu, pokud vedení instituce doporučí svým zaměstnancům posílat články do těch nejlepších časopisů, ale problém začne být tam, kde pro základní výuku, zejména v disciplínách STEM<sup>6</sup> (v oborech přírodní vědy (Science), techniky (Technology) a technologie (Engineering) a matematiky (Mathematics)) chybí soudobý odborný materiál v mateřském jazyce. V obecné rovině úvaha platí i mimo STEM, protože i antičtí filozofové, než se utkali v rétorickém klání, stanovili dohodu, co jaký výraz ve skutečnosti znamená.

Časopis vycházející v češtině logicky nemá možnost dosáhnout takové citovanosti jako časopis v angličtině (což je dnes jazyk v odborné sféře nejběžnější), protože odborníků na zeměkouli schopných přechíst (natož citovat) český článek není mnoho, a časopis padá tak do propadlého čtvrtého kvartilu, pokud jej vůbec systém impaktního faktoru a kvartilů eviduje.

Zejména přední odborníci v oborech STEM by měli mít za povinnost kultivovat český odborný jazyk a úroveň obecně dostupných vědeckých a technických informací publikováním odborných statí v češtině. Pokud se tak nebude dít, zejména úroveň vzdělávání (nejm. v oborech STEM) na středních školách a na bakalářské úrovni ustrne a nebude se vyvíjet stejnou dynamikou jako samy dotčené obory. Kterýkoliv stát, který chce budovat svoje lepší přišť, si nemůže dovolit do budoucna zapříčinit snížení kvality výuky, protože pak by se mohl dočkat toho, že se obroví jeho hliněné nohy rozdrolí. A dlužno říci, že chemici se o kvalitu výuky starají již pradávno (srovnej např.<sup>7</sup>).

Vážné varování, kromě řady článků předních světových vědců v časopisech jako Nature apod., přinesla iniciativa „Declaration on Research Assessment (DORA)“ z roku 2012 (cit.<sup>8</sup>), která de facto odmítá používání hrubých bibliometrických ukazatelů k hodnocení vědy a jejich výsledků, protože jednak straní (ekonomicky) nejsilnějším hráčům a jednak tyto ukazatele jsou manipulovatelné vydavateli a redaktory časopisů. Navíc tyto údaje nesnesou srovnání napříč různými obory. Pro zajímavost uvedme, že se k iniciativě DORA připojila řada českých vědeckých institucí, včetně samotné AV ČR. Vážná etická varování z řady předních světových vědců jako např.<sup>9,10</sup> nejsou vyslyšena.

Navíc od doby, kdy se v EU a USA rozšířila idea, že odborné články vzniklé s podporou daňových poplatníků musí být pro tyto poplatníky bezplatně přístupné (Open Access)<sup>11</sup>, zatímco si je do té doby jejich instituce za nemalé peníze musely kupovat, vzniklo tisíce „odborných“ časopisů, které zpočátku za peníze od autorů (stovky až tisíce USD za jeden článek) otiskly cokoliv; čtenář ani knihovna pak již neplatili nic. Vznikly tzv. „predátorské“ časopisy, jejichž jediným zájmem jsou peníze; i když, abychom byli čestní, i pro „předpredátorské“ vydavatelské domy je zisk nikoli zanedbatelným faktorem. Aby situace nebyla tak jednoduchá, celá řada nakladatelství a časopisů, které byly původně na černé (predátorské) listině<sup>12</sup>, na tzv. „Beall's list of predatory open access journals“, věc pochopila a přepracovala svoje redakční postupy tak, že se jejich časopisy zařadily i do prvního kvartilu a pan Beall je musel ze seznamu vyřadit. Nakonec Beall svůj seznam uzavřel, mj. i pod tlakem právních kroků, ale i faktu, že predátorský charakter nějakého časopisu mohl být skutečně sporný. Za zmínku stojí, že americké vydavatelství John Wiley & Sons v lednu loňského roku zakoupilo firmu, původně z Beallova seznamu, Hindawi, za 298 milionů dolarů<sup>13</sup>. Leč vstali noví bojovníci a seznamů, které uvádějí „nečestné“ časopisy, je k dispozici několik, bojovníci uvádějí jako podezřelé atributy např. krátkou dobu potřebnou na publikování článku či rostoucí počet publikací v ročníku, ale i například to, že je falešné hodnocení časopisu podle „primitivního“ impaktního faktoru z dílny Web of Science. Je proto dvakrát sporné, že i dnes proti vědci, jehož úroveň a kvalitu prokádovaly nesčetné komise, je možno použít výrok, že publikuje v časopise, který by mohl být predátorský<sup>14</sup>. Na straně druhé je s podivem, že člověk, který publikuje v časopisech s nanejvýš pochybným charakterem, si hrdě osobuje atribut „vědec“.

Ale zpět k podpoře vzdělanosti, kultury a odborné úrovně na našich školách. Těm nepomůže pouhý fakt, že existují komise pro české odborné názvosloví. Kromě neutuchajícího zájmu profesionálů v oblasti didaktiky chemie<sup>15</sup> by pomohla masivní podpora publikování soudobých vědeckých poznatků v povinně český (nebo oboujazyčně česko-anglicky) vydávaných časopisech, které by byly šířeny jak na školách středních, tak vysokých. Pomohla by popularizace a podpora autorů a odborných společností, kteří se takového bezesporu obtížného úkolu zhostí. Užitečný by byl i tlak na provádění studentských konferencí v češtině, protože jak se (ne)umějí studenti český vyjadřo-

vat, je na pováženu. Pomohlo by i to, že vysoké školy budou požadovat po svých českých pracovnících, kteří žádají o udělení vědeckopedagogického titulu docent či profesor, aby předložili doklady o tom, jak přispěli ke kultivování výuky ve svém oboru v češtině. V oborech, kde český časopis zanikl nebo není, by mocní tohoto světa, například s odbornou pomocí ČSVTS, mohli vznik takového časopisu iniciovat, třeba prostřednictvím vhodného státního grantového podpůrného nástroje. Je totiž stále nutno mít na paměti, že systémy kvalitní vědy i kvalitního odborného vzdělávání jsou pyramidální a že bez dobrých a širokých základů bude jejich špička přinejmenším metastabilní. A jen na stabilní pyramidální struktuře můžeme budovat solidní špičkovou vědu a vypěstovat elitu, a to v libovolném světovém jazyce. Elita, která bude mít přehršle Q1 publikací ve skvělé angličtině, si pak může dovolit např. i popularizační článek špičkové vědy v češtině. Jak říkával pan profesor Zahradník, není nic snadnějšího než v neděli po obědě, při kávičce, napsat článek do Chemických listů. Oni anglicky mluvící „domorodci“ to mají jednodušší, ten popularizační článek, stejně jako vše ostatní, napíše prostě v mateřštině a citace se pohnou tak i tak.

Dnešní doba je složitá, mj. i ekonomicky, ale věrme, že zodpovědní činitelé tohoto státu pochopí naléhavost problému<sup>16</sup>, který popisují, a uloží např. Radě pro výzkum, vývoj a inovace, aby vypracovala nástroje (pokud to třeba neučiní sami), které budou úroveň odborné komunikace v národním jazyce řešit, přirozeně s náležitým důrazem na odbornou kvalitu, ale i, pokud se týče češtiny, v náležitě spolupráci např. s Ústavem pro jazyk český. A pokud jde o kvalitně přeložené české publikace do anglických verzí, dnešní překladatelské expertní programy jako například DeepL (který mj. používá časopis Chemické listy pro překlady povimých českých a slovenských verzí) jsou již ve stavu dobře použitelném<sup>17</sup>, což časopis konzultoval s Českoameričany.

Lze si proto přát a doporučit, aby za dobré publikace v češtině nebyli popotahováni či trestáni autoři, ba ani jejich mateřské instituce<sup>18</sup>.

Netroufám si být jako Karel Havlíček (Borovský), ale dovolte mi parafrázi: „České vzdělanosti hubitelé líti – byrokrati, kvartily a impaktiti!“.

Pavel Drašar (Kostecký)

autor je profesorem na VŠCHT Praha a vědeckým tajemníkem Českého svazu vědeckotechnických společností

## LITERATURA

1. Drašar P.: Chem. Listy 115, 506 (2021).
  2. Vyskočil V.: Chem. Listy 115, 497 (2021).
  3. Vetchý D.: Chem. Listy 115, 337 (2021).
  4. Garfield E.: Current Contents print editions June 20, 1994; <https://clarivate.com/webofsciencegroup/essays/impact-factor/>, staženo 5. 1. 2021.
  5. Fleischmann M., Pons S., Hawkins M., Hoffman R. J.: Nature 339, 667 (1989).
  6. <http://www.nuv.cz/p-kap/koncept-stem>, staženo 5. 1. 2022.
  7. Nesměrák K., Chalupa P.: Chem. Listy 115, 195 (2021).
  8. <https://sfdora.org/>, staženo 5. 1. 2022.
  9. Reedijk J.: Angew. Chem. Int. Ed. 51, 828 (2012).
  10. Ernst R. R.: EPR Newsletter 20, 10 (2010).
  11. <https://openaccess.cz/>, staženo 5. 1. 2022.
  12. <https://beallslist.net/>, staženo 5. 1. 2022.
  13. <https://scholarlykitchen.sspnet.org/2021/01/11/wiley-acquires-hindawi-interview/>, staženo 6. 1. 2021.
  14. Komm M.: Deník Referendum 27. 10. 2021; <https://denikreferendum.cz/clanek/33283-co-o-ceske-akademie-obecni-rika-jeji-lhostejnost-k-pochybnym-publikacim-rektoru>, staženo 5. 1. 2022.
  15. Vojíš K., Rusek M.: Chem. Listy 114, 366 (2020).
  16. Chuchvalec P.: Chem. Listy 114, 425 (2020).
  17. Kratochvíl B., Bělohav Z.: Chem. Listy 115, 338 (2021).
  18. Drašar P.: Chem. Listy 114, 569 (2020).
- Drašar P.: Chem. Listy 116, 201–203 (2022).
  - <https://doi.org/10.54779/chl20220201>

# TOTÁLNÍ SYNTÉZA PŘÍRODNÍCH LÁTEK: PŘÍPADOVÉ STUDIE PRO ZHODNOCENÍ NOVÝCH SYNTETICKÝCH METOD, OBJASNĚNÍ STRUKTURNÍCH ASPEKTŮ A VÝVOJ LÉČIV

LUKÁŠ RÝČEK\*

*Katedra organické chemie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Hlavova 9, 128 40 Praha 2  
rycekl@natur.cuni.cz*

Došlo 9.8.21, přijato 7.12.21.

**Klíčová slova:** přírodní produkty a deriváty, totální syntéza, biologická aktivita

• <https://doi.org/10.54779/chl20220204>

## Obsah

1. Úvod – totální syntéza
2. Totální syntéza a vývoj nových syntetických metod – (–)-tetrodotoxin, hydromorfon a selaginpulviliny C a D
3. Totální syntéza a potvrzení strukturních aspektů přírodních látek – notoincisol A a selagibenzofenony 1.A a B
4. Totální syntéza a vývoj biologicky aktivních látek
5. Závěry

## 1. Úvod

Totální syntéza je disciplína, která v organické chemii zaujímá speciální místo. Zajisté se dá považovat za pomyslné zrcadlo, reflektující pokrok v organické chemii. Bylo toho o ní napsáno již mnoho, lidmi daleko pověřenějšími<sup>1,2</sup>. Není však lehké se při této příležitosti nepoohlédnout zpět a nepoukázat alespoň na pár milníků, které se nesmazatelně zapsaly do historie tohoto oboru. Za úplně první krůček by se dala považovat Wöhlerova syntéza močoviny, jež znamenala zlom nejen v organické chemii, ale v celé vědě, a potažmo změnila i náš pohled na život jako takový<sup>3</sup>. Velkým milníkem je Robinsonova syntéza tropinonu<sup>4</sup>, která na míle předběhla svou dobu. Ač ne první, je Robinsonova syntéza lekcí z efektivity, a atributy, jimiž disponuje (one step, one-pot, multicomponent anebo biomimetic), lze bez větších obtíží najít v titulcích odborných publikací dodnes. A to se psal rok 1917. Dalšími milníky jsou například Woodwardovy syntézy strychninu<sup>5</sup>, kontroverzní syntéza chininu<sup>6</sup> z roku 1944, jež v odborné komunitě vzbudila vášnivou diskusi o tom, zda byla, či nebyla provedena (odpověď definitivně poskytl Robert

Williams – Woodwardův student – až na začátku 21. století)<sup>7</sup> a v neposlední řadě první a doposud jediná dokončená syntéza vitamínu B (cit.<sup>8</sup>). Fascinujícím zůstává fakt, že všechny tyto syntézy byly provedeny předtím, než byly chemikům běžně k dispozici analytické a separační techniky, bez kterých si dnes práci v organické laboratoři jen těžko dokážeme představit – nukleární magnetická rezonance (NMR) a chromatografie. Právě nedostatek analytických metod byl proto v první polovině 20. století jednou z hlavních motivací syntézy přírodních látek, jež sloužila jako přesvědčivý prostředek pro potvrzení jejich struktury. V této souvislosti stojí za připomenutí například Gatesova syntéza morfinu, která byla završením 120 let trvajících snahy o rozluštění struktury tohoto alkaloidu<sup>9</sup>.

Druhá polovina dvacátého století znamenala posun jak v komplexitě cílených molekul, tak i ve významu totální syntézy. Revoluční objev nukleární magnetické rezonance umožnil relativně snadnou strukturní analýzu a totální syntéza už proto primárně nesloužila k účelům spjatým s řešením strukturních otázek. Její nová role však pravděpodobně znamenala ještě větší výzvu než role předchozí. Ruku v ruce s vývojem nových chemických metod, kladla si za cíl prozkoumat limity toho, čeho jsme schopni v laboratoři dosáhnout. Tohle vzrušující období je spjata především se jmény E. J. Coreyho, jenž do totální syntézy vnesl řád jménem retrosyntetická analýza<sup>10</sup> a K. C. Nicolaou, který svými syntézami molekul jako



*Dr. Lukáš Rýček, M.Sc. absolvoval bakalářské studium na Masarykově Univerzitě v Brně a posléze magisterské studium na Vrije Universiteit v holandském Amsterdamu. V roce 2015 získal doktorský titul na Technické Univerzitě ve Vídni a mezi lety 2015 až 2017 působil jako postdoktorandský pracovník na Brockově Univerzitě v Kanadě, pod vedením profesora Tomáše Hudlického. Po návratu do vlasti působil jeden rok jako vývojový chemik ve společnosti Zentiva, k.s. a poté jako postdoktorandský pracovník ve skupině profesora Martina Kotory na Katedře organické chemie, PřF, UK v Praze. Zde od roku 2020 vede výzkumnou skupinu organometalické a syntetické chemie. Hlavními oblastmi jeho zájmu jsou vývoj nových katalyzátorů a chemie přírodních látek.*

\* Autor je laureátem Ceny Alfreda Badera za organickou chemii pro rok 2020.



brevetoxin<sup>11</sup>, taxol<sup>12</sup> nebo vancomycin<sup>13</sup> syntetické kruhy přesvědčil o tom, že nic není nemožné, tedy alespoň co se totální syntézy týče.

Jaký účel má totální syntéza dnes, na začátku 21. století? Je stále disciplínou, která si zaslouží naši pozornost nebo jde o přežitek, který v dnešní době nemá valnou hodnotu? Tento referát si klade za cíl přesvědčit čtenáře o tom, že první z možností je správná a totální syntéza stále zaujímá v organické chemii privilegované místo. Ač schopni připravit téměř jakoukoli molekulu, v mnoha případech vynaložené úsilí a prostředky převyšují mez snesitelnosti. Hnacím motorem pro nás proto není syntetizovat cokoli, za jakoukoli cenu, ale faktory jako kreativita a zejména efektivita se stávají klíčovými. Neexistuje snad efektivnější způsob demonstrace užitečnosti nové syntetické metody než její aplikace v totální syntéze přírodního produktu. Naopak, během totální syntézy jsou často chemici nuceni vyvíjet nové transformace, využitelné při syntéze určitého strukturálního motivu přírodní látky a totální syntéza tedy slouží jako nástroj či inspirace pro vývoj nových metodologií. Nutno podotknout, že i v době pokročilé NMR analýzy nejsou případy chybného rozluštění struktury izolovaných přírodních látek výjimkou<sup>14</sup>. I když se v drtivé většině jedná o pochybení v určování stereochemických aspektů molekuly, není to pravidlem. A zde je totální syntéza stále nepostradatelná. V neposlední řadě dnes hraje syntéza přírodních látek významnou roli v rámci přípravy léčiv. Důležitost tohoto aspektu je prokázána skutečností, že necelých 10 % veškerých FDA schválených léků tvoří přírodní produkty, ale pokud bychom uvažovali látky z přírodních produktů odvozené, dostaneme se až k jedné třetině<sup>15</sup>. Zejména v případě látek odvozených od přírodních zůstává syntéza často jediným prostředkem, jak tyto látky získat.

Následující referát pojednává o výše zmíněných aspektech v kontextu naší práce. V úvodní části je nastíněna strategie při syntéze přírodních látek (–)-tetrodotoxinu (TTX, **1**), morfinanů hydromorfonu (**2**) a *ent*-hydromorfonu (*ent*-**2**) a přírodních selaginpulvilinů C (**3**) a D (**4**), kde je využito moderních chemických metodologií k dosažení efektivních syntéz těchto molekul. V druhé části referátu je diskutována syntéza látek notoincisolu A (**5**) a potvrzení absolutní konfigurace přírodního produktu a dále syntézy selagibenzofenonu A (**7**) a B (**8**), jež odhalily, že struktura jedné z nich byla v literatuře popsána chybně. Poslední část referátu pojednává o syntéze derivátů přírodních látek magnololu (**8**) a honokiolu (**9**) a profilaci jejich biologické aktivity (Schéma 1).

## 2. Totální syntéza a vývoj nových syntetických metod – (–)-tetrodotoxin, hydromorfon a selaginpulvilin C a D

Enzymatická *cis*-dihydroxylace aromatických látek je užitečná transformace, při které dochází k tvorbě opticky aktivních produktů z achirálních aromatických prekurzorů, za využití geneticky modifikovaných bakterií. Výhodami této reakce je vysoká enantioselektivita, relativně vysoká tolerance funkčních skupin a tvorba produktů s množstvím dále modifikovatelných funkčních skupin, jež činí tyto látky atraktivními výchozími substráty, které byly využity pro totální syntézu mnoha přírodních produktů a jejich potenciál se stále nezdá být vyčerpán<sup>16</sup>. Námi cílené látky byly (–)-TTX (**1**) a hydromorfon (**2**). V případě hydromorfonu bylo naším cílem prokázat, že využití enzymatické dihydroxylace a vhodně zvoleného sledu stereospecific-

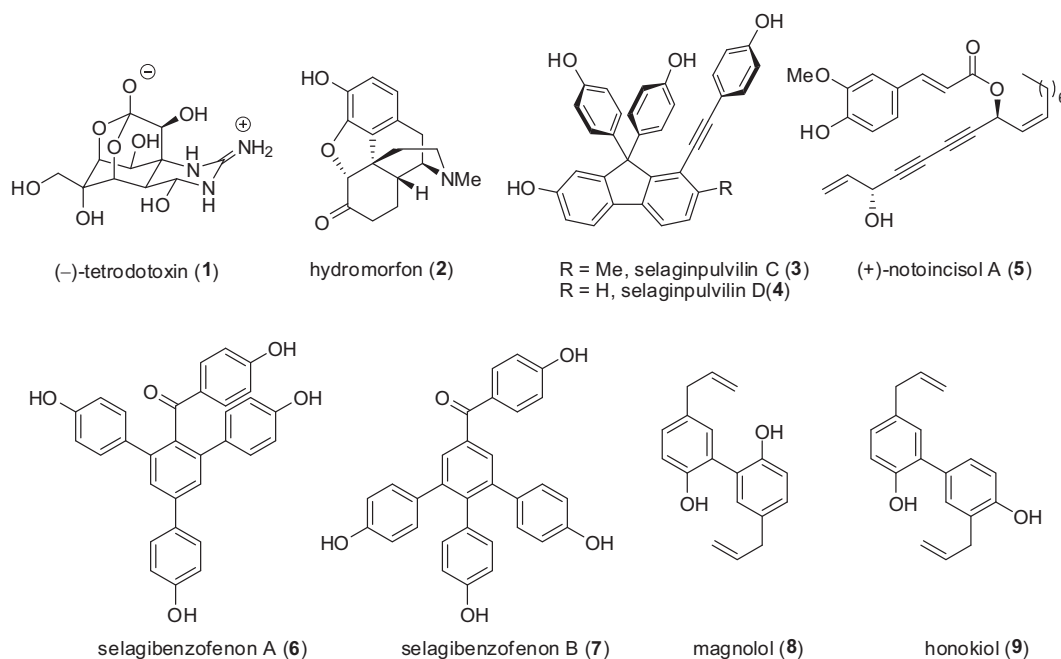


Schéma 1. Přírodní produkty diskutované v tomto referátu

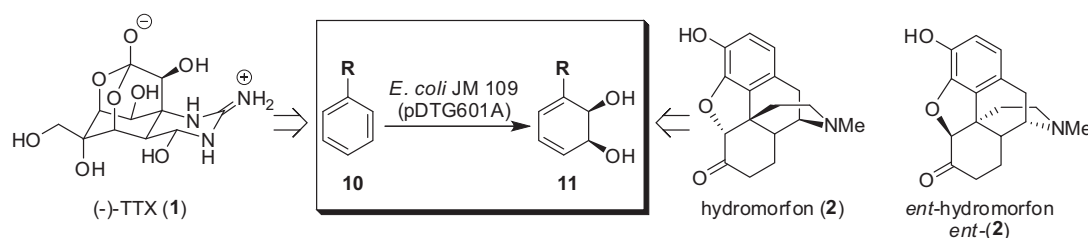


Schéma 2. Enzymatická dihydroxylace aromatických látek jako klíčový krok v syntéze tetrodotoxinu, hydromorfonu a *ent*-hydromorfonu

kých operací je strategie využitelná při syntéze obou enantiomerů tohoto analgetika (Schéma 2).

Tetrodotoxin (TTX, **1**) je fascinující mořský toxin s bohatou historií, produkovaný symbiotickými bakteriemi v útrokách některých ryb z čeledi čtverzubcovitých<sup>17</sup>. Pokrm zvaný fugu, připravovaný z těchto ryb, je v Japonsku vyhledávanou delikátností, při jejíž konzumaci je gastronomický zážitek umocněn zážitkem adrenalinovým. Špatná příprava ryby může vést až ke smrti konzumenta, který je tedy zcela odevzdán kuchařskému umu šéfkuchaře. Potenciální otrava je způsobena právě TTX, jež blokuje sodíkové kanály nervových buněk, čímž zabraňuje šíření nervového vzruchu. Následně dochází k fatálnímu selhání některých důležitých životních funkcí, zejména správnému fungování svalů či dýchání a smrti intoxikované osoby v důsledku zadušení.

Specifickým znakem struktury TTX je přítomnost oxadantylové a guanidinové jednotky, které ovšem ze syntetického hlediska nepředstavují takový problém, jakým je konstrukce centrálního šestičlenného uhlíkatého kruhu, obsahujícího stereogenní centrum na každém z atomů uhlíku s relativní stereochemií všech objemných substituentů *cis* (Schéma 3).

Chemie TTX představovala vždy mnoho výzev a první z nich byla rozluštění jeho komplikované struktury. Tohoto úkolu se zmocnilo hned několik chemiků, mezi nimi i samotný R. B. Woodward, a jejich úsilí vyústilo v úspěšné rozluštění struktury v roce 1964. Další výzvou byla totální syntéza. Prvnímu, komu se tento nelehký úkol podařilo zdolat byl Y. Kishi v roce 1972 (cit.<sup>18</sup>). Klíčovými kroky byla Dielsova-Alderova cykloadice a Beckmannův přesmyk, pomocí nichž došlo k sestavení centrálního kruhu a instalaci aminů do polohy C8a v rané fázi syntézy. Následná série regio- a stereospecifických operací, zahrnujících např. epoxidace či stereo/regioselektivní substituční reakce) vedla k tvorbě racemického ( $\pm$ )-TTX v 32 krocích, čímž Kishi nasadil laťku poměrně vysoko. Následující tři dekády byly svědky řady nedokončených syntetických pokusů a teprve v roce 2003 popsal Isobe první syntézu opticky aktivního (-)-TTX, vycházející z cukernatého chironu, která však čítala celých 72 kroků<sup>19</sup>. Klíčovým krokem k sestavení vysoce substituovaného cyklohexanového kruhu byla intramolekulární Mukaiyama aldolová reakce. Ve stejném roce popsal o poznání kratší syntézu opticky čistého toxinu, čítající 33 kroků, také DuBois<sup>20</sup>.

Dvě strategicky důležité operace, tedy sestavení centrálního kruhu a zavedení aminového dusíku, byly provedeny pomocí rhodium katalyzované inserce karbenu či nitrenu. O rok později, v roce 2004 byla popsána další, syntéza (-)-TTX pocházející opět z Isobeho laboratoře<sup>21</sup>. Opticky aktivní tetrodotoxin byl připraven v 39 krocích a zdlouhává příprava centrálního kruhu z první syntézy byla zkrácena s využitím Dielsovy-Alderovy reakce. V kontextu tohoto referátu zaujímají důležité místo syntézy popsané Satem v letech 2005 (33 kroků, ( $\pm$ )-TTX)<sup>22</sup> a 2008 (34 kroků, (-)-TTX)<sup>23</sup>. První z nich vycházela z *myo*-inositolu, jež představoval centrální kruh produktu, jehož postupnou homologizací C<sub>1</sub> stavebními jednotkami byl sestaven uhlíkatý skelet alkaloidu. Druhá vycházela z *D*-glukosy, která byla v několika krocích převedena na vysoce substituovaný centrální cyklohexanový kruh, využívající Henryho reakce, jakožto klíčové přeměny. V roce 2017 popsal Fukuyama syntézu TTX (31 kroků, (-)-TTX), která vycházela z benzochinonu, jež představoval centrální kruh, který byl postupně dekorován, pomocí rozličných stereospecifických operací, jako například dihydroxylace, Ichikawův přesmyk nebo [3+2]-dipolární cykloadice<sup>24</sup>. V neposlední řadě je nutno zmínit poslední Fukuyamovu a Yokoshimovu syntézu z roku 2020, kdy byl opticky čistý (-)-TTX připraven v 22 krocích, začínaje ovšem z pokročilého výchozího materiálu<sup>25</sup>. Strategie spoléhala na stereospecifickou Dielsovu-Alderovu reakci pro vytvoření centrálního kruhu a Curitiův přesmyk pro zavedení aminu do polohy C8a. Pro úplnost je nezbytné uvést Ciufoliniho formální syntézu ( $\pm$ )-TTX (30 kroků)<sup>26</sup> a také Alonsovu formální syntézu ( $\pm$ )-TTX, čítající celkových 26 kroků<sup>27</sup>. Detailnější popis výše zmíněných syntéz je nad rámec tohoto referátu a v případě zájmu je čtenář odkázán na review, jež se detailně zabývá historií, rozluštěním struktury, biologií a chemií této fascinující přírodní látky a jejich derivátů<sup>17</sup>.

Naší strategií bylo využití *cis* dihydroxylace při syntéze pokročilých intermediátů předchozích syntéz, a to konkrétně Fukuyamova intermediátu **12** a Satova intermediátu **13**. Hlavní motivací bylo zkrácení syntézy těchto intermediátů, a tak i zkrácení celkové syntézy TTX (Schéma 3)<sup>28</sup>.

Syntéza obou látek spočívala v přípravě společného intermediátu, enonu **17**, jež byl připraven za využití enzymatické dihydroxylace a posléze převeden na cílené produkty (Schéma 4). Syntéza započala dihydroxylací benzyl-

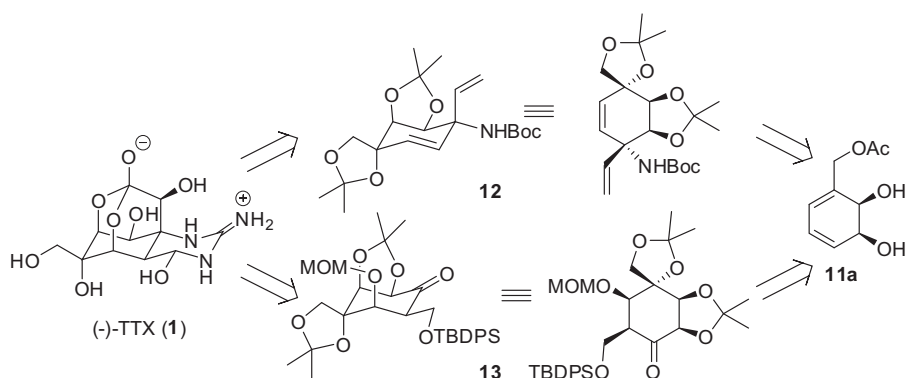
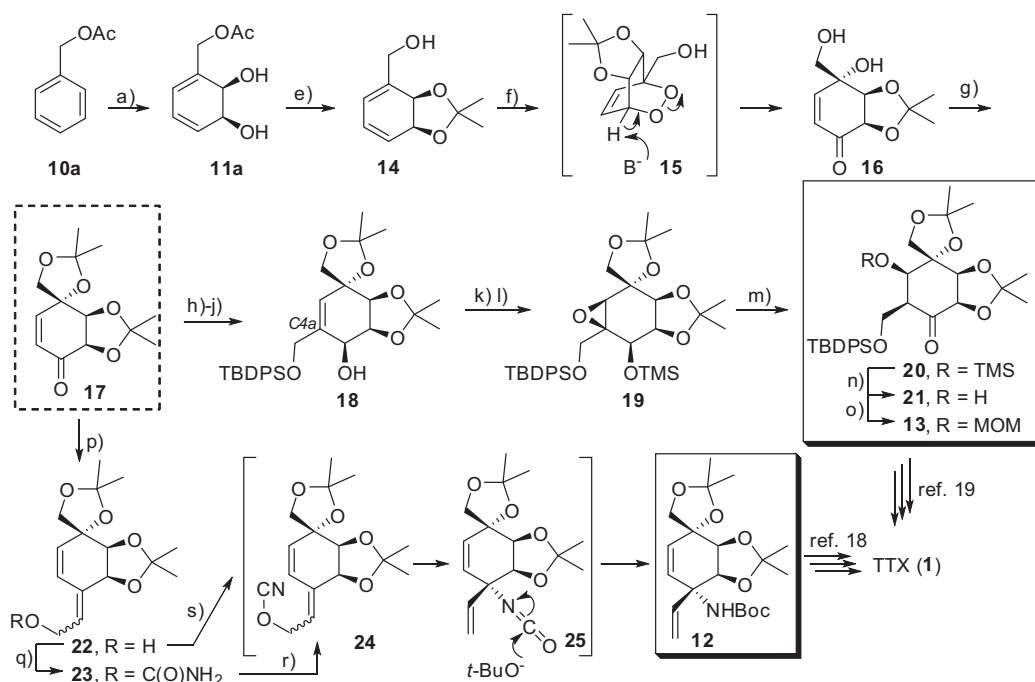


Schéma 3. Strategie při formální syntéze tetrodotoxinu (5)

acetátu (10a). Vzniklý diol 11a byl poté v jedné operaci ochráněn jako acetal a zároveň byla hydrolyzována acetátová skupina za vzniku alkoholu 14. Elegantní sekvencí [4+2] cykloadice singletového kyslíku s dienem 14, za vzniku endoperoxidu 15 a následným *in situ* báží iniciovaným Korbiumovým-DeLaMareovým přesmykem byl alko-

hol 14 převeden na diol 16. Ochráněním diolu jako acetalu byl získán klíčový enon 17.

V rámci syntézy Satova intermediátu 13 byl keton 17 nejprve převeden na alkohol 18. Hydroxymethylová skupina na uhlíku C4a (TTX číslování) byla zavedena pomocí sekvence bromace/Stilleho reakce. Redukce keto skupiny poté vedla ke vzniku alkoholu 18, jenž byl dále převeden



a) *E. coli* JM 109 (pDTG<sub>601A</sub>), 10–15 g.L<sup>-1</sup>; b) *p*-TsOH·H<sub>2</sub>O, 2,2-DMP, 25 °C; poté K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, MeOH, 25 °C; f) O<sub>2</sub>, TPP, hv, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>; Et<sub>3</sub>N, 25 °C, 68 % (2 kroky z 52); g) *p*-TsOH·H<sub>2</sub>O, 2,2-DMP, 25 °C, 80 %; h) Br<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 0 °C; Et<sub>3</sub>N, 0 °C, 68 %; i) Pd(OAc)<sub>2</sub>, Bu<sub>3</sub>SnCH<sub>2</sub>OTBDPS, 1,4-dioxan, 90 °C, 64 %; j) DIBAL, toluen, -78 až 0 °C, 94 %; k) *m*-CPBA, CHCl<sub>3</sub>, reflux; l) TMSCl, imidazol, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 60 % (2 kroky); m) TiCl<sub>4</sub>, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, -78 °C, 52 % (21:20 = 4:1); n) BF<sub>3</sub>·Et<sub>2</sub>O, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 0 °C, 93 %; o) CH<sub>2</sub>(OMe)<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 25 °C, 79 %; p) BuLi, Ph<sub>3</sub>P<sup>+</sup>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH Br<sup>-</sup>, THF, -30 °C až 25 °C, 64 % (*E/Z*=8:1); q) Cl<sub>3</sub>CC(O)NCO, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 25 °C; Et<sub>3</sub>N, MeOH, 25 °C, 96 %; r) TFAA, i-Pr<sub>2</sub>NEt, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, -78 °C až 25 °C; LiOt-Bu, -78 to 0 °C, 56 %; s) BrCN, DMAP, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 0 °C až 25 °C, 39 %

Schéma 4. Příprava pokročilých intermediátů pro formální syntézu tetrodotoxinu (5)

na epoxid **19**. Působení Lewisovy kyseliny na tento epoxid vedlo k migraci hydridu (a TMS skupiny), otevření epoxidu a vzniku ketonu **20**. Přítomnost TMS skupiny byla nutná ke zvýšení sterického efektu a TMS ochráněný alkohol v molekule **19** poté zaujal ryze ekvatoriální uspořádání nutné pro efektivní orbitalový překryv a úspěšnou migraci hydridu. V případě volné hydroxylové skupiny migrace hydridu neproběhla. Následná manipulace chránících skupin vedla ke vzniku Satova intermediátu **13**. Za účelem syntézy Fukuyamova aminu **12** byl keton podroben Wittigově olefinaci za vzniku směsi *E/Z* isomerů alkoholu **22**, jenž byl převeden na karbamát **23**. Dehydratace karbamátu vedla ke vzniku dvou stereoisomerů kyanátu **24**, které oba spontánně podléhaly diastereoselektivní Ichikawově 1,3-transpozici na isokyanát **25**. *In situ* nukleofilní atak *t*-butoxylátém vedl ke vzniku Fukuyamova intermediátu **12**.

Alternativně, dvoustupňový protokol pro přípravu allylového aminu **12** může být nahrazen jednostupňovým. Alkohol **22** podléhá reakci s *in situ* připraveným kyanaminopyridinem **26** (Schéma 5) za tvorby kyanátu **28**, jenž podléhá 1,3-transpozici a posléze je napaden nukleofilem. Tato reakce se ukázala jako obecná pro řadu allylických alkoholů (Schéma 5)<sup>29</sup>. Bylo syntetizováno 9 produktů ve výtěžcích v rozmezí mezi 35–74 %.

V porovnání s originálními syntézami těchto pokročilých intermediátů se naše strategie založená na enzymatické dihydroxylaci jeví jako výhodná. Příprava Satova intermediátu **13** byla zkrácena z původních 21 na 11 kroků, vycházejí z iodobenzenu a Fukuyamův intermediát **12** byl získán v celkových 6 krocích oproti původním 13. Celková délka syntézy (–)–TTX by tedy činila 21 kroků cestou Fukuyamova intermediátu a 25 kroků cestou Satova intermediátu a došlo tedy k významnému zkrácení syntézy této přírodní látky a kombinace naší a Fukuyamovy strategie reprezentuje doposud nejkratší syntézu této přírodní látky.

Morfin patří k nejstarším známým lékům, a přesto do dnešního dne zůstává v zájmu vědců z mnoha oborů, syntetickou chemii nevyjímaje. Jak již bylo zmíněno v úvodu, první syntéza morfinu popsána Gatesem v roce 1952 zůstává jedním z milníků organické chemie<sup>9</sup>. Od této klíčové syntézy bylo vyvinuto přes tři desítky syntéz k různým přírodním či nepřírodním morfinanům, mezi nimiž vynívá například Riceho syntéza dihydrokodeinonu, které bylo dosaženo ve 14 krocích<sup>30</sup>. Rozebírat detailně všechny syntézy je nad rámec tohoto článku, nicméně by bylo záhodno

zmínit alespoň některé důležité syntézy, relevantní k naší práci, jež byla založena na enzymatické dihydroxylaci. Využitím této reakce byly v minulosti získány morfinany *ent*-kodein (15 kroků)<sup>31,32</sup>, kodein (18 kroků)<sup>33</sup>, hydrokodon (21 kroků)<sup>34</sup> a v neposlední řadě byla vyvinuta první generace syntézy syntézy *ent*-hydromorfonu, provedená v 12 krocích<sup>35</sup>, jež pro nás byla odrazecím bodem k vývoji druhé generace syntézy *ent*-hydromorfonu (*ent*-**2**, Schéma 6), kde klíčovým krokem přípravy tetracyklického skeletu *ent*-**39** je oxidativní dearomatizace/[4+2] cykloadice fenolu *ent*-**37**, objasnění stereochemického průběhu klíčového kroku a rozšíření syntézy na enantiomer s přírodní konfigurací<sup>36</sup>.

Syntéza vycházela z diolu **11b**, jenž byl známou sekvencí reakčních kroků převeden na amin **31** (cit.<sup>35</sup>), který byl posledním společným intermediátem divergentní syntézy obou stereoisomerů (Schéma 6). V případě syntézy nepřirodního *ent*-hydromorfonu (*ent*-**2**) byla C3 hydroxylová skupina ochráněna a allylická hydroxylová skupina v poloze C2 podrobena Mitsunobuově reakci za využití fenolu **34a** s inverzí stereochemie, za tvorby etheru *ent*-**35**. Ten byl dále ve dvou krocích převeden na klíčový fenol *ent*-**37**.

Alternativně, hydroxylová skupina v poloze C2 v látce **31** může být podrobena Mitsunobuově reakci s *p*-nitrobenzovou kyselinou a C3 hydroxyl převeden na tosylát **32**. Hydrolyza esteru poté vede ke vzniku epoxidu **33**, jenž je regioselektivně otevřen fenolátem **34b** za vzniku etheru **35**, jenž je enantiomerem etheru *ent*-**35**. Enzymatickou dihydroxylací a vhodně zvoleným sledem stereospecifických operací je tedy možné získat klíčové mezi produkty syntézy obou enantiomerů hydromorfonu.

Pro další účely byl využit ether *ent*-**37**, který byl podroben oxidativní dearomatizací za vzniku ketalu *ent*-**38**, který podléhal intramolekulární *exo* [4+2]-cykloadici poskytující tetracyklický intermediát *ent*-**39**, jenž byl převeden na známý intermediát syntézy *ent*-**(4)**, čímž byla dokončena formální syntéza této látky.

V rámci naší účasti v programu, zahrnujícím enzymatickou *cis* hydroxylaci, se nám podařilo využít tuto efektivní transformaci v syntéze obou enantiomerů hydromorfonu a také v dosud nejkratší syntéze mořského toxinu (–)-tetrodotoxinu, čítající pouhých 21 kroků.

Selaginpulviliny C (**3**) a D (**4**) jsou přírodní látky s neobvyklým fluorenovým skeletem z rostliny *Selaginella pulvinata*<sup>37</sup>.

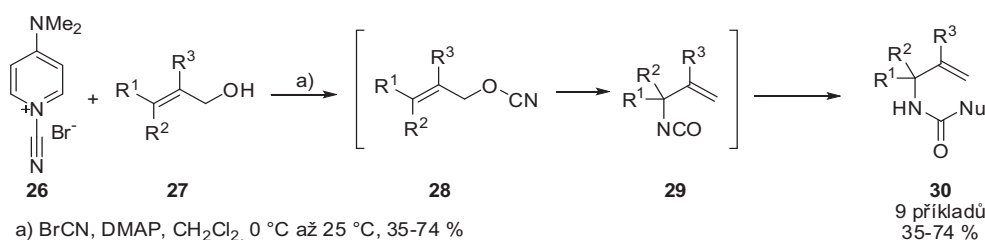
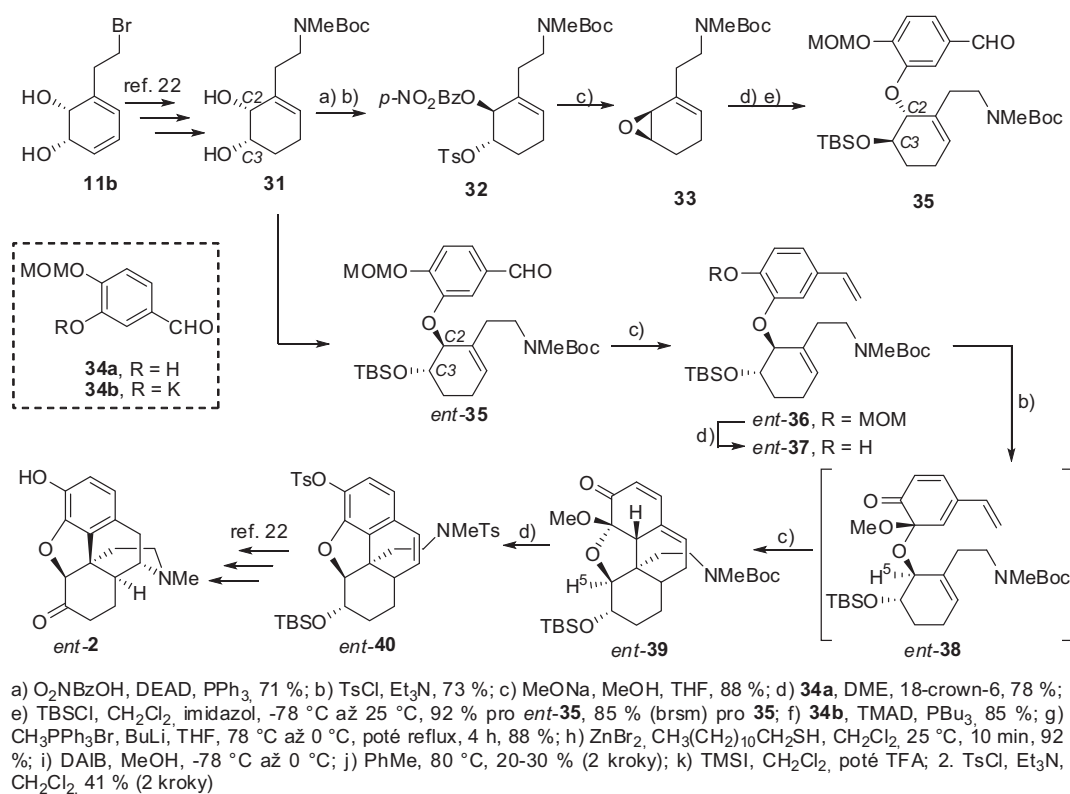


Schéma 5. Přímá příprava allylových kyanátů a jejich *in situ* přesmyk na isokyanáty

Schéma 6. Formální syntéza hydromorfonu a *ent*-hydromorfonu

Nejkratší doposud popsanou syntézou zástupce této skupiny je syntéza selaginpulvilinu D, jenž byl připraven v pouhých 4 krocích, s využitím Suzukiho reakce, sledu  $S_EAr$  reakcí a Sonogashirova couplingu k sestavení uhlíkatého skeletu<sup>38</sup>. Tato metoda je nicméně prakticky aplikovatelná pouze na selaginpulvilin D. Další popsané syntézy jsou založeny na hexadehydro Dielsově-Alderově reakci tetraynu, pomocí níž byly připraveny selaginpulviliny C (**3**) a D (**4**), v obou případech v 12 krocích (nejdelší lineární sekvence)<sup>39</sup>. Podobná strategie pro syntézu látek (**3**) a (**4**) je založena na dehydro Dielsově-Alderově reakci enyn-alkynu. S využitím této strategie je možné připravit selaginpulvilin C (**3**)<sup>40</sup> a selaginpulvilin D (**4**)<sup>41</sup> v 9 krocích.

V rámci programu zahrnujícího vývoj nových katalytických [2+2+2]-cyklotrimerizačních reakcí bylo této reakce využito ke konstrukci fluorenového motivu selaginpulvilinů, jakožto alternativní strategie syntézy těchto látek (Schéma 7)<sup>42</sup>. Klíčový substrát **43** byl získán z diynu **42** a aldehydu **41**. Triyn **43** byl poté podroben [2+2+2]-cyklotrimerizaci s využitím externího alkynu. Využití propargylalkoholu se ukázalo jako výhodné v syntéze látky **3**. Přítomnost polární hydroxylové skupiny se ukázala rozhodujícím faktorem pro regiosektivitu transformace, která přednostně poskytovala požadovaný *ortho* regioisomer. Oxidace fluorenolu **44a** na fluorenon a redukce benzylic-

kého alkoholu vedla ke vzniku intermediátu **45a**, známého v syntéze látky **3**, a bylo tedy dosaženo formální syntézy<sup>43</sup>. V rámci syntézy látky **4** bylo k trimerizaci využito ethylen-trimethylsilanu. Využití látky neobsahující polární skupinu vedlo k mírnému poklesu regiosektivity a reakce poskytla směs dvou regioisomerů *ortho* a *meta*. Tento fakt se ovšem nejevil jako problematický, jelikož po oxidaci fluorenolu **44b** na fluorenon byla TMS skupina odstraněna, a oba regioisomery poskytly požadovaný intermediát **45b**, dříve popsaný v syntéze selaginpulvilinu D (cit.<sup>44</sup>).

Celková délka obou syntéz činila 12 kroků ve své nejdelší lineární sekvenci. V porovnání s publikovanými syntézami nabízí naše strategie možnost modulární syntézy obou látek bez nutnosti *de novo* syntézy intermediátů pro klíčové kroky syntéz. Ze společného substrátu je možné pomocí [2+2+2]-cyklotrimerizace získat meziproducty využitelné v syntéze obou selaginpulvilinů C a D.

### 3. Totální syntéza a potvrzení strukturálních aspektů přírodních látek – notoincisol A a selagibenzofenon A a B

Notoincisol A (**5**), izolovaný z rostliny *Notopterygium incisum*, je přírodní agonista  $PPAR\gamma$  receptorů<sup>45</sup>. Před naší prací nebyla žádná totální syntéza popsána. Naši motivaci

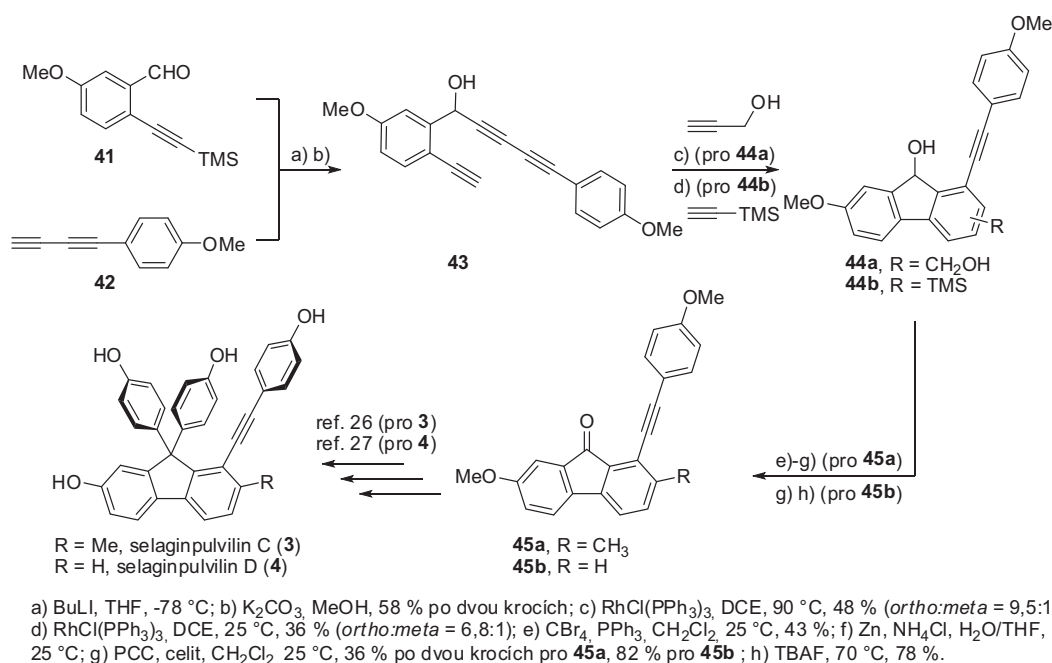


Schéma 7. [2+2]-Cyklotrimerizace ve formální syntéze selaginpulvilinu C a D

byla syntéza všech stereoisomerů látky (**5**), a na základě porovnání analytických dat syntetických a přírodní látky potvrzení absolutní konfigurace přírodní látky (**5**). Dalším cílem bylo vyhodnocení biologické aktivity všech isomerů na  $\text{PPAR}\gamma$  a  $\text{GABA}_A$  receptorech<sup>46</sup>.

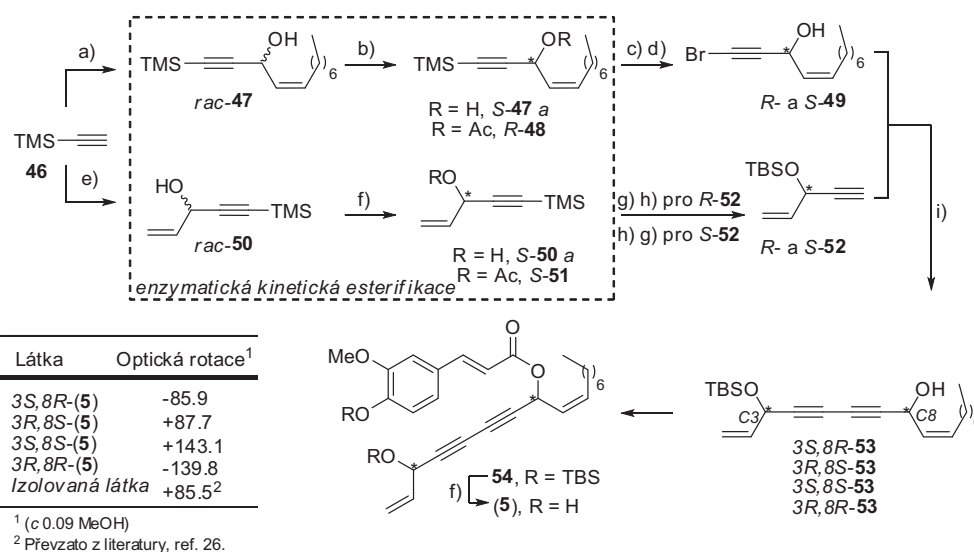
Syntetická strategie spočívala v přípravě racemických alkoholů *rac*-**47** a *rac*-**50**, jež byly podrobeny enzymatické kinetické esterifikaci za pomoci lipasy PS (Schéma 8). Tímto krokem byly získány obě opticky aktivní komponenty obou alkoholů, tedy alkoholy *S*-**47** a *S*-**50** a acetáty *R*-**48** a *R*-**51**, jež byly dále převedeny na opticky aktivní bromalkyny *S*- a *R*-**49** a alkyne *S*- a *R*-**52**. Cadiotova-Chodkiewiczova reakce každého enantiomeru alkyne **49** s každým z enantiomerů alkyne **52** poskytla požadované stereoisomery skeletu **53**. Esterifikací hydroxylové skupiny v pozici C8 TBS-ochráněnou ferulovou kyselinou a následným odštěpením TBS skupin byly získány všechny stereoisomery látky **5**. Hodnota optické rotace přírodního produktu se shodovala s hodnotou zjištěnou pro syntetický produkt s absolutní konfigurací chirálních center *3R,8S* a tato konfigurace byla tedy přiřazena i přírodnímu notoincisolu A. Ukázalo se, že pouze tento isomer měl schopnost aktivovat  $\text{PPAR}\gamma$  receptor.

Dokingové studie odhalily, že změna absolutní konfigurace na jakémkoli centru chiralitity vede ke ztrátě důležitých interakcí mezi ligandem a aminokyselinami vazebného místa proteinu. Oba diastereomery přírodní látky, tedy *3R,8R*-**5** a *3S,8S*-**5** vykazovaly slabé alosterické modulační schopnosti  $\text{GABA}_A$  receptoru. Kromě toho bylo zjištěno, že jsou schopny receptor aktivovat i v nepřítomnosti endo-

genního ligandu GABA. Agonistický efekt na těchto receptorech je poměrně vzácný, nicméně obě aktivní látky vykazovaly jak modulační, tak agonistické vlastnosti v poměrně malé míře a jejich fyziologické využití je proto spíše nereálné.

Selagibenzofenony A (**6**) a B (**7**) jsou přírodní látky izolované z různých druhů vranečků, lišící se polohou substituentů centrálního aromatického jádra A. Zatímco 4-hydroxyfenylové skupiny se ve struktuře látky **6** nacházejí v polohách 2, 4 a 6 (cit.<sup>47</sup>), látka **7** obsahuje stejné skupiny v polohách 3, 4 a 5 (Schéma 9)<sup>48,49</sup>. Navzdory této odlišnosti vykazují publikovaná NMR spektra zarážející shodu, která může být čistě náhodná nebo způsobená nesprávným rozluštěním struktury jedné z látek. Obě látky byly proto připraveny a spektrální charakteristiky obou syntetických produktů byly porovnány jak mezi sebou, tak i s daty publikovanými pro přírodní materiál<sup>50</sup>. Klíčovou byla správné volba výchozích látek, jež by odrážela substituční vzor produktů. Isomer **6** byl proto připraven z komerčně dostupného 2,4,6-tribrombenzaldehydu (**55**) za pomoci Suzukiho reakce, adice lithiovaného aromátu na aldehyd **56**, následné oxidace za vzniku ketonu **57** a ochrání fenolových skupin. Podobná strategie byla zvolena pro syntézu isomeru **7**, jež vycházela z methylesteru kyseliny gallové (**58**).

Hydroxylové skupiny byly nejprve převedeny na trifláty a následný cross-coupling látky **59** s *p*-methoxyfenylboronovou kyselinou vedl ke vzniku trisarylovaného methylesteru benzoové kyseliny **60**, jenž byl následně zredukován na aldehyd, a podobně jako v případě látky **6**



a) BuLi, dek-2-enon, THF, 0 °C to rt, 4 h; b) Amano lipáza PS, MTBE, vinyl acetát, rt, 4 h, 48 %, (*ee* > 99 %) pro *R*-48, 45 %, (*ee* > 99 %) pro *S*-47; c) K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, MeOH, rt, 2 h; d) AgNO<sub>3</sub>, NBS, aceton, 2 h, rt, 69 % pro *R*-49 (2 kroky), 62 % pro *S*-30 (2 kroky) e) BuLi, akrolein, THF, 0 °C to rt, 4 h, 89 %; f) Amano lipáza PS, MTBE, vinyl acetát, rt, 4 h, 48 %, (*ee* > 99 %) pro *R*-51, 33 %, (*ee* > 99 %) pro *S*-51; g) K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, MeOH, rt, 2 h; h) TBSCl, imidazol, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 25 °C, 75 % pro *R*-52 (2 kroky), 73 % pro *S*-52 (2 kroky); i) NH<sub>2</sub>OH·HCl, EtNH<sub>2</sub>, CuCl, H<sub>2</sub>O/MeOH, 0 °C až rt, 2 h, 64-66 %; b) TBS-ferulová kyselina, EDCl, DMAP c) HF-pyridin, THF, 0 - 25 °C, 75-83 %.

Schéma 8. Totální syntéza notoicisolu A a stereoisomerů

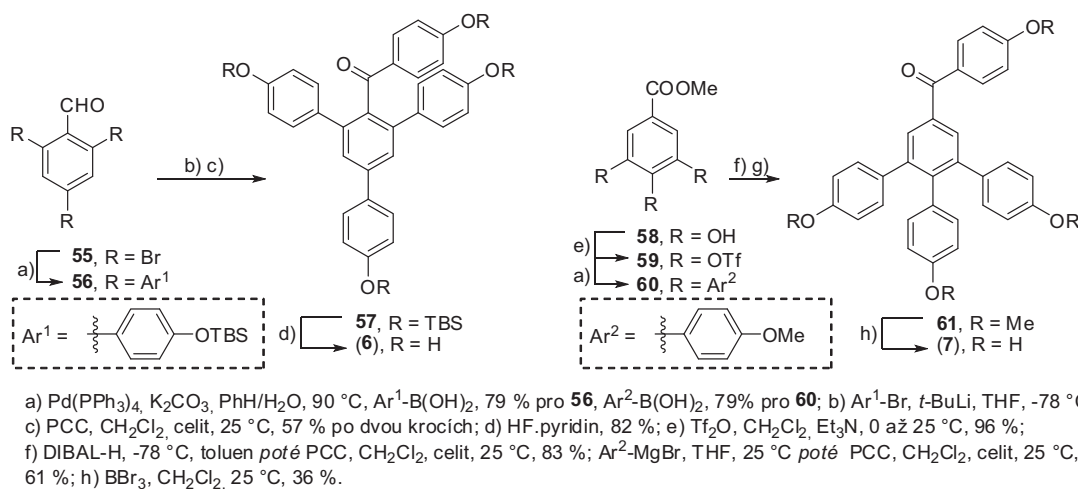


Schéma 9. Syntéza selagibenzofenonu A a selagibenzofenonu B pro potvrzení struktury přírodního produktu

podroben adici Grignardova činidla a oxidaci za vzniku ketonu 61. Odchránění fenolových skupin vedlo ke vzniku isomeru 7. Syntetické isomery vykazovaly výraznou odlišnost v posunech signálů vodíkových i uhlíkových spekter a náhodná podobnost spekter obou látek tedy může být bezpečně vyloučena. Porovnáním spekter syntetických a izolovaných látek bylo zjištěno, že struktura látky popsané v literatuře jako selagibenzofenon B byla rozluštěna chybně a ve skutečnosti se jedná o selagibenzofenon A.

#### 4. Totální syntéza a vývoj biologicky aktivních látek

Magnolol (8) a honokiol (9) jsou přírodní neolignany izolované z rostliny *Magnolia officinalis*<sup>51</sup> se širokou škálou biologické aktivity, mimo jiné působící jako neselektivní alosterické modulátory GABA<sub>A</sub> receptorů a agonisté nukleárních transkripčních faktorů PPAR<sub>γ</sub> a RXR<sub>α</sub>. Tyto receptory patřily do okruhu našeho zájmu. Jakkoli se širo-

ká škála biologické aktivity může zdát výhodnou, opak je pravdou, pokud jde o vývoj léčiv. Promiskuita vůči biologickým cílům může mít za následek vedlejší účinky a vývoj látek se selektivním účinkem na cílených receptorech je proto žádoucí. Tato strategie pro nás byla klíčovou při vývoji nových derivátů látek **8** a **9**. V první fázi projektu bylo cíleno na přípravu zjednodušených derivátů těchto látek, které by obsahovaly nezměněné aromatické jádro A, společně oběma přírodními látkami, a zjednodušené aromatické jádro B, které by namísto původní allylové a fenolové skupiny neslo pouze jeden substituent s rozličnými chemickými vlastnostmi (Schéma 10)<sup>52</sup>. Za použití 4-brom-2-chlorfenolu (**63**) bylo ve dvou krocích syntetizováno 12 nových derivátů **64a-l**, přičemž nejzajímavější vlastnosti mezi nimi vykazovala na GABA<sub>A</sub>  $\alpha 1\beta 2\gamma 2$  receptoru látka **64a** (%*I*<sub>GABA</sub> = 440±60 při 3  $\mu$ M a 913±286 při 10  $\mu$ M. Pro srovnání: magnolol %*I*<sub>GABA</sub> = 338±93 při 3  $\mu$ M a 702±86 při 10  $\mu$ M, honokiol %*I*<sub>GABA</sub> = 162±31 při 3  $\mu$ M a 594±131 při 10  $\mu$ M). Navíc látka **64a** prokazovala výrazně nižší aktivitu na GABA<sub>A</sub>  $\alpha 1\beta 1\gamma 2$  podtypu a nevykazovala aktivitu na žádném jiném testovaném receptoru (RXR $\alpha$ , PPAR $\gamma$ ), což ji oproti vzorovým sloučeninám činí selektivním GABA<sub>A</sub>  $\alpha 1\beta 2\gamma 2$  modulátorem. Naproti tomu bylo identifikováno několik látek, které na GABA<sub>A</sub> receptorech neprokázaly modulační schopnost, nicméně byla zjištěna velice slibná agonistická aktivita na receptorech RXR $\alpha$ . Tyto výsledky zatím nebyly publikovány, proto dále nebudou v tomto referátu diskutovány.

S vyvinutými selektivními agenty pro GABA<sub>A</sub> a RXR $\alpha$  receptory se naše pozornost obrátila směrem k vývoji selektivních agonistů PPAR $\gamma$  receptorů. Naše práce vycházela z krystalové struktury agregátu PPAR $\gamma$  receptoru a **8**, ze které je zřejmé, že se ve vazebném místě receptoru nachází dvě molekuly magnololu (**8**) v relativní blízkosti<sup>53</sup>. Naše strategie spočívala v přípravě dimeru magnololu, v němž by obě magnololové jednotky byly propojeny vhodným linkerem tak, aby byla zachována jejich původní orientace ve vazebném místě proteinu<sup>54</sup>. Pomocí dokovacích studií byla navržena látka **73**, v jejíž struktuře linker propojoval allylovou skupinu jedné magnololové jednotky s aromatickým jádrem druhé magnololové jednotky (Schéma 11).

Konvergentní syntéza dimeru **73** vycházela z 4-allylanisolu (**65**), jenž byl převeden na boronovou kyselinu **66** a bromid **67**, které byly podrobeny cross-couplingové reakci a po odchránění acetalu poskytly aldehyd **68**. Současně, 3-bromoanisole (**69**) byl ve třech krocích převeden na anisol **70**, který za využití dvou regioselektivních cross-couplingových reakcí a nukleofilní substituce alifatického chloridu trifenyfosfinem poskytl fosfoniovou sůl **71**. Wittigova olefinace a odchránění fenolových skupin vedlo ke vzniku požadovaného dimeru **73**.

Dimer **73** prokázal 12 $\times$  vyšší afinitu k PPAR $\gamma$  receptoru než vzorová sloučenina magnolol (**8**) (*K*<sub>i</sub> = 5,03 nM pro **73** oproti 64,42 nM pro **9**). Látka byla netečná k RXR $\alpha$  receptoru.

Strukturální komplexita a poměrně složitá syntéza dimeru **73** byly podnětem k syntéze jeho zjednodušené formy. Byly proto navrženy fragmenty dimeru **73**, sesquimagnololy **74** a **75**, ze kterých došlo k odebrání jednoho z krajních aromatických jader (jádra D v případě látky **74** a jádra A v případě látky **75**) a zkrácený dimer **76**, který postrádal obě terminální aromatická jádra A i D (Schéma 11). Syntéza fragmentů **74**, **75** a **76** probíhala analogicky k syntéze dimeru **73**, proto nebude v rámci tohoto referátu probírána a čtenář je odkázán na původní literaturu<sup>55</sup>.

Bylo zjištěno, že sesquimagnololy **74** a **75** vykazují aktivitu srovnatelnou s dimerem **73**. Obě molekuly byly popsány jako selektivní agonisté PPAR $\gamma$  receptorů, netečné k RXR $\alpha$  receptorům. Překvapivým zjištěním bylo, že zkrácený dimer **76** vykazoval antagonistické vlastnosti na místo očekávaných agonistických. Dokovacími studii bylo zjištěno, že látka vykazuje afinitu k vazebnému místu jiného známého antagonisty tohoto receptoru, betulinové kyseliny.

## 5. Závěry

V rámci našeho výzkumu jsme byli schopni využít moderních syntetických strategií (enzymatická a kovová katalýza) k přípravě komplexních přírodních látek (–)-tetrodotoxinu, morfinanů hydromorfonu a jeho enantiomeru

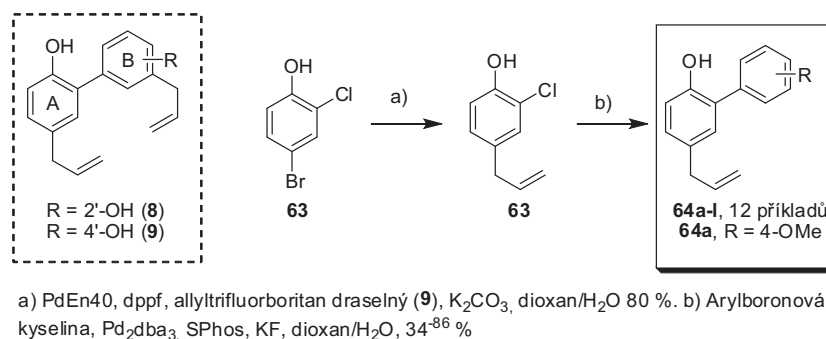
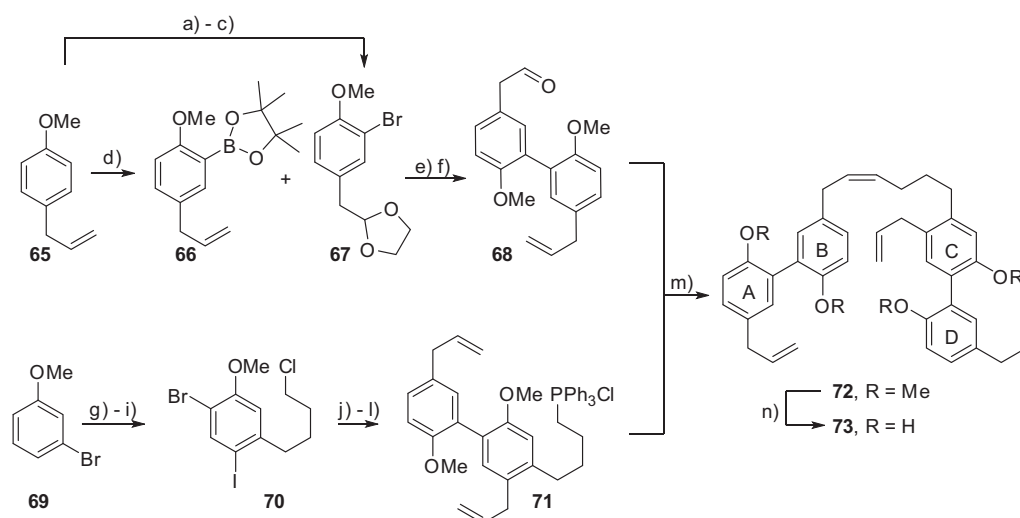


Schéma 10. Syntéza zjednodušených derivátů magnololu (**8**) a honokiolu (**9**)





a)  $\text{OsO}_4$ ,  $\text{NaIO}_4$ , THF/ $\text{H}_2\text{O}$  (1/1), 0 °C - 25 °C, 61 %; b) ethylen glykol, PTSA/ $\text{H}_2\text{O}$ , toluen, reflux, 92 %; c) NBS, MeCN, 0 °C, 95 %; d) *s*-BuLi, TMEDA, THF, -70 °C - 25 °C, poté  $\text{B}_2\text{pin}_2$ , 25 °C, 62 %; e)  $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ , SPhos, KF, THF/ $\text{H}_2\text{O}$  (10/1), reflux, 67 %; f) HCl,  $\mu\text{W}$ , 120 °C, 80 %; g) *t*-BuLi, THF, -78 °C, poté 1-brom-4-chlorbutan, -78 °C - 25 °C, 94 %; h)  $\text{I}_2$ , HgO,  $\text{Ac}_2\text{O}$ , DCM, reflux, 85 %; i) NBS, silikagel, BHT, tma, MeCN, -10 °C, 64 %; j) allyltributylstannan,  $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_4$ , DMF, reflux, 95 %; k) 66,  $\text{Pd}_2(\text{dba})_3$ , SPhos, *t*-BuOK, THF, reflux, 65 %; l) NaI,  $\text{PPh}_3$ , EtOAc, reflux, 80 %; m) KHMDS,  $\text{Et}_2\text{O}$ , 0 °C - 25 °C, poté aldehyd 68, -55 °C - 25 °C, 75 %; n)  $\text{BBr}_3 \cdot \text{S}(\text{CH}_3)_2$ , DCE, reflux, 60 %.

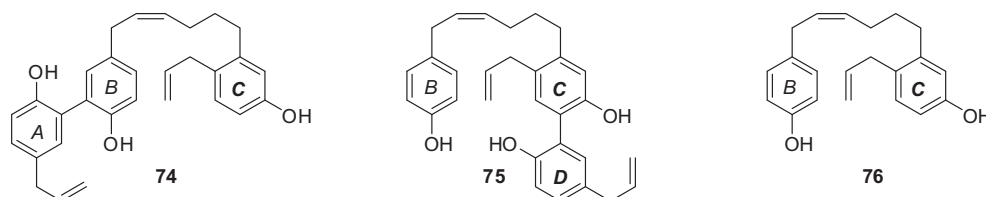


Schéma 11. Syntéza dimeru magnololu a struktura zjednodušených dimerů

a selaginpulvilinů C a D. Naše práce dále vyústila v nové poznatky, týkající se strukturálních aspektů látek notoincisolu A, kde jsme potvrdili absolutní konfiguraci přírodního produktu, a dále jsme byli schopni osvětlit strukturální nejasnosti spjaté s látkami selagibenofenon A a B. V neposlední řadě jsme vyvinuli několik derivátů látek magnololu a honokiolu, které na testovaných receptorech svými vlastnostmi předčily vzorové sloučeniny.

#### LITERATURA

- Nicolaou K. C., Hale C. R. H.: *Nat. Sci. Rev.* 1, 233 (2016).
- Baran P.: *J. Am. Chem. Soc.* 140, 4751 (2018).
- Wöhler F.: *Ann. Phys.* 88, 253 (1828).
- Robinson R.: *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* 111, 762 (1917).
- Woodward R. B., Cava M. P., Ollis W. D.: *J. Am. Chem. Soc.* 76, 4749 (1954).
- Woodward R. B., Doering W. E.: *J. Am. Chem. Soc.* 66, 849 (1944).
- Smith A. C., Williams R. M.: *Angew. Chem. Int. Ed.* 47, 1736 (2008).
- Woodward R. B.: *Pure Appl. Chem.* 33, 145 (1973).
- Gates M., Tschudi G.: *J. Am. Chem. Soc.* 74, 1262 (1952).
- Corey E. J., and Xue-Min Cheng: *The Logic of Chemical Synthesis*. John Wiley, New York 1989.
- Nicolaou K. C., Yang Z., Shi G., Gunzner J. L. Agrios K. A., Gärtner P.: *Nature* 392, 264 (1998)
- Nicolaou K. C., Yang Z., Liu J. J.: *Nature* 367, 630 (1994).
- Nicolaou K. V. Mitchell H. J. Nareshkumar F. J., Winsinger N., Hughes R., Bando T.: *Angew. Chem Int. Ed.* 38, 240 (1999).
- Nicolaou K. C., Snyder S. A.: *Angew. Chem. Int. Ed.* 44, 1012 (2005).
- Patridge E., Gareiss P., Kinch M. S., Hoyer D.: *Drug Discov. Today.* 21, 204 (2016).
- Bedard K., Hudlicky T., v knize: *Strategies and tactics in Organic Synthesis* (Harmata M., ed.) v tisku, 2020.

17. Makarova M., Rycek L., Hajicek J., Baidilov D., Hudlicky T.: *Angew. Chem. Int. Ed.* **59**, 18338 (2019).
18. Kishi Y., Fukuyama T., Aratani M., Nakatsubo F., Goto T., Inoue S., Tanino H., Sugiura S., Kakoi H.: *J. Am. Chem. Soc.* **94**, 9219 (1972).
19. Ohyabu N., Nishokawa T., Isobe M.: *J. Am. Chem. Soc.* **43**, 4782 (2003).
20. Hinman A., DuBois J.: *J. Am. Chem. Soc.* **125**, 11510 (2003).
21. Nishokawa T., Urabe D., Isobe M.: *Angew. Chem. Int. Ed.* **43**, 4782 (2004).
22. Sato K., Akai S., Shoji H., Sugita N., Oshawa T., Kogure T., Shoji H., Yoshimura J.: *J. Org. Chem.* **70**, 7496 (2005).
23. Sato K. a 10 spoluautorů: *J. Org. Chem.* **73**, 1234 (2008).
24. Maehara T., Motoyama K., Toma T., Yokoshima S., Fukuyama T.: *Angew. Chem. Int. Ed.* **56**, 1549 (2017).
25. Murakami K., Toma T., Fukuyama T., Yokoshima S.: *Angew. Chem. Int. Ed.* **59**, 6253 (2020).
26. Xu S., Ciufolini M. A.: *Org. Lett.* **17**, 2424 (2015).
27. Cagide-Fagín F., Alonso R.: *Eur. J. Org. Chem.* **2010**, 6741.
28. Baidilov D., Rycek L., Trant J. F., Froese J., Murphy B., Hudlicky T.: *Angew. Chem. Int. Ed.* **57**, 10994 (2018).
29. Baidilov D., Makarova M., Rycek L., Hudlicky T.: *Synthesis* **50**, 4606 (2018).
30. Rice K. C.: *J. Org. Chem.* **45**, 3135 (1980).
31. Omori A. T., Finn K. J., Leisch H., Carroll R. J., Hudlicky T.: *Synlett* **2007**, 2859.
32. Endoma-Arias M. A. A., Hudlicky J. R., Simionescu R., Hudlicky T.: *Adv. Synth. Catal.* **356**, 333 (2014).
33. Leisch H., Omori A. T., Finn K. J., Gilmet J., Bissett T., Ilceski D., Hudlicky T.: *Tetrahedron* **65**, 9862 (2009).
34. Varghese V., Hudlicky T.: *Synlett* **24**, 369 (2013).
35. Verghese V., Hudlicky T.: *Angew. Chem. Int. Ed.* **53**, 4355 (2014).
36. Rycek L., Hayward J. J., Latif M. A., Tanko J., Simionescu R., Hudlicky T.: *J. Org. Chem.* **81**, 10930 (2016).
37. Liu X., Luo H.-B., Huang Y.-Y., Bao J.-M., Tang G.-H., Chen Y.-Y., Wang J., Yin S.: *Org. Lett.* **16**, 282 (2014).
38. Sowden M. J., Sherburn M. S.: *Org. Lett.* **19**, 636 (2017).
39. Karmakar R., Lee D.: *Org. Lett.* **18**, 6105 (2018).
40. Chinta B. S., Baire B.: *Org. Biomol. Chem.* **16**, 262 (2018).
41. Chinta B. S., Baire B.: *Org. Biomol. Chem.* **15**, 5908 (2017).
42. Rycek L., Mateus M., Byetlerová N., Katora M.: *Org. Lett.* **23**, 4511 (2021).
43. Shankar B., Baire B.: *Org. Biomol. Chem.* **16**, 262 (2018).
44. Shankar B., Baire B.: *Org. Biomol. Chem.* **15**, 5908 (2017).
45. Liu X. a 12 spoluautorů: *J. Nat. Prod.* **77**, 2513 (2014).
46. Rycek L. a 12 spoluautorů: *J. Nat. Prod.* **81**, 2419 (2018).
47. Liu X., Tang G.-H., Weng H.-Z., Zhang J.-Z., Xu Y.-K., Yin S.: *J. Asian Nat. Prod. Res.* **20**, 1123 (2018).
48. Liu R., Zou H., Zou Y.-X., Cheng F., Yu X., Xu P.S., Li X. M., Li D. Xu K.-P., Tan G.-S.: *Nat. Prod. Res.* **34**, 2709 (2020).
49. Wang C.-G., Yao W.-N., Zhang B., Hua J., Liang D., Wang H.-S.: *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **28**, 2431 (2018).
50. Lapinskaite R., Malatinec Š., Mateus M., Rycek L.: *Catalysts* **11**, 708 (2021).
51. Lin Y., Li Y., Zeng Y., Tian B., Qu X., Yuan Q., Song Y.: *Front. Pharmacol.* **12**, 632767 (2021).
52. Rycek L., Puthenkalam R., Schnürch M., Ernst M., Mihivilovic M. D.: *Bioorg. Med. Chem.* **25**, 400 (2015).
53. Zhang H., Xu X., Chen L., Hu L., Jiang H., Shen X.: *PLoS One* **6**, e28253 (2011).
54. Dreier D. a 11 spoluautorů: *Sci. Rep.* **7**, 6022 (2017).
55. Dreier D., Resetar M., Temml V., Rycek L., Kratena N., Schnürch M., Schuster D., Dirsch V. M., Mihivilovic M. D.: *Org. Biomol. Chem.* **16**, 7019 (2018).

**L. Rýček** (*Department of Organic chemistry, Faculty of Science, Charles University, Prague*): **Total Synthesis of Natural Products: Case Studies in the Evaluation of New Synthetic Methods, Structural Elucidation and Drug Discovery**

This review summarizes our work in the field of synthesis of natural products and their derivatives. Application of modern synthetic method is discussed in the context of the syntheses of both enantiomers of hydromorphone, (–)-tetrodotoxin (a marine toxin), and selaginpulvilins C and D (natural fluorene derivatives). Further, synthesis of notoincisol A, selagibenzophenones A and B is described to clarify the structural aspects of the compounds. Last but not least, synthesis and pharmaceutical profilation of derivatives of magnolol and honokiol is discussed as well.

Keywords: natural products and derivatives, total synthesis, biological activity

● Rýček L.: *Chem. Listy* **116**, 204–214 (2022).

● <https://doi.org/10.54779/chl20220204>

## ROLE DERIVÁTŮ HYDANTOINU PŘI SYNTÉZE POLYASPARTÁTŮ

JIŘÍ PODEŠVA, MIROSLAVA DUŠKOVÁ  
SMRČKOVÁ a OLGA TRHLÍKOVÁ

Ústav makromolekulární chemie AV ČR, v.v.i., Heyrovského  
nám. 2, 162 06 Praha 6

Došlo 18.11.21, přijato 2.12.21.

Klíčová slova: hydantoin, polyaspartáty, nátěrové hmoty

• <https://doi.org/10.54779/chl20220215>

### Obsah

1. Úvod
2. Polyaspartáty
3. Chemie hydantoinu
  - 3.1. Vznik hydantoinového kruhu
  - 3.2. Některé důležité reakce hydantoinu a jeho derivátů
  - 3.3. Vliv vodíkových vazeb
4. Předpoklady pro chystaný výzkum

### 1. Úvod

Význam N-substituovaných 2-aminosukcinátů (N-substituovaných aspartátů) pro průmysl nátěrových hmot v poslední době roste<sup>1</sup>. Reakcí jejich sekundárních aminoskupin s isokyanáty mohou za určitých podmínek vznikat materiály, někdy označované (poněkud nepřesně) jako polyaspartáty, které mohou sloužit mj. jako užitečné meziprodukty pro výrobu kvalitních, tvrdých, lesklých a oteřuvzdorných nátěrů (ochranných povlaků)<sup>2</sup>. Pro získání trojrozměrných sítí se tzv. bis-aspartáty (většinou ve formě jejich esterů s alifatickými alkoholy), tj. látky, v jejichž molekule jsou dva zbytky kyseliny asparagové spojeny vhodným můstkem (např. methylenovým řetízkem) prostřednictvím skupin -NH-, nechají zreagovat s látkami nebo směsmi látek, obsahujícími (v průměru) více než dvě NCO skupiny v molekule. Při praktické aplikaci se amino-

vá a isokyanátová složka směšují až těsně před nanesením (např. ve sprejovací hlavici); důležitou technologickou podmínkou proto je, aby rychlost vytvrzovací reakce byla v určitém optimálním rozmezí: příliš pomalá reakce by způsobovala stékání nátěru, zatímco příliš rychlá by mohla zanášet trysku. To bis-aspartáty vesměs splňují, a to nejen proto, že jejich aminové skupiny jsou sekundární, ale i díky existenci vodíkových vazeb mezi aminovým vodíkem a karbonylovým kyslíkem.

### 2. Polyaspartáty

Bis-aspartáty lze připravit např. aza-Michaelovou adicí symetrických nebo asymetrických primárních diaminů na maleáty (příklad viz obecné schéma 1, kde X je vhodný dvoufukční substituent).

Třebaže to nebylo dosud v literatuře popsáno, existuje teoretická možnost alternativní přípravy bis-aspartátů reduktivní aminací vhodné dikarbonylové sloučeniny aspartátem s volnou NH<sub>2</sub> skupinou (molární 1:2).

Sekundární aminová skupina bis-aspartátu umožňuje adiční reakci s isokyanátovou skupinou. V praxi používané isokyanáty jsou většinou směsí molekul s určitou distribucí funkčnosti, kterou se zde rozumí počet NCO skupin v molekule. Při průměrné funkčnosti isokyanátové složky vyšší než 2 tak mohou vznikat trojrozměrné polymerní sítě chemicky propojené močovinnými vazbami.

Například trojfukční isokyanát se běžně připravují v průmyslovém měřítku (ale mohou někdy i spontánně vznikat) z  $\alpha,\omega$ -alifatických diisokyanátů ve formě šestičlenného kruhu (viz obecné schéma 2, kde R je opět vhod-

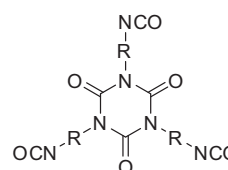


Schéma 2

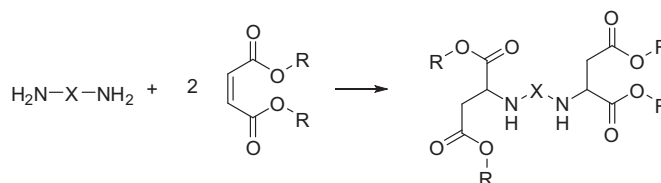


Schéma 1

ný dvoufukční substituent, např. polymethylenový řetězec).

Ve srovnání s primárními aminoskupinami jsou reakce sekundárních aminoskupin bis-aspartátů (a obecně všech N-substituovaných aspartátů) se skupinami NCO většinou podstatně pomalejší (a tedy technologicky lépe zvládnutelné).

Močovinnové skupiny tvoří vodíkové můstky, které přispívají k efektivní síťové hustotě polymerní sítě<sup>3</sup>. Nátěrrová hmota na bázi těchto struktur vykazuje značnou pevnost a chemickou odolnost, umožňuje rychlé vytvrzování i při běžné teplotě místnosti, čímž nabízí široké možnosti aplikací a způsobů nanášení. V současnosti jsou již těmito moderními polymočovinnými sítěmi, založenými na aspartátech, v řadě aplikací nahrazovány běžné polyurethanové termosety. Komerční produkty založené na dvousložkových systémech bis-aspartát–isokyanát nabízí například firma Covestro (založená firmou Bayer). Její systém Pasquick® poskytuje ochranu povrchů i v těch nejnáročnějších podmínkách, jako jsou například průmyslové haly nebo mostní konstrukce vystavené vlivu mořské vody<sup>4</sup>. Určitou roli hraje také skutečnost, že na rozdíl od polyurethanů, pro jejichž přípravu se jako katalyzátory používají mj. i sloučeniny cínu, není třeba tvorby polyaspartátů katalyzovat, což přináší vítané snížení zdravotního rizika. Také díky nízké viskozitě výchozích bis-aspartátových pryskyřic je spotřeba organických rozpouštědel při nanášení nižší ve srovnání např. s polyuretanovými, byť tzv. vysokosušivými (high solids) systémy. To je velmi důležité vzhledem ke stále rostoucím nárokům na snižování obsahu těkavých (a často zdraví škodlivých) rozpouštědel. V současné legislativě EU je pro různé chemické systémy v praktických aplikacích definován tzv. VOC (volatile organic compound). Např. podle direktivy Evropské komise č. 1999/13/EC je VOC limit pro svrchní automobilový lak 45 g emisí z m<sup>2</sup> natíraného povrchu, což odpovídá cca 25 hm.% těkavých látek v nátěrovém systému.

Při přípravě polyaspartátů však vznikají problémy, z nichž dva se tématu této práce týkají. První souvisí již s přípravou meziprojektu, tj. N-substituovaného aspartátu: je dlouho známo, že aza-Michaelova adice primárních aminů na maleáty je vždy doprovázena isomerizací Z-vazby C=C na E-vazbu C=C, tj., že současně s aspartáty vždy vzniká i určité množství fumarátů; samotný amin zde formálně působí jako katalyzátor<sup>5–7</sup>. Tato situace je znázorněna v obecném schématu 3, kde R může být např. alkyl.

Jelikož adice aminů na fumaráty je mimořádně pomalá a dosud pro ni nebyl nalezen účinný katalyzátor, ve výsledné reakční směsi je kromě žádoucího aspartátu vždy

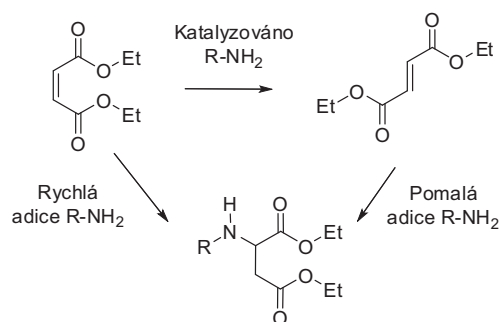


Schéma 3

přítomno několik procent (nezreagovaného) fumarátu. Přítomnost fumarátů způsobuje žloutnutí produktu, což může mít pro některé aplikace nepříznivý dopad. Navíc fumaráty dráždí pokožku a mohou způsobovat problémy při inhalaci. Existuje způsob, jak fumaráty z výsledné směsi odstranit<sup>8</sup>: přidáním kyseliny citronové k této směsi se žádoucí produkt převede na výrazně polárnější amoniovou sůl a nepolární fumarát se vytřepe do cyklohexanu. Tento postup je sice velmi účinný, ale vhodný pouze pro práce v menším měřítku; příměs fumarátů je tak v praxi často určitou komplikací.

Druhým problémem je skutečnost, že reakce sekundární aminoskupiny N-substituovaných aspartátů s NCO skupinou může vést ke tvorbě heterocyklů, jako jsou např. právě deriváty hydantoinu. To je opět většinou nežádoucí jev, a to ze dvou důvodů: zaprvé, struktury obsahující tento cyklus se nemohou účastnit dalších větvících reakcí, což narušuje původně vyváženou stechiometrii a tak zhoršuje procesy vytvrzování polyaspartátů; zadruhé, při cyklizační reakci se uvolňuje alkohol, který může reagovat se zbylými skupinami NCO, a to se stejným důsledkem, tj. snížením dosažitelného stupně větvení. Ve zjednodušené podobě je tato reakce znázorněna na schématu 4, kde R<sup>1</sup> až R<sup>4</sup> jsou alkyly. Alkohol R<sup>2</sup>OH se uvolňuje z této esterové skupiny, která se nachází blíže skupině R<sup>1</sup>-N.

Jestliže meziprojekt ve schématu 4 zaujme vhodnou konformaci, následná reakce může – alespoň teoreticky – poskytnout kruh šestičlenný (derivát dihydrouracilu) za uvolnění alkoholu R<sup>3</sup>OH, tedy z esterové skupiny vzdálenější od R<sup>1</sup>-N (schéma 5, kde R<sup>1</sup> až R<sup>4</sup> jsou opět alkyly). Pokud je autorům předkládané práce známo, tato reakce nebyla dosud v literatuře popsána, ale některé předběžné experimenty, které autoři provedli, takovou možnost naznačily, byť i zde šlo o minoritní vedlejší reakci.

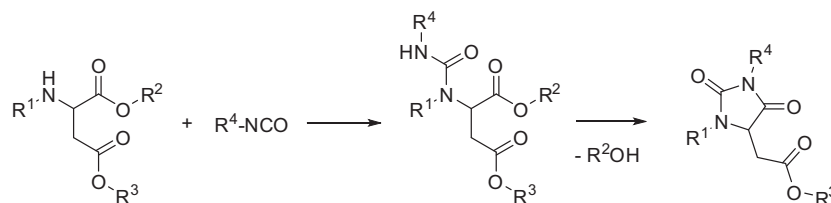


Schéma 4

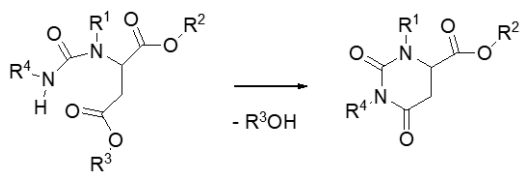


Schéma 5

Oba typy uzavírání kruhu jsou pro technologické vlastnosti výsledného produktu nepříznivé. Z tohoto hlediska je cílem této cyklizaci zabránit nebo ji omezit. Přítomnost tvorby cyklů tedy vyvolává potřebu detailnějšího studia reakcí, které vedou ke vzniku hydantoinu a podobných struktur. Pro následující přehled byly z velké objemu literatury o hydantoinu pro tento přehled vybrány pouze takové práce, které by mohly vést k detailnějšímu pochopení mechanismu a podmínek vzniku, zániku a modifikaci těchto cyklů, případně k možnosti je vhodnou reakcí pozměnit či zabránit jejich tvorbě. To je důležité pro účely budoucího výzkumu, jehož výsledky by měly vést ke zlepšení kvality polyaspartátových pryskyřic.

### 3. Chemie hydantoinu

Literatura o hydantoinu je rozsáhlá: lze odkázat na několik přehledných článků, věnovaných buď syntéze, substituci a fyzikálně chemickým vlastnostem a reakcím této sloučeniny<sup>9–11</sup> nebo jejímu zkoumání pomocí NMR či rentgenové analýzy<sup>12</sup>, případně jejím biologickým a farmakologickým vlastnostem či terapeutickým aplikacím<sup>9,13</sup>. První z již zmíněných referátů je obzvláště široce pojatý<sup>9</sup>.

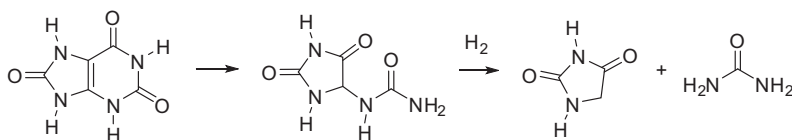


Schéma 7

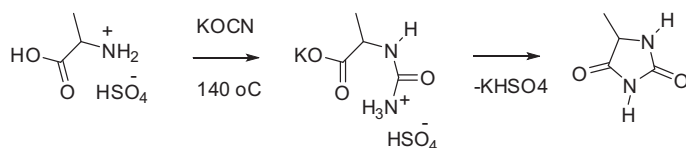


Schéma 8

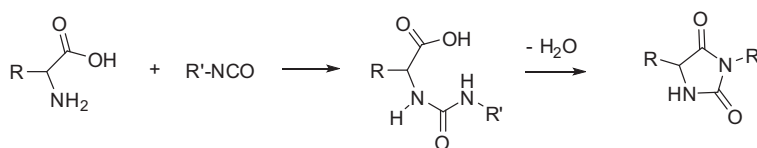


Schéma 9

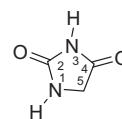


Schéma 6

Hydantoin v užším smyslu je imidazolidin-2,4-dion (schéma 6).

Obecněji se jako hydantoiny označuje celá třída látek obsahujících stejný heterocyklus, avšak různým způsobem substituovaný. Hydantoin je přírodní látka, spontánně vznikající např. oxidací cytosinových a thyminových bází DNA po smrti organismu.

#### 3.1. Vznik hydantoinového kruhu

Hydantoin nebyl objeven izolací z přírodních směsí, nýbrž jako produkt redukce alantoinu, vzniklého oxidací štěpením kyseliny močové, a to již roku 1861 budoucím nobelistou A. von Baeyerem<sup>14</sup> (schéma 7).

Pro zaměření našeho článku je důležitější v pořadí druhá, tzv. Urechova syntéza<sup>15</sup>, při které alaninsulfát reaguje s kyanátem draselným (schéma 8).

Tento postup byl později zobecněn i na případy, kdy místo aminokyseliny reaguje její ester, substituovaný amid nebo nitril<sup>16</sup>.

Místo anorganického kyanátu lze k adici na aminokyseliny použít i organického isokyanátu (alkyl- či aryl-), přičemž vzniká nejprve substituovaná kyselina 2-ureidokarboxylová (ureidoskupina = R-NH-CO-NH-). Ta odštěpením vody poskytne derivát hydantoinu, viz např.<sup>10</sup> (schéma 9).

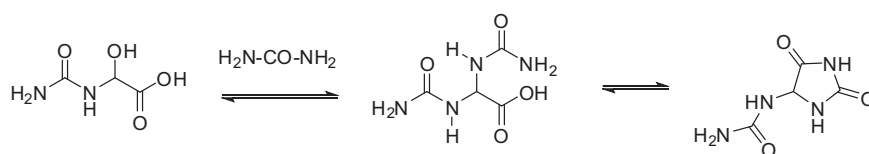


Schéma 10

Pěti-, resp. šestičlenné kruhy tedy mohou vzniknout jednoduše cyklizací 2-, resp. 3-ureidokarboxylových kyselin, zkráceně ureidů (angl. ureides), např. kyseliny ureidoctové, 3-ureidopropionové, případně jejich solí či esterů. Prvně zmíněná kyselina se také nazývá hydantoinová; ta a její deriváty jsou tedy speciálním případem ureidových kyselin, u nichž je ureidoskupina připojena v poloze 2 vzhledem ke karboxylu.

Reakcí kyseliny glyoxalové (případně jejího methylesteru) s močovinou vznikne nejprve 2-hydroxy-2-ureidoctová kyselina, která reakcí s další molekulou močoviny poskytne derivát kyseliny alantoinové; ten se za odštěpení vody cyklizuje na alantoin, tj. 5-ureidohydantoin (uvedený již ve schématu 7), viz schéma 10.

Reakcí alloxanu s *N,N'*-diethylmočovinou vzniká sloučenina **I** (schéma 11). Oproti kyselině močové (výchozí sloučenina ve schématu 7) jsou zde v polohách 7 a 9 místo vodíků ethyly a na uhlících C1 a C6 jsou hydroxyly<sup>17</sup>.

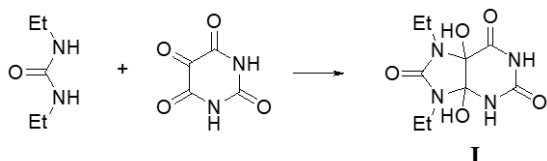


Schéma 11

Původně se mělo za to, že působením jodovodíku na derivát **I** vzniká reductivním štěpením 1,3-diethylhydantoin za odštěpení močoviny<sup>18</sup> (schéma 12).

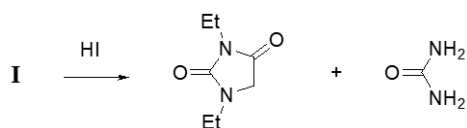


Schéma 12

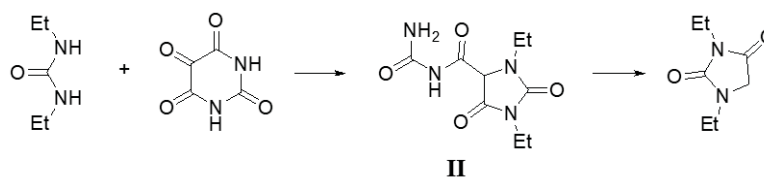


Schéma 13

Později byla navržena hypotéza sekvence reakcí podle schémat 11 a 12 vyvrácena<sup>19</sup>, neboť se prokázalo, že k 1,3-diethylhydantoinu vede cesta přes meziprodukt **II** (schéma 13), nikoliv **I**.

Mezi cyklickou a acyklickou formou ureidů může probíhat vratná reakce v závislosti na přítomnosti kyselin nebo bází. Ve schématu 14 je uvedena taková rovnováha mezi hydantoinem a kyselinou ureidoctovou (hydantoinovou)<sup>11</sup>.

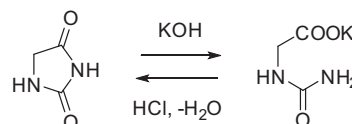


Schéma 14

Acyklické formy mohou být tak nestabilní, že je často nelze ani izolovat a někdy cyklizují i během krystalizace.

Kyselina 3-ureidopropionová cyklizuje na dihydrouracil, tj. šestičlenný heterocyklus. Byla popsána i kinetika této reverzibilní reakce<sup>20</sup> (schéma 15).

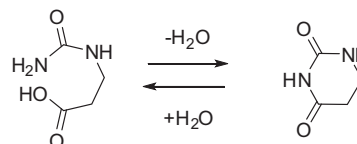


Schéma 15

Pro budoucí objasnění mechanismu a podmínek vzniku hydantoinového kruhu při tvorbě polyaspartátů může být důležitá práce Rutkovského a spol.<sup>21</sup>, kde je popsána reakce *N*-methylderivátu diethylesteru kyseliny asparagové s methylisokyanátem za vzniku diethyl- $\gamma$ -methylureidosukcinátu **III** (synonymicky 2-(*N,N'*-dimethylureido)sukcinátu). Ten se působením kyseliny cyklizuje na (1,3-dimethylhydantoin-5-yl)octovou kyselinu (schéma 16).

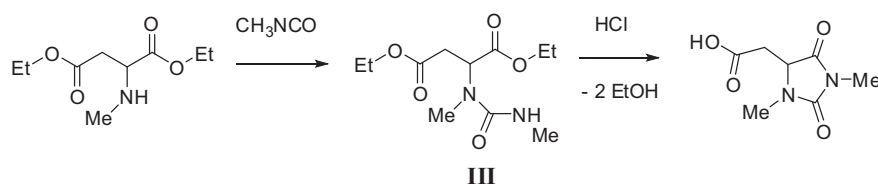


Schéma 16

Reakce se zpětným otevřením kruhu zde nebyla pozorována.

To, že takovéto cyklizace lze katalyzovat kyselinami, je pravděpodobně obecnější jev, jak plyne z kinetické studie vzniku derivátů hydantoinu z derivátů hydantoinových kyselin<sup>22</sup> (schéma 17), kdy byl sledován vliv substituentů R<sup>1</sup> až R<sup>3</sup>.

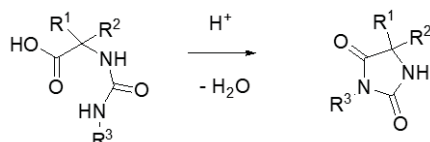


Schéma 17

Reakcí kyseliny *N*-arylasparagové s isokyanátem sodným v prostředí kyseliny octové a následnou cyklizací vzniklého meziproductu (jeho strukturu autoři neuvádějí) působením kyseliny chlorovodíkové vzniká opět derivát hydantoinu<sup>23</sup> (schéma 18). Zde jde o analogii zmíněné Urechovy syntézy<sup>15</sup>.

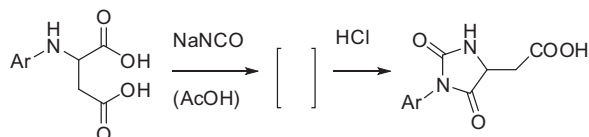


Schéma 18

Zdá se tedy, že anorganický isokyanát je schopen reakce s aminovou skupinou v poloze 2 vzhledem ke karboxylu i v případě, že aminová skupina je substituovaná a molekula substrátu obsahuje ještě jeden karboxyl.

Tvorbě cyklů spolehlivě nezabrání ani bazické prostředí, i to může cyklizaci za určitých podmínek katalyzovat. Kinetika bazicky katalyzované cyklizace esterů hydantoinových kyselin ve vodě a methanolu byla studována<sup>24</sup> na řadě derivátů s různými substituenty R<sup>1</sup> až R<sup>4</sup> (schéma 19).

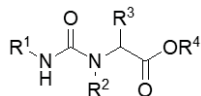


Schéma 19

Je-li R<sup>4</sup> methyl nebo ethyl, R<sup>2</sup> vodík a R<sup>1</sup> vodík nebo methyl, pak je cyklizace doprovázena hydrolyzou esterové skupiny, u jiných derivátů nikoliv. V naprosté většině případů jde o specifickou bazickou katalýzu, nikoli obecnou.

V navazující práci<sup>25</sup> je popsána kinetika bazicky katalyzované cyklizace substituovaných amidů a nitrilů hydantoinových kyselin ve vodě a v methanolu (schéma 20).

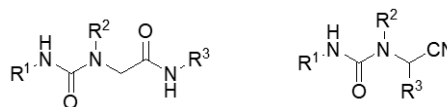


Schéma 20

Amidy hydantoinových kyselin však v bazickém prostředí cyklizují o několik řádů pomaleji než estery, což má ten následek, že konkurenční hydrolyza amidu vede ke kyselině stejně jako hydrolytické otevření již vzniklého hydantoinu (schéma 21).

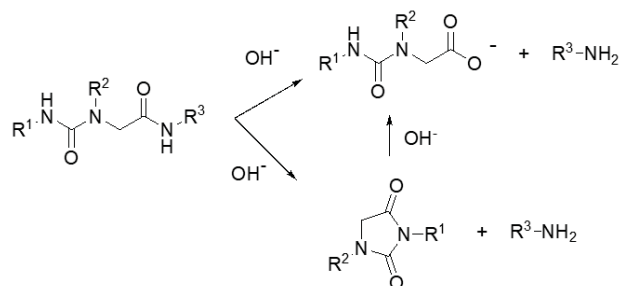


Schéma 21

V současnosti nelze předpovědět, zda by tyto poznatky, tj. přednostní vznik acyklického produktu za bazické katalýzy v případě, že místo esterové skupiny je v molekule skupina amidová, případně nitrilová, mohly být aplikovány i na adukty *N*-substituovaných aspartátů s isokyanáty; může to však být jeden ze způsobů řešení tohoto problému.

Hydantoinamidy za kyselých katalýz dle očekávání cyklizují, jak je popsáno ve třetí ze série prací z tohoto pracoviště<sup>26</sup> (schéma 22).

Hydantoinový cyklus lze samozřejmě připravit i mnoha jinými cestami, např. syntézou z karbonylových sloučenin přes substituované nitrily aminokyselin<sup>27</sup>, kon-

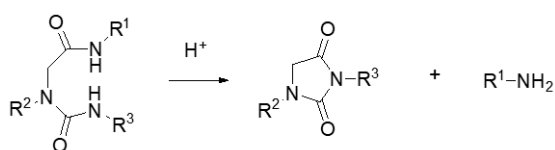


Schéma 22

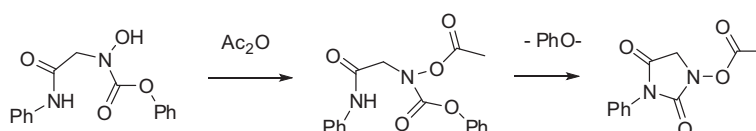


Schéma 23

trakcí uracilového kruhu, např.<sup>28</sup>, anebo z *N*-hydroxy-fenylurethanů acetylací a odštěpením fenolátu<sup>29</sup> (schéma 23). Ale tyto postupy zde nebudou podrobněji uváděny.

### 3.2. Některé důležité reakce hydantoinu a jeho derivátů

Otevření hydantoinového kruhu, probíhající za určitých podmínek alkalickou hydrolyzou za vzniku ureidokyseliny již bylo zmíněno. Pro tuto reakci byly navrženy dva mechanismy: atak hydroxylového aniontu může probíhat buď na volný hydantoinový kruh nebo na jeho N-3 anion (cit.<sup>30,31</sup>) (schéma 24).

Z reakcí potenciálně důležitých pro syntézu polyaspartátových pryskyřic lze dále uvést N-alkylaci. Ta probíhá snadno na N-3 (imidový dusík cyklu) působením alkylhalogenidů v alkalickém prostředí, případně reakcí s dimethylsulfátem nebo diazomethanem. Alkylace výlučně na N-1 (amidový dusík) je obtížnější a obvykle je nutné N-3 nejprve vhodným způsobem chránit<sup>32</sup>.

Alkylaci lze provést i za podmínek Mannichovy reakce<sup>33</sup> (schéma 25).

N-Acylace hydantoinu, např. acetanhydridem, začíná na amidovém dusíku a pak pokračuje i na dusíku imidovém<sup>11</sup>.

Další možnost chemické proměny hydantoinu nabízí redukční působení LiAlH<sub>4</sub>, čímž vzniká široké spektrum produktů v závislosti na druhu a počtu substituentů.

### 3.3. Vliv vodíkových vazeb

Jak již bylo zmíněno v úvodu, důležitou roli při reakcích NH skupin aspartátů s isokyanáty hrají vodíkové můstky mezi aminovým vodíkem a nejbližším karbonylovým kyslíkem<sup>34</sup>, které lze znázornit jako součást pětičlenného cyklu (schéma 26).

Tyto můstky dále přispívají k vítanému snížení rychlosti vytvrzování. Velkou roli zde hraje vliv rozpouštědla, přesněji jeho schopnost můstky narušovat nebo posilovat.

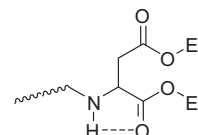


Schéma 26

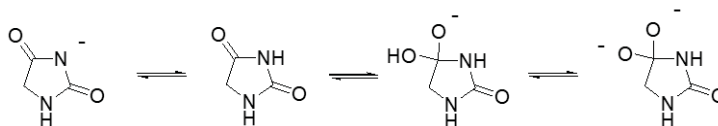


Schéma 24

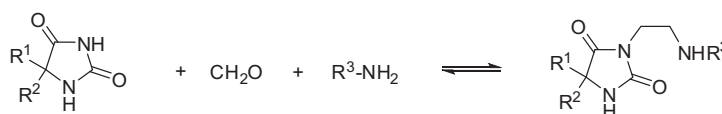


Schéma 25



#### 4. Předpoklady pro chystaný výzkum

Z předloženého literárního přehledu plyne, že pro úspěšné nalezení podmínek, za kterých se při reakci vhodného N-substituovaného aspartátu s isokyanátem lze vyhnout vzniku cyklů a uvolnění alkoholu, bude nutné provést sérii pokusů a testované podmínky měnit v širokém rozsahu. Jde zejména o zjištění vlivu formy, v jaké budou karboxylové skupiny aspartátu (ester, amid, nitril), dále zkoumání vlivu hodnoty pH, teploty, vzájemného výchozího poměru reaktantů a stupně zředění i druhu rozpouštědla (a jím ovlivněné vodíkové vazby), apod. Podle předběžných experimentů se zdá, že průběh těchto reakcí a zejména obsah minoritních produktů ve směsi je na tyto podmínky velmi citlivý. Pro počáteční studie bude nutné použít vhodný jednoduchý model, např. reakci diethyl 2-(cyklohexylamino)sukcinátu (synonymicky: diethylesteru kyseliny N-cyklohexylasparagové, srov.<sup>7</sup>, kde cyklohexyl simuluje rozměrnou rostoucí molekulu přítomnou v reálném systému bis-aspartát/triisokyanát) s butylisokyanátem, případně jiným jednoduchým monoisokyanátem. Jako vedlejší cíl pro základní výzkum by bylo zajímavé ověřit, zda a za jakých podmínek může vznikat šestičlenný cyklus, tj. derivát dihydrouracilu.

*Institucionální podpora ÚMCH AV ČR, v. v. i., RCO: 61389013.*

#### LITERATURA

1. <https://www.scribd.com/document/235520186/12-18-13-Polyaspartic-Webinar-Protective-and-Marine>, staženo 16. 1. 2021.
2. <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyaspartic>, staženo 24. 8. 2021.
3. Howarth G.: Surf. Coat. Int., Part B 86, 111 (2003).
4. <https://solutions.covestro.com/en/highlights/articles/theme/product-technology/pasquick>, staženo 24. 8. 2021.
5. Clemo G. R., Graham S. B.: J. Chem. Soc. 1930, 213.
6. Nozaki K.: J. Am. Chem. Soc. 63, 2681 (1941).
7. Bláha M., Trhlíková O., Podešva J., Abbrent S., Steinhart M., Dybal J., Dušková Smrčková M.: Tetrahedron 74, 58 (2018).
8. Podešva J., Hrubý M., Trhlíková O., Dušková Smrčková M., Chmelíková D.: Chem. Listy 112, 117 (2018).
9. Meusel M., Gütschow M.: Org. Prep. Proced. Int. 36, 391 (2004).
10. López C. A., Trigo G. G.: Adv. Heterocycl. Chem. 38, 177 (1985).
11. Ware E.: Chem. Rev. 46, 403 (1950).
12. Kleinpeter E.: Struct. Chem. 8, 161 (1997).
13. Cho S., Kim S.-H., Shin D.: Eur. J. Med. Chem. 164, 517 (2019).
14. <https://en.wikipedia.org/wiki/Hydantoin>, staženo 24. 8. 2021.
15. Urech F.: Ann. Chem. Pharm. 165, 99 (1873).
16. Read W. T.: J. Am. Chem. Soc. 44, 1746 (1922).
17. Biltz H.: Ber. Dtsch. Chem. Ges. 43, 1511 (1910).
18. Biltz H., Max F.: Justus Liebigs Ann. Chem. 423, 295 (1921).
19. Poje M., Paulus E. F., Rocic B.: J. Org. Chem. 45, 65 (1980).
20. Pojarlieff I. G.: Tetrahedron 23, 4307 (1967).
21. Rutkovskij G. V., Ivin B. A., Sočilin E. G., Cereteli I. Ju.: Ž. Obšč. Chim. 40, 389 (1970).
22. Stella V., Higuchi T.: J. Org. Chem. 38, 1527 (1973).
23. Baltrushis R. S., Beresnevichyus Z.-I. G., Vizgaitis I. M., Gatilov Yu. V.: Khim. Geterotsikl. Soedin. 1981, 1669.
24. Kaválek J., Macháček V., Svobodová G., Štěrba V.: Collect. Czechoslov. Chem. Commun. 51, 375 (1986).
25. Macháček V., Svobodová G., Štěrba V.: Collect. Czechoslov. Chem. Commun. 52, 140 (1987).
26. Kaválek J., Macháček V., Svobodová G., Štěrba V.: Collect. Czechoslov. Chem. Commun. 52, 1999 (1987).
27. Bucherer H. T., Steiner W.: J. Prakt. Chem. 140, 291 (1934).
28. Senda S., Hirota K., Banno K.: Tetrahedron Lett. 15, 3087 (1974).
29. Hell S. C., Conklin G., McCaully R. J.: J. Heterocycl. Chem. 13, 51 (1976).
30. Ivin B. A., Rutkovskii G. V., Andreev S. A., Sochilin E. G.: Zh. Org. Khim. 9, 2194 (1973).
31. Blagoeva I. B., Pojarlieff I. G., Dimitrov V. S.: J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2, 887 (1978).
32. Orazi O. O., Corral R. A., Schuttenberg H.: J. Chem. Soc. Perkin Trans. 1, 219 (1974).
33. Orazi O. O., Corral R. A.: Tetrahedron 15, 93 (1961).
34. Williams C. T., Wicks D. A., Jarrett W. L.: J. Coat. Technol. Res. 6, 37 (2009).

**J. Podešva, M. Dušková Smrčková, and O. Trhlíková** (*Institute of Macromolecular Chemistry, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague*): **Role of Hydantoin Derivatives in Syntheses of Polyaspartates**

Polyaspartates are industrially important resins formed by reactions of N-substituted 2-aminosuccinates (or, synonymously, N-substituted aspartates) with isocyanates. To obtain sufficiently crosslinked networks, applicable as coatings, bis-aspartates with two secondary NH groups and isocyanates with more than two NCO groups in their molecules must be used. There are two major problems connected with these preparations: (i) bis-aspartates which are mostly synthesized by the aza-Michael addition of NH<sub>2</sub> groups of a suitable diamine to C=C bonds of a maleate ester almost always contain a certain amount of a fumarate ester (usually a few percent) as a result of the Z→E isomerization, unavoidably accompanying the addition; this deteriorates the quality of the resulting product; (ii) during the reaction of bis-aspartate with isocyanate,

hydantoin rings are often formed to some extent in addition to the desirable three dimensional structures; the presence of these rings decreases the attainable network density. In this review, those properties, syntheses, and reactions of hydantoin are summarized which could be useful for finding conditions to avoid the formation of hydantoin rings.

Fulltext of this article is available on the website of this Journal.

Keywords: hydantoin, polyaspartates, coatings, polyurea

● Podešva J., Dušková Smrčková M., Trhlíková O.: Chem. Listy 116, 215–222 (2022).

● <https://doi.org/10.54779/chl20220215>

#### *Acknowledgements*

*The authors acknowledge the institutional support of the Institute of Macromolecular Chemistry of the Czech Academy of Sciences, RVO: 61389013.*

## O ZÁZRÁKU PŘÍRODY Z ŘEPKOVÉHO PYLU

MICHAL JURÁŠEK a PAVEL DRAŠAR

Ústav chemie přírodních látek, Vysoká škola chemicko-  
technologická, Technická 5, 166 28 Praha 6  
drasarp@vscht.cz

Došlo 25.5.21, přijato 15.11.21.

Klíčová slova: brassinosteroid, brassinolid, rostlinný  
regulátor, bioracionální agrochemikálie

● <https://doi.org/10.54779/chl20220223>

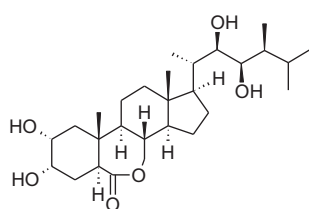
Brassinosteroidy (brassinolidy, BS) jsou specifické rostlinné polyhydroxylované deriváty 5 $\alpha$ -cholestanu, strukturně podobné živočišným steroidním hormonům odvozeným od cholesterolu, polyhydroxylovaným žlučovým kyselinám<sup>1</sup> a ekdysteroidům hmyzu<sup>2</sup>. Vyznačují se *cis*-diolem na kruhu A v poloze na C-2 a C-3, hydroxylovaným bočním řetězcem, „all-*trans*“ anelací a oxidací na kruhu B. Kruh B obsahuje buď sedmičlenný lakton (např. brassinolid) nebo šestičlenný keton (např. kastasteron). BS se nacházejí ve velmi malých koncentracích prakticky ve všech částech rostlin, zejména pak v pylu, semenech, listech a mladých vegetativních tkáních v celé rostlinné říši<sup>3</sup>. První biologicky aktivní rostlinný BS byl izolován<sup>4</sup> v množství 4 mg ze 40 kg pylu brukve řepky *Brassica napus* v roce 1979. Podstata vzešla ze starobylé praxe, kdy

pěstitelé zalévali svoje kultury zálivkou obsahující rostlinný pyl ku zlepšení pěstitelských výsledků. Během doby bylo zjištěno, že se podobné látky ze skupiny těchto polyhydroxylovaných steroidů nacházejí prakticky ve všech rostlinách a že skupina obsahuje více než stovku příbuzných látek. Důkladným studiem, a to i na polních pokusech, bylo zjištěno, že tyto látky v nepatrných koncentracích (téměř „homeopatických“) mají významný a pozitivní vliv na úrodu, ať již tím, že zlepšují růst, výtěžnost, ale i odolnost rostlin.

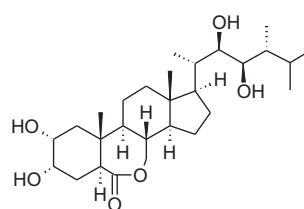
Výzkum BS vždy omezovala jejich malá dostupnost v přírodě a syntetická obtížnost, syntézu v provozním měřítku se však podařilo vyřešit ať již využitím buněčných kultur<sup>5</sup> nebo částečnou syntézou<sup>6</sup>. Zájem o tuto skupinu látek stále roste<sup>7</sup>. Web of Science na dotaz „brassinolide“ odpovídá 1309 a „brassinosteroid“ 4566 citacemi. Když Pavel Kočovský začátkem 80. let minulého století, coby „mladý voják“, navrhl šéfovi, že by bylo užitečné takové látky syntetizovat, byl stroze odmítnut.

Exogenní aplikace BS na rostliny v nanomolárních až mikromolárních koncentracích má široké spektrum růstových odpovědí, jako je prodloužení stonku, inhibice růstu kořenů, podpora dělení buněk a zvýšení odolnosti proti stresu způsobené změnami v enzymové aktivitě a genové expresi, nicméně v některých případech záleží na koncentraci a druhu rostliny; nízké koncentrace naopak růst kořenů mohou podporovat.

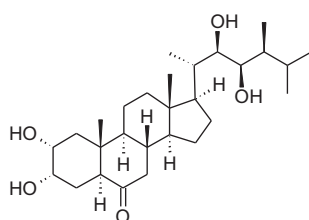
U rostlin BS zvyšují syntézu dalších fytohormonů, podporují individuální expanzi buněk a proteinovou syntézu, aktivují fotosyntézu pomocí klíčových enzymatických reakcí, a tím zvyšují růst, vývoj a stabilitu rostlin.



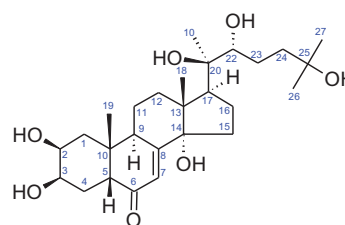
brassinolid



24-epibrassinolid



kastasteron



20-hydroxyekdyson s číslováním uhlíků

V zemědělství se aplikují v extrémně nízkých, téměř „homeopatických“ dávkách (např. 5–50 mg/ha), jsou ekologicky bezpečné, netoxické ve vztahu k lidem, savcům, užitečnému hmyzu a rybám.

V posledních letech poskytla biochemická a genetická analýza přesvědčivé důkazy o zásadní roli BS ve vývoji rostlin. Jako biologicky aktivní sloučenina pro použití v zemědělství byl první brassinosteroid, 24-epibrassinolid, registrován<sup>8</sup> v EU až v roce 2021 s tím, že „*S ohledem na jedno či více reprezentativních použití alespoň jednoho přípravku na ochranu rostlin obsahujícího dotčenou účinnou látku, a zvláště pak použití, jež byla zkoumána a podrobně popsána ve zprávě o přezkumu, bylo zjištěno, že kritéria pro schválení stanovená v článku 4 nařízení (ES) č. 1107/2009 jsou splněna. Komise se dále domnívá, že 24-epibrassinolid je účinnou látkou představující nízké riziko ... Proto ... účinná látka 24-epibrassinolid ... se schvaluje*“. V ČR povolení pro použití v zemědělství BS zatím nemají, protože jsou posuzovány jako hnojiva a nepodařilo se prokázat, že by měly účinné vlastnosti této skupiny látek, přestože, podle zákonných ustanovení bylo prokázáno, že koncentrace arsenu, kadmia, chromu, rtuti a olova v předložených vzorcích byly „nižší“ než požadované limity, což je vcelku logické, protože v BS žádné těžké kovy nejsou.

Fakt, že po aplikaci BS rostliny odolávají suchu, přílišné vlhkosti, zasolení půdy a že významně zvyšují úrodu zemědělsky i lesnický důležitých rostlin, nenašel sluchu ani na Ministerstvu zemědělství ČR. Použití 24-epibrassinolidu v zemědělství je však dnes již povoleno v řadě států, mj. i v USA<sup>9</sup>. V Bělorusku, kde se výrobce setkal s podobným úředním postupem jako v ČR, byla tato látka, v souladu s příslušnými předpisy, registrována nakonec i jako hnojivo<sup>10</sup>.

Přípravky s BS lze považovat za reprezentativní zástupce nové generace bioracionálních agrochemikálií, které nemají žádný vliv na životní prostředí, působí přírodními dávkami a přírodním způsobem<sup>11</sup>. Tradičně se účastní potravinových řetězců lidí a savců, neb jejich metabolická cesta je pro ně evolučně obvyklá. Obsah BS

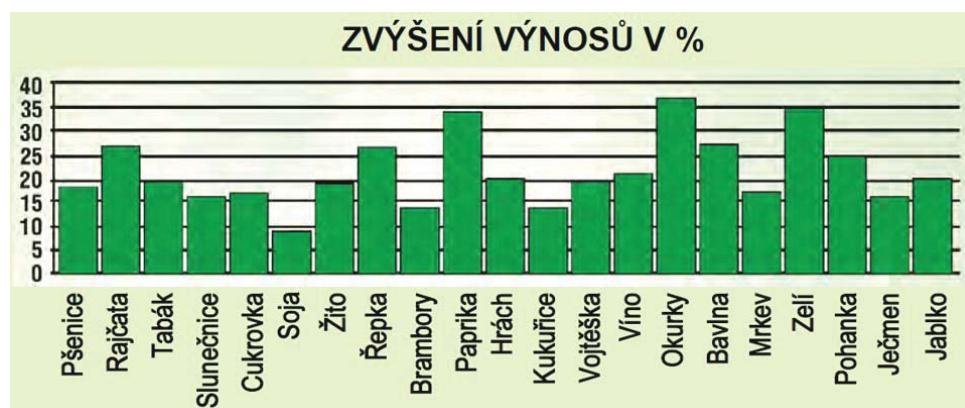
v rostlinách se zvyšuje během prvních 12 až 14 dnů po ošetření, pak během následujících 10 dnů se přípravek zcela metabolizuje. Hlavními metabolity jsou steroidní glykosidy. Rostliny musí být ošetřeny ve vhodné fázi vývoje; dobré výsledky poskytuje aplikace u mladých rostlin. K dispozici jsou dva režimy použití: namáčení semen, řízků a postřik listů. Vcelku lze shrnout dlouhodobé výsledky při pěstování rostlin, BS jsou zodpovědné zejména za:

- zvýšení výtěžnosti (obr. 1), výnosů a zlepšení kvality produkce (komerčního vzhladu, ornamentální hodnoty květů), tvorby květového stonku, posílení stability sazenic, růstu kořenů, zrychlení zakořeňování řízků a zlepšení jejich kvality, zlepšení využití dusíku, zvýšení výnosů semen a hlíz, obsahu proteinů, lepku, esenciálních aminokyselin apod., olejů, cukrů a vitamínů, kvality vlákna, počtu ročních výhonků a fotosyntetické kapacity,
- zrychlení a zlepšení klíčivosti, formování uniformních stonků, snížení tvorby vadných rostlin, zkrácení doby vegetace,
- omezení poškození způsobených nemocemi, houbami a hnilobou,
- zvýšení efektivity hnojení, snížení akumulace nitrátů, snížení poškození pesticidy,
- zvýšení odolnosti rostlin k suchu, mrazu a přebytku vody, zasolení.

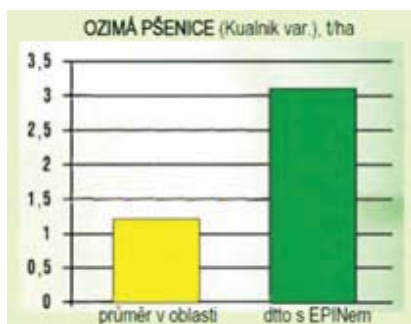
V podmínkách sucha může být aplikace BS kriticky důležitá pro produktivitu. Příkladem může být např. použití prostředku s 24-epibrassinolidem EPIN v Moldavsku v roce 2007 (viz obr. 2).

Popularitu prostředků s BS pro zemědělství i zahrádkáře lze snadno vidět, pokud do internetového vyhledávače zadáme heslo „эпин“ (epin v azbuce).

BS mají řadu biologických vlastností a účinků i mimo hájemství rostlin. Fakt, že BS pozitivně ovlivňují lidské zdraví byl mnohokrát zdokumentován<sup>12–14</sup>, a to i v případě, že přicházejí z běžné potravy<sup>15</sup>. V zemích bývalého SSSR je 24-epibrassinolid dokonce registrovaným prostředkem jako „bylinný stimulant pro elitní sportovce“ a prostředek



Obr. 1. Zvýšení výnosů některých plodin po aplikaci BS (cit.<sup>16</sup>)



Obr. 2. Zvýšení úrody pšenice za katastrofálního sucha v Moldavsku v roce 2007 po ošetření BS (cit.<sup>16</sup>)

pro navození „well being“<sup>16</sup> s tím, že není antidopingovou agenturou považován za prostředek dopingů<sup>17</sup>; je široce distribuován pod obchodním názvem Фитонол (Fitonol)<sup>18</sup> s obsahem 25–40 µg v kapsli (obr. 3). Doporučuje se aplikace max. 75 µg denně.

Americký patent přináší objev používající BS k navození anabolicky příznivého stavu pro růst, opravu a údržbu kosterního svalstva a kůže<sup>19</sup> v koncentracích již od 0,01 µM a dávkách od 0,1 mg kg<sup>-1</sup> týdně. Bylo též patentováno, že BS mohou být užitečné v regulaci cholesterolu tím, že snižují hodnoty LDL a zvyšují úroveň HDL (cit.<sup>20</sup>). Japonský patent nárokuje preventivní účinek BS proti arterioskleróze v koncentraci 20 µM (cit.<sup>21</sup>). Podobně jako strukturně příbuzné ekdysteroidy<sup>2</sup> působí BS i jako anabolika a adaptogeny<sup>22,23</sup> a přirozeně mají vliv na vývoj hmyzu<sup>14</sup>. Prokázána byla i velmi pozitivní role BS na rybí chovy<sup>14,24</sup>.

K výše citovaným vlastnostem byla dále nalezena antivirová aktivita těchto sloučenin proti RNA a DNA virům. Některé ze sloučenin vykazovaly při testování proti viru Junin (JV) (*Arenaviridae*) 10 až 18krát vyšší index selektivity (SI) než ribavirin, širokospektrální antivirová sloučenina; dobrá antivirová aktivita proti viru spalniček (MV) (*Paramixoviridae*), s hodnotami SI také vyššími než ribavirin používaný jako referenční léčivo, a podobná nebo nižší aktivita proti *herpes simplex* typu 1 a 2 (HSV-1 a HSV-2) (*Herpesviridae*) ve srovnání s foscarnetem nebo acyklovirem<sup>25</sup>. Bylo zjištěno, že mohou mít vliv na odvrá-



Obr. 3. Fitonol (cit.<sup>18</sup>)

cení mnohočetné lékové rezistence<sup>26</sup>, např. u lidské T lymfoblastoidní buněčné linie CCRF-VCR1,000.

Je široce popsáno, že BS mají vhodné terapeutické vlastnosti proti rozvoji rakoviny a ukazují potenciál pro vývoj nových protinádorových léků<sup>27,28</sup>. BS s fluorovaným postranním řetězcem však mají protirakovinnou aktivitu zanedbatelnou<sup>29</sup>, podobně jako deriváty fluorované na skeletu<sup>30</sup>. Nefluorované BS vykazaly, v mikromolárních koncentracích, schopnost inhibovat růst několika lidských rakovinných buněčných linií, aniž by ovlivňovaly růst buněk normálních<sup>27</sup>. Zejména pak sám brassinolid byl schopen indukovat apoptózu v prostatické buněčné linii PC-3 nezávislé na androgenech v koncentracích již od 20 µM, a proto byl navržen k prevenci nebo léčbě pokročilé rakoviny prostaty<sup>31</sup> a lékově rezistentních malobuněčných karcinomů plic<sup>32</sup>. 24-Epibrassinolid mění signální osu PI3K/MAPK aktivací apoptózy zprostředkované mitochondriemi navozenou Foxo3 v buňkách rakoviny tlustého střeva<sup>33</sup>. BS prokázaly schopnost navodit apoptózu rakoviny prostaty<sup>34</sup> a prsu<sup>35</sup>. Existují náznaky, že BS lze použít při léčbě stavů souvisejících s androgeny, jako je benigní hyperplazie prostaty a androgenní alopecie<sup>36</sup>.

K zajímavým zjištěním patří to, že BS jsou spojovány se schopností navodit rezistenci proti virům<sup>37</sup>, bakteriím, řasovkám (oomycety), ale i houbám a plísním<sup>12,38</sup>. BS jsou považovány za vážné kandidáty na prostředky s antivirovou aktivitou a při léčení pacientů trpících herpetickými a virovými chorobami<sup>39</sup>, včetně HIV<sup>40</sup>.

Bylo zjištěno pomocí inhibice inkorporace <sup>86</sup>Rb<sup>+</sup> do lidských erytrocytů, že BS inhibují Na<sup>+</sup>K<sup>+</sup> dependentní ATPasu, avšak v menší míře než digitoxin<sup>41</sup>. Bylo též popsáno, že BS s fluorovaným postranním řetězcem vykazují GABA<sub>A</sub> aktivitu srovnatelnou s endogenním neurosteroidem allopregnanolonem<sup>29</sup>.

Bylo popsáno, že BS vykazují antiglykemickou aktivitu u diabetických potkanů, zlepšují hladinu RBC, WBC, krevních destiček, hladinu hemoglobinu a snižují poškození buněk u chorob, jako jsou zánětlivé onemocnění střev, alergické reakce a leukémie nebo myeloproliferativní neoplazma u lidí<sup>42</sup>.

Přinášíme tento příspěvek jako učební text popisující různé zajímavé aspekty chemie přírodních látek<sup>43–45</sup> i proto, že chceme takto reagovat na množství smyšlenek, polopravd a nesmyslů, které jsou kolem přírodních sloučenin dnes šířeny. Je nábílední, že zkoumání přírodních látek, jakožto látek z obnovitelných zdrojů, je jednou z cest, jak laciným a efektivním způsobem přispět ku všeobecnému prospěchu<sup>46,47</sup>. Pokud se tak činí s přírodní látkou, která má navíc zanedbatelnou toxicitu, téměř nulové kontraindikace a která je lidstvem používána po tisíce let, je jen dobře.

Sekundární metabolity jako BS z obnovitelných zdrojů mají širokou biologickou účinnost a minimální toxicitu (LD<sub>50</sub> pro 24-epibrassinolid je vyšší<sup>14</sup> než 5000 mg kg<sup>-1</sup>) jsou studnicí možností pro budoucí využití v humánní, zemědělské i lesnické praxi. Brassinosteroidy jsou první skupinou steroidních hormonálních sloučenin izolovaných z rostlin a působících v rostlinách. Mezi četnými fyziologickými účinky jsou stimulace růstu a adaptogenní aktivita

ovlivněné BS obzvláště pozoruhodné. V dnešní době existuje mnoho důkazů o tom, že BS mají podobné typy aktivity i mimo rostlinnou říši ba i v lidské bioregulaci<sup>48</sup> a k takové osvětě chtěl přispět i tento článek.

## LITERATURA

1. Vecka M., Žák A., Staňková B., Fojtíková Š., Tomášová P., Kutová S.: *Chem. Listy* 113, 82 (2019).
2. Jurášek M., Opletal L., Harmatha J., Sláma K., Drašar P.: *Chem. Listy* 115, 595 (2021).
3. Bajguz A., Tretyn A.: *Phytochemistry* 62, 1027 (2003).
4. Grove M. D., Spencer G. F., Rohwedder W. K., Mandava N., Worley J. F., Warthen J. D., Steffens G. L.: *Nature* 281, 216 (1979).
5. Saimoto H., Otsuka M., Yamamoto M., Kawashima M., Fujioka S., Sakurai A., Yokota T., Shono K.: US5084388A (1989).
6. Khripach V. A.: *Pure Appl. Chem.* 62, 1319 (1990).
7. Mohanta T. K., Mohanta Y. K., Yadav D., Hashem A., Abd Allah E. F., Al-Harrasi A.: *Plants-Basel* 9, 1248 (2020).
8. Prováděcí nařízení komise (EU) 2021/427 ze dne 10. března 2021.
9. US EPA: Reg. No. 92983-2 (2019).
10. Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, Main State Inspection for seed, breeding, quarantine and plant protection: Certificate No. 4390; Number of state registration 10-0022 (2020).
11. Ali B.: *Scientia Horticulturae* 225, 15 (2017).
12. Kohli S. K., Bhardwaj A., Bhardwaj V., Sharma A., Kalia N., Landi M., Bhardwaj R.: *Biomolecules* 10, 572 (2020).
13. Asami T.: *Kagaku Kogyo* 57, 672 (2006).
14. Zhabinskii V. N., Khripach N. B., Khripach V. A.: *Steroids* 97, 87 (2015).
15. Di Gioia F., Petropoulos S. A.: *Adv. Food Nutr. Res.* 90, 351 (2019).
16. Свидетельство о государственной регистрации ВУ.70.07.01.003.Е.005463.05.11, 27.05.2011.
17. Национальное антидопинговое агентство Республики Беларусь: О разрешении применения эпибрассинолида в спорте № 79, 13.05.2008.
18. [https://bizon.by/index.php?\\_route\\_=fitonol\\_100](https://bizon.by/index.php?_route_=fitonol_100), staženo 16. 4. 2021.
19. Raskin I., Esposito D., Komarnytsky S., Rathinasabapathy T., Castillo L. R.: US 20140128357 (2014).
20. Khripach V., Altsivanovich K., Zhabinskii V., Samusevich M.: US6998397B2 (2004).
21. Ogawa K., Nakano Y., Seto H., Asami T., Tsujimoto M.: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 2009046443* (2009).
22. Khripach V. A. a 14 spoluautorů: *Eurasian (Pat. Doc.) EA 17344 B1 20121130* (2012).
23. Esposito D., Komarnytsky S., Shapses S., Raskin I.: *FASEB J.* 25, 3708 (2011).
24. Vitvitskaya L. V., Nikonorov S. I., Tikhomirov A. M., Zagriichuk V. P., Abtakhii B., Vorobeve E. I.: *Dokl. Akad. Nauk* 352, 842 (1997).
25. Wachsman M. B., Ramirez J. A., Talarico L. B., Galagovsky L. R., Coto C. E.: *Curr. Med. Chem.: Anti-Infect. Agents* 3, 163 (2004).
26. Xian L., Li Y., Liu R., Cao Q., Sun J.: *Yaoxue Xuebao* 40, 117 (2005).
27. Malíková J., Swaczynová J., Kolář Z., Strnad M.: *Phytochemistry* 69, 418 (2008).
28. Gupta A., Kumar B. S., Negi A. S.: *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* 137, 242 (2013).
29. Eignerová B., Slavíková B., Buděšínský M., Dračínsky M., Klepetářova B., Šťastná E., Kotora M.: *J. Med. Chem.* 52, 5753 (2009).
30. Slavíková B., Kohout L., Buděšínský M., Swaczynová J., Kasal A.: *J. Med. Chem.* 51, 3979 (2008).
31. Wu Y.-D., Lou Y.-J.: *Pharmazie* 62, 392 (2007).
32. Sadava D., Kane S. E.: *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 493, 783 (2017).
33. Coskun D., Obakan P., Coker-Gurkan A., Palavan-Unsal N., Arisan E. D.: *Exp. Cell Res.* 338, 10 (2015).
34. Steigerová J., Rárová L., Oklešťková J., Křížová K., Levková M., Šváchová M., Kolář Z., Strnad M.: *Food Chem. Toxicol.* 50, 4068 (2012).
35. Steigerová J., Oklešťková J., Levková M., Rárová L., Kolář Z., Strnad M.: *Chem.-Biol. Interact.* 188, 487 (2010).
36. Kitron A., Pergamentz R.: US8530435B2 (2011).
37. Calil I. P., Fontes E. P.: *Ann. Bot.* 119, 711 (2016).
38. Bajguz A., Hayat S.: *Plant Physiol. Biochem.* 47, 1 (2009).
39. Castilla V., Ramirez J., Coto C. E.: *Curr. Med. Chem.* 17, 1858 (2010).
40. Samusevich M., Khripach V., Altsivanovich K., Zhabinski V.: WO2006023073A1 (2004).
41. Stárka L., Schreiber V., Kohout L.: *Sborník Lékařský* 98, 21 (1997).
42. Athithan V., Ramesh R., Srikumar K.: *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* 10, 162 (2018).
43. Bejček J., Spiwok W., Kmoníčková E., Ruml T., Rimpelová S.: *Chem. Listy* 115, 4 (2021).
44. Jurášek M., Opletal L., Kmoníčková E., Drašar P.: *Chem. Listy* 115, 363 (2021).
45. Jurášek M., Opletal L., Drašar P.: *Chem. Listy* 115, 458 (2021).
46. Kaczorova D., Beres T., Zeljkovic S. C., Bjelkova M., Kuchar M., Tarkowski A. P.: *Chem. Listy* 114, 277 (2020).
47. Rádl S.: *Chem. Listy* 115, 246 (2021).
48. Olkkonen V. M., Béaslas O., Nissilä E.: *Biomolecules* 2, 76 (2012).

**M. Jurášek and P. Drašar** (*Department of Chemistry of Natural Products, University of Chemistry and Technology, Prague*): **About the Miracle of Nature from Rapeseed Pollen**

Secondary metabolites such as brassinosteroids (BS) from renewable sources having broad biological efficacy and minimal toxicity represent a rich well of possibilities

for future use in human, agricultural and forestry practices. BS are the first group of steroid hormone compounds isolated from plants and acting in plants. Among the numerous physiological effects, the growth stimulation and adaptive activity affected by BS are particularly noteworthy. Nowadays, there is much evidence that BS have similar types of activity outside the plant kingdom and even in human bioregulation.

Full text English translation is available in the on-line version.

Keywords: brassinosteroid, brassinolide, plant growth regulators, bio-based agrochemicals

• Jurášek M., Drašar P.: Chem. Listy 116, 223–227 (2022).

• <https://doi.org/10.54779/chl20220223>

## SKRYTÉ NEBEZPEČÍ OTĚROVÝCH ČÁSTIC

EVA ŠVÁBENSKÁ a PAVLA ROUPCOVÁ

Ústav fyziky materiálů AV ČR, v.v.i., Žitkova 22, 616 00 Brno  
svabenska@ipm.cz

Došlo 5.9.21, přijato 2.11.21.

Klíčová slova: brzdné destičky, frikční materiály, otěrové částice, analýzy

• <https://doi.org/10.54779/chl20220228>

### Obsah

1. Úvod
2. Frikční materiály
  - 2.1. Složení
  - 2.2. Metody pro analýzu
3. Emise spojené s dopravou
  - 3.1. Otěrové částice
  - 3.2. Identifikátory
4. Studium frikčních kompozitů na ÚFM
  - 4.1. Analýza brzdových destiček
  - 4.2. Analýza otěrových částic
5. Závěr

### 1. Úvod

S pojmem polétavý prach, PM10 a PM2,5 (PM – pevné částice z anglického názvu „particulate matter“) se můžeme setkat např. při předpovědi počasí. Nebezpečí těchto částic spočívá v jejich chemickém složení; například obsahují polycyklické aromatické uhlovodíky nebo těžké kovy. Chování prašného aerosolu v atmosféře a jeho zdravotní účinky ovlivňuje i morfologie, struktura a velikost částic. Téměř jedinou cestou expozice částic do lidského organismu je vdechnutí. Při normálním dýchání nosem je část zpětně vydechnuta a většina částic větších než 10  $\mu\text{m}$  je zachycena v oblasti nosohltanu. Nejmenší částice jsou pak deponovány v plicích a mohou proniknout až do krevního oběhu. Zvýšená koncentrace prašného aerosolu je spojována s výskytem respiračních chorob, snížením funkce plic, kardiovaskulárními nemocemi a někdy i s astmatem<sup>1</sup>.

Z důvodu ochrany zdraví byl nastaven imisní limit pro znečištění ovzduší. Roční imisní limit pro PM10 je 40  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Hodnota imisního limitu pro průměrnou 24hodinovou koncentraci PM10 je 50  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Pro částice o velikosti PM2,5, které jsou z hlediska lidského zdraví více nebezpečné<sup>2</sup>, platí roční imisní limit 25  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

Podle ročenky Českého hydrometeorologického ústavu pro rok 2019 (cit.<sup>2</sup>) se doprava na emisích v České republice podílela v případě frakce PM10 11,2 % a u frakce PM2,5 pak 11,1 %. Zdrojem znečištění ovzduší nejsou jen výfukové emise vznikající spalováním paliv v motorech automobilů<sup>3</sup>, ale i částice vznikající otěrem brzd, opotřebením pneumatik a vozovky. Svou roli hraje i resuspendace částic z povrchu vozovek. Otěr brzd je významným zdrojem emisí hlavně ve městech. Navíc s postupným snížením emisí výfukových plynů může jeho význam růst<sup>4–6</sup>.

V další části tohoto článku budou diskutovány otázky materiálů používaného pro výrobu brzdového obložení a otěrových částic. Problematika chemického a fázového složení bude demonstrována na příkladech analýz realizovaných na Ústavu fyziky materiálů AV ČR (ÚFM).

### 2. Frikční materiály

Materiály, užívané pro brzdové obložení automobilů, které mají za úkol korigovat pohyb vozů s využitím tření (frikce), označujeme jako frikční kompozity. Frikční materiály používané pro automobilový průmysl jsou považovány za jedny z nejkomplicovanějších kompozitních materiálů. Mohou obsahovat 10–25 různých složek v různém poměru<sup>7–9</sup>. Na obr. 1 jsou fotografie dvou odlišných frikčních kompozitů pořízené optickým mikroskopem (OM). Mají zcela odlišnou morfologii, barvu matrice, velikost a tvar použitých složek. Frikční kompozity se vzájemně značně liší. Svou roli hraje systém použitých brzd (kotoučové nebo bubnové), očekávaný styl jízdy (např. sportovní), ale především výrobce. Uvádí se, že výrobci frikčních materiálů používají až 700 druhů surovin<sup>8,9</sup>.

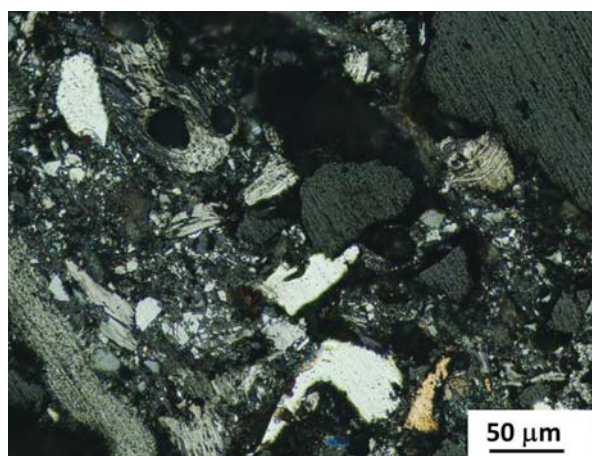
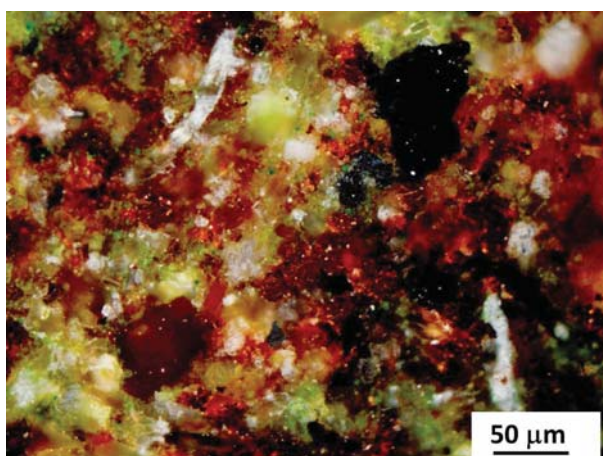
#### 2.1. Složení

Každá ze složek kompozitu má svoji jedinečnou funkci, kterou v kompozitu zastává. Komponenty lze rozdělit do několika skupin podle jejich účelu: na modifikátory tření, plniva, pojiva a výztuž<sup>7–9</sup>.

Modifikátory tření se dělí na abraziva a lubrikanty. V kompozitu zastávají zcela protichůdné úkoly. Abraziva (brusné materiály) mají za úkol zvýšit tření při brzdění, ale také odbrušovat tepelně ovlivněné části brzdových destiček a odstraňovat nečistoty zanesené mezi kontaktní plochy brzdového systému. Zajišťují stálost tvaru a složení kompozitu. Mají významný vliv na kvalitu brzdění. Lubrikanty (maziva) snižují tření a vyvažují podíl tření a prokluzu. Tyto materiály musí být stabilní za vysokých teplot, které vznikají v důsledku brzdění.

Abraziva tvoří až 10 % a lubrikanty 5–29 % objemu kompozitu. Jako abraziva se používají například korund ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), zirkon ( $\text{ZrSiO}_4$ ) a karbid křemíku (SiC). Lubri-





Obr. 1. Dva rozdílné vzorky frikčního kompozitu; optický mikroskop. Barevná verze obrázku je dostupná v „on-line“ podobě.

kanty, účinné i při vysokých teplotách, jsou sulfidy kovů ( $\text{PbS}$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) a grafit. Podobnou funkci zastávají i kovové drátky nebo prášky z mědi, železa a mosazi, jejichž hlavní funkcí je odvod tepla.

Plníva mají za úkol zlepšit zpracovatelnost, chemickou a tvarovou stálost, zvýšit tření a mimo to také snížit výrobní náklady bez zhoršení vlastností celého kompozitu. Jejich zastoupení je proto v širokém rozpětí od 15 do 70 % objemu. Používá se baryt ( $\text{BaSO}_4$ ), kalcit ( $\text{CaCO}_3$ ), magnézit ( $\text{MgCO}_3$ ), dolomit ( $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ), různé oxidy ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ale i jíly nebo fylosilikáty (muskovit, slída).

Úkolem pojiv je udržení konstrukční integrity brzdového obložení při mechanickém a tepelném namáhání. Podíl pojiva se pohybuje v rozmezí 20–40 %. Nejčastěji jsou používány fenol-formaldehydové pryskyřice a jejich modifikace.

Výztuž v podobě vláken poskytuje kompozitu vyšší mechanickou pevnost. V kompozitech může být zastoupena 6 až 35 % objemu. Dlouhou dobu, od 30. let 20. století až po přelom tisíciletí, se jako výztuž používala vlákna azbestu. Mají vynikající tepelnou a chemickou odolnost, jsou ohebná, pevná a nehořlavá. Azbest je tvořen vlákny mikrometrických rozměrů, které se snadno dostanou do dýchacích cest. Díky jehličkovitému tvaru i chemické stálosti dochází při vdechnutí k usazování v plicích a jejich opakovanému zjizvení, které může vést až k rakovinnému bujení<sup>10</sup>. Azbest je v současnosti ve většině zemí zakázán<sup>9,11</sup>. Dnes jsou jako výztuž používána vlákna jiná, např. minerál vermikulit, skleněná, keramická, kovová, uhlíková nebo organická (např. polyamidová, celulosová, kevlarová)<sup>7–9</sup>.

## 2.2. Metody pro analýzu

Přesné složení frikčních kompozitů nelze zjistit, protože se jedná o přísně střežená firemní tajemství. Představu o složení si můžeme udělat na základě článků, kde se testuje vlastní, laboratorně připravené brzdové obložení<sup>12,13</sup>.

Najdou se i články s analýzou komerčně vyrobených brzdových destiček<sup>14–16</sup>. Největší studii realizoval Hulskotte<sup>15</sup>, který použil 65 vzorků a Hjortenkrans<sup>16</sup> s 42 vzorky. V dalších studiích se bralo v úvahu pouze 5 a méně brzdových destiček<sup>17,18</sup>. V případě nízkého počtu vzorků je obtížné odhalit všechny potenciálně škodlivé sloučeniny, které se mohou uvolňovat při emisích ořetrových částic.

Metody analýzy frikčních kompozitů i ořetrových částic nejsou nijak sjednocené. Pro svou jednoduchost se k určení chemického složení používá metoda rentgenové fluorescenční spektroskopie (XRF)<sup>14,15,19</sup>. Využívá se i řádkovací elektronová mikroskopie doplněná o energeticky disperzní rentgenovou spektroskopii (SEM/EDX), kdy chemickou analýzu provádíme při mikroskopickém pozorování vzorku<sup>12,20,21</sup>. Atomová emisní nebo hmotnostní spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-AES/ICP-MS)<sup>6,14</sup> a atomová absorpční spektroskopie (AAS)<sup>16</sup> s sebou nesou komplikace v přípravě vzorků, které je nutné před analýzou rozdrtit a rozložit v různých kyselinách.

Fázové složení je standardně získáno metodou rentgenové práškové difrakce (XRPD)<sup>17,19</sup>. Při studiu ořetrových částic lze s výhodou využít transmisní elektronové mikroskopie (TEM)<sup>17,20,22</sup>, ale i Mössbauerovy spektroskopie (MSA)<sup>23,24</sup>, či dalších metod<sup>9,25</sup>.

Termogravimetrická analýza (TGA) v kombinaci s diferenční skenovací kalorimetrií (DSC) se využívá k popisu změn na vzorku vyvolaných nárůstem teploty. V případě frikčních kompozitů může docházet k rozkladu pojiva, oxidaci nebo rozkladu dalších složek<sup>9,19,26</sup>.

## 3. Emise spojené s dopravou

V blízkosti hlavních dopravních tahů, ve městech, ale i menších obcích, představují značný problém tzv. resuspendované částice neboli sekundární prašnost. Jedná se o částice usazené na povrchu vozovky, které jsou opakovaně při průjezdu vozidla nebo poryvu větru vyneseny do ovzduší a posléze se opět usadí zpět na povrch komunika-

ce. Podstatný podíl na sekundární prašnosti má kromě automobilové dopravy i stavební činnost a manipulace se sypkými materiály.

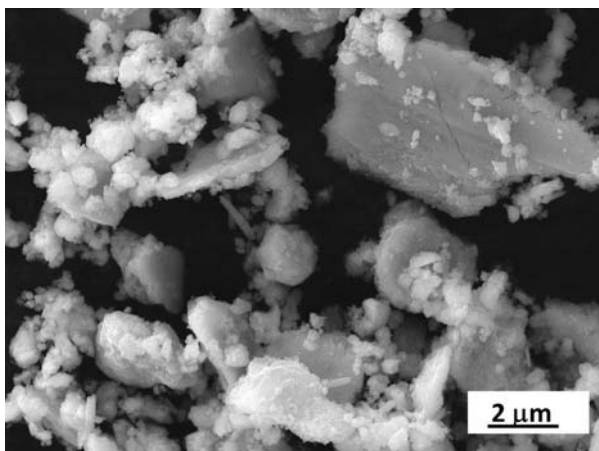
Vstupní údaje při hodnocení množství emisí lze získat různými přístupy. Asi nejběžnější je sledování množství a distribuce částic zachycených měřicími stanicemi. Využívá se i modelování, použití emisních faktorů, přímé měření emisí za vozidlem nebo kombinace výše uvedeného. Emisní faktory (EF) jsou funkční vztahy, které uvádí množství emisí uvolněné na jednotkový kilometr a vozidlo. Zohledňují vlastnosti vozidla, technologie regulace emisí, druh a kvalitu použitého paliva, provozní podmínky atd.<sup>27</sup> Různé studie udávají široké rozpětí EF od 1 po 8,8 mg km<sup>-1</sup> v<sup>z</sup><sup>-1</sup> pro frakci PM10 (cit.<sup>11</sup>).

### 3.1. Otěrové částice

Otěrové částice pocházející z brzdění jsou významným zdrojem emisí z dopravy. V městském prostředí může jejich podíl dosahovat až 55 % pro frakci PM10 nevyfukových emisí. Na celkových emisích souvisejících s dopravou se pak podílejí přibližně 21 % (cit.<sup>28</sup>).

Často opomíjeným faktem zůstává, že během brzdění dochází k otěru brzdových destiček i kotouče. Hulskotte<sup>15</sup> ve své práci uvádí, že 70 % opotřebených částic pochází z brzdového kotouče. S ohledem na tento fakt lze předpokládat vzájemný vztah mezi množstvím částic s obsahem železa emitovaných z disku a vyšší přítomnost abrazivních částic v brzdných destičkách. Výsledkem jsou různě velké otěrové částice, které se dostávají do okolního prostředí (obr. 2).

Velikost, tvar a složení částic souvisí s podmínkami při brzdění. Vliv má i místo vzorkování (městské aglomerace, příměstská oblast, venkov), povětrnostní vlivy, vzdálenost místa odběru vzorků od silnice<sup>29–31</sup>. S rostoucí vzdáleností od silnice klesá míra znečištění<sup>32</sup>. Současně se mění frakce částic i fyzikální procesy, které částice přenášejí<sup>33</sup>. Zhruba 50 % otěrových částic je menších než 20 μm (cit.<sup>17,18,28</sup>), zatímco 40 % částic je emitovaných ve formě PM10 (cit.<sup>18,34</sup>).



Obr. 2. Otěrové částice různého tvaru, velikosti a složení; elektronový mikroskop

Nosko<sup>35</sup> se zabýval vzájemným vztahem mezi počtem ultra-jemných částic a teplotou rotoru. Z jeho pozorování vyplývá, že se zvyšující se teplotou brzdného systému stoupá množství ultra-jemných částic. Zatímco při teplotách do 200 °C bylo množství částic neměřitelné, při teplotách nad 200 °C se už se jedná o desítky procent.

Otěrové částice pro analýzu lze získat několika různými způsoby: v reálných podmínkách odběrem vzorků prachu v exponovaných lokalitách, v laboratorních podmínkách při testování brzdových segmentů na dynamometru<sup>12,36</sup> nebo pomocí zařízení tzv. „pin-on-disc“<sup>15,35</sup>. Principem metody „pin-on disc“ je vtačování pevně uchyceného zkušebního tělíska („pin“) ve tvaru kuličky do disku (zkušební vzorku), který se zvolenou rychlostí otáčí. Částice jsou také zachytávány na filtrech v blízkosti dopravních tepen<sup>25,37</sup>. Další možností je vzorkování pomocí speciálně upraveného automobilu, kdy lze zaznamenávat i údaje o stylu jízdy<sup>38</sup>. Testy s upraveným automobilem se nejvíce blíží reálnému provozu. Na druhou stranu, nekompletnější informace poskytuje analýza částic zachycených na filtrech a vzorky z povrchů v blízkosti dopravních tepen. Nejvíce odráží emise celého vozového parku v reálných podmínkách jízdy v dané lokalitě<sup>27,37</sup>. Pro identifikaci částic pocházejících právě z brzd se využívá specifických indikátorů opotřebenosti tzv. „tracerů“.

### 3.2. Identifikátory

Jako indikátory znečištění částicemi vzniklými otěrem brzd jsou v literatuře uváděny různé prvky. Panují zde značné rozdíly a indikátory nejsou jednotné. Kolem roku 2010 byl hojně diskutovaný poměr prvků Sb/Cu, který sloužil k potvrzení brzd jako původce otěrových částic<sup>29,31,36,39</sup>. Hodnoty tohoto poměru nejsou fixní, ale liší se podle testovaných destiček a provedených studií.

V dnešní době je Sb zastoupen jen ve velmi malém procentu brzdových destiček, protože oxid antimonitý (Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) je považován za možný lidský karcinogen (2B dle IARC)<sup>40</sup> a současný trend je jeho podíl v brzdných destičkách omezit. Podobný problém se vyskytuje i u mědi, u které byl prokázán negativní vliv na některé vodní organismy a ryby<sup>11,41</sup>. Navíc je měď běžně používaný materiál, který lze nalézt v otěru z pneumatik, drátů trolejového vedení, v hnojivech i herbicidech. V brzdových destičkách byla měď zastoupena zhruba 8–15 hm.% a od jejího používání se ustupuje.

Vzhledem k postupnému omezování mědi a antimonu v brzdových destičkách je potřeba najít nové indikátory pro otěrové částice. Zajímavě se na první pohled jeví sledování obsahu železa<sup>4,37,42</sup>. Podle některých studií je až 60 % hrubé frakce tvořeno právě částicemi železa<sup>15,30</sup>. U submikronové frakce je podíl o něco nižší. Vyskytují se zde totiž ve velké míře uhlíkaté částice, které většinou tvoří shluky agregátů<sup>22,30</sup>. Částice železa vniklé mechanickým opotřebením mají ostré hrany a nepravidelný tvar<sup>17,24</sup>. Částice obsahující železo, převážně ve formě oxidů, se mohou do životního prostředí dostat i z mnoha jiných zdrojů<sup>11</sup>.

Do budoucna se nabízí řešení v podobě sledování barya<sup>43,44</sup>. Baryum ve formě síranu barnatého ( $\text{BaSO}_4$ ) je součástí brzdových materiálů. Není nebezpečné, proto se do budoucna neuvažuje o jeho nahrazení. Příkladem je studie kolektivu kolem Beddlovs<sup>44</sup>, kde bylo analyzováno Ba a Fe v otěru brzd pomocí hmotnostní spektrometrie s detektorem doby letu (TOF-MS). Práce navazuje na studium otěru pneumatik stejnou metodou. Avšak ne všechny brzdové materiály obsahují  $\text{BaSO}_4$ .

#### 4. Studium frikčních kompozitů na ÚFM

Na Ústavu fyziky materiálů AV ČR (ÚFM) probíhá studium frikčních materiálů zaměřené především na jejich fázové a chemické složení. V minulosti, v rámci Středoškolské odborné činnosti, proběhla i studie vlivu solných roztoků na degradaci brzdového obložení<sup>45</sup>.

##### 4.1. Analýza brzdových destiček

Na základě poznatků prezentovaných výše zde budou diskutovány výsledky pro čtyři různé brzdové destičky z vozů, které jsou významně zastoupené na našem území.

Chemická analýza metodou XRF je rychlá a efektivní, ale jen obtížně je schopna stanovit prvky, které jsou lehčí než sodík. Jedná se převážně o uhlík, kyslík, ale také vodík a fluor, které dále označujeme jako lehké prvky (LE).

Srovnáme-li podíl dominantních prvků, tj. kovů a LE (tab. I), vidíme jednu anomálii u vzorku 3. Ve všech ostatních vzorcích je podíl kovů (Fe, Cu, Sb) okolo 30 hm.%, a 40 hm.% náleží LE. Lze očekávat, že významný podíl v LE bude mít grafit a také prvky tvořící fenolformaldehydovou pryskyřici. Kovy budou v kompozitu zastoupeny v čisté podobě jako drátky odvádějící teplo a ve formě sulfidů a oxidů. Plnivo a abrazivní složka je zastoupena minerály pravděpodobně přírodního původu. V nich můžeme očekávat prvky, jako je hořčík, hliník, křemík, vápník

a fosfor a samozřejmě také podíl LE v podobě kyslíku, vodíku, fluoru atd. Přítomnost barya ukazuje na přítomnost barytu, což je unikátní složka, která se v přírodě vyskytuje pouze lokálně. Prvky nalezené ve stopovém množství, jako je např. chrom, můžeme očekávat jako příměs železných (ocelových) drátků, mangan a cín jako příměsi sulfidů a ostatní prvky jsou součástí minerálů.

U třetího vzorku v tab. I je podíl kovů pouze 18 hm.% ku 56 hm.% LE. Můžeme tedy očekávat, že v kompozitu bude výrazně vyšší množství pojiva (pryskyřice) a grafitu. Za zmínku stojí také vzorek 4, který jako jediný obsahuje „tracer“, tedy Cu a Sb v určitém poměru.

Zatímco podle chemické analýzy se tři frikční materiály jeví jako podobné, fázová analýza (tab. II) ukazuje značnou rozmanitost. Dle předpokladu je ve vzorku 3 větší množství amorfni fáze, pravděpodobně fenolformaldehydová pryskyřice ve funkci pojiva a vysoký podíl grafitu

Tabulka I

Výsledky XRF analýzy pro 4 různé frikční materiály (brzdové destičky), údaje uvedené v hm.%

Chemický prvek	Vzorek			
	1	2	3	4
Fe	33	26	13	14
Cu	0		5	13
Mg	4	6	4	1
Al	4	6	2	3
Si	4	2	3	2
Ca	1	4	8	3
Zn	1	4	0	6
Ba	7	5	6	3
Sb				7
Cr	0	1	0	1
S	4	6	3	6
LE	39	40	56	41

Tabulka II

Fázový podíl (hm.%) kompozitů získaný z XRPD pro čtyři různé frikční materiály (brzdové destičky)

Krystalografická fáze	Chemický vzorec	Vzorek			
		1	2	3	4
Amorfni fáze		26	32	38	22
Grafit	C	27	34	46	37
Ferit	$\alpha$ -Fe	24	12		11
Oxidy železa	$\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , FeO	2	1	3	1
Sulfidy (pyrity)	$\text{FeS}_2$ , $\text{CuFeS}_2$ , $\text{Sb}_2\text{S}_3$	0	5	4	6
Měď, mosaz	Cu, CuZn				7
Baryt	$\text{BaSO}_4$	14	2	3	5
Fluorit, kalcit	$\text{CaF}_2$ , $\text{CaCO}_3$	7	7		
Křemen, korund, mullit	$\text{SiO}_2$ , $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{Al}_{2,5}\text{Si}_{1,45}\text{O}_{9,7}$		6	6	
Zinek, oxid zinečnatý	Zn, ZnO	1	1		3

(46 hm.%). Ve vzorku zcela chybí kovové drátky ať už ocelové nebo měděné. Měď detekovaná pomocí XRF se zde nachází ve formě chalkopyritu. Lze předpokládat, že funkci přenosu tepla u tohoto kompozitu zastává grafit, sám také vynikající vodič. Ostatní složky – abrazivo, plnivo i lubrikanty – jsou ve vzorku zastoupeny podobně jako u ostatních vzorků.

Další anomálii vidíme ve vzorku 1, který neobsahuje žádné sulfidy, plnicí roli lubrikantů, ale ani minerály, které jednoznačně působí jako abraziva. Zajímavé je také nejvyšší množství barytu (14 hm.%); zde není zcela jasné, zda baryt přebírá roli lubrikantů nebo abraziv. Vzorek 2 se pak jeví jako zcela průměrný s mírně zvýšeným množstvím pojiva a grafitu, obsahuje průřez všemi fázemi objevujícími se v brzdových destičkách. Vzorek 4 neobsahuje také žádnou výrazně abrazivní fázi. Nalezená měď a antimon jsou zde zastoupené ve formě čisté mědi (3,4 hm.%), mosazi (2,6 hm.%) a jako  $Sb_2S_3$  (5,5 hm.%).

Na základě srovnání výsledků v tab. I a II je jasné vidět, že jen samotné chemické složení bez fázové analýzy je nedostatečné.

Složitě fyzikálně-chemické interakce během třecích (brzdných) procesů mohou dát vzniknout novým sloučeninám s odlišným složením i vlastnostmi<sup>19</sup>. Při teplotách kolem 300 °C, která je běžně dosahována při brzdění<sup>34,41</sup>, začíná tepelná transformace některých složek frikčních materiálů. V rozsahu teplot 300–600 °C nastává transformace sulfidů (např.  $FeS_2$ ,  $Sb_2S_3$ ) nebo kovových materiálů (mosaz, ocel) na oxidy (např.  $FeO$ ). Současně dochází i k téměř úplnému rozložení organické fáze pojidla<sup>19</sup>. Proces degradace fenolformaldehydové pryskyřice může být katalyzován přítomnými kovy a oxidy kovů<sup>46</sup>. Tyto organické sloučeniny mohou být uvolňovány přímo do atmosféry nebo mohou být adsorbovány na pevné částice vzniklé otěrem<sup>21</sup>. Uvolňování těkavých organických sloučenin se zjevně děje také už ve výrobním procesu, během procesu lisování za tepla a následného vytvrzování<sup>42</sup>. Tepelně stabilnější součásti, jako je grafit, zirkon ( $ZrSiO_4$ ) a baryt, významně neinteragují s jinými složkami ani s okolním prostředím<sup>42</sup>.

#### 4.2. Analýza otěrových částic

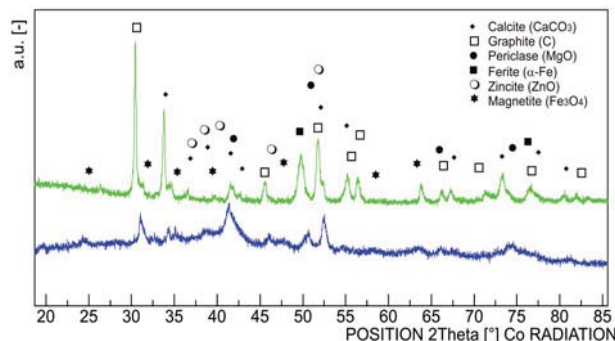
Složení otěrových částic neúplně koresponduje se složením původních frikčních kompozitů. Příkladem jsou

výsledky XRPD analýz pro vzorek frikčního kompozitu a jeho otěrových částic uvedené v tab. III.

Chemická analýza různých vzorků otěrových částic byla prováděna během mikroskopického pozorování SEM/EDX. Prokázal se výskyt železa (40–60 hm.%), kyslíku (15–30 hm.%) a uhlíku (7–25 hm.%). V nízké koncentraci byla pozorována i přítomnost dalších prvků, jako je křemík, vápník, hořčík (v koncentraci kolem cca 3 hm.%) nebo baryum, mangan, zinek, cín (v koncentraci kolem 1 hm.%). Otěrové částice jsou silně nehomogenní a obsah prvků se měnil podle vzorku, místa pozorování a použitého zvětšení.

Srovnání fázového složení frikčního kompozitu a z něho uvolněných otěrových částic poskytuje obr. 3. Z difrakčního záznamu je patrné, že u otěrových částic dochází k úbytku původních fází frikčního kompozitu (grafit, periklas) a k nárůstu podílu oxidů železa, konkrétně magnetitu (o 30 hm.%). Na záznamu pro otěrové částice jsou výrazně širší a méně intenzivní píky, což lze interpretovat jako přítomnost menších částic či zrn a přítomnost amorfni/nanokrystalické složky.

Ke zvýšení obsahu oxidů a hydroxidů železa u otěrových částic dochází díky interakci frikčních kompozitů s brzdovým kotoučem nebo bubnem během brzdění. Tyto součástky jsou vyrobeny hlavně z šedé litiny. Šedá litina je složena z feritu, malého podílu ~2 hm.% cementitu ( $Fe_3C$ ) a 3 hm.% uhlíku ve formě lupinkového grafitu. Obsahuje i stopové množství legujících prvků, jako je mangan, křemík, síra, fosfor<sup>24</sup>.

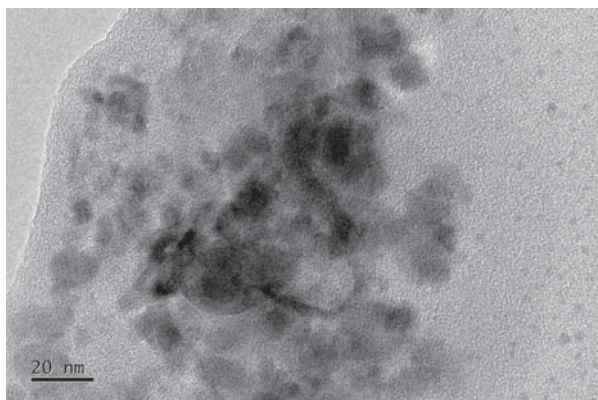


Obr. 3. Srovnání fázové analýzy XRPD pro původní brzdové destičky (zelená, horní) a z nich uvolněné otěrové částice (modrá, spodní). Barevná verze obrázku je dostupná v „on-line“ podobě.

Tabulka III

Srovnání fázového složení (hm.%) frikčního kompozitu a otěrových částic z něho odebraných

Krystalografická fáze	Chemický vzorec	Vzorek	
		kompozit	otěr
Ferit	$\alpha$ -Fe	7	6
Magnetit	$Fe_3O_4$	0	34
Grafit	C	50	25
Kalcit	$CaCO_3$	25	23
Periklas	MgO	8	3
Zinkit	ZnO	10	9



Obr. 4. Detail nanočástic zachycených v uhlíkové matici, transmisní elektronový mikroskop

V závislosti na složení původních frikčních kompozitů můžeme ve vzorcích otěrových částic nalézt oxidy a hydroxidy i karbidy železa (např. magnetit, akaganeit, cementit). K jejich přesnější identifikaci se osvědčilo použití Mössbauerovy spektroskopie (MSA)<sup>12,22,24</sup>. Touto metodou byly identifikovány i nanokrystalické a superparamagnetické oxidy železa<sup>22</sup>. K potvrzení přítomnosti superparamagnetických oxidů bylo provedeno magnetické měření otěrových částic v teplotním rozsahu 2–300 K (cit.<sup>22</sup>).

Pro nejjemnější frakci otěrových částic byla použita kombinace analýz pomocí transmisní elektronové mikroskopie (TEM), transmisní elektronové mikroskopie s vysokým rozlišením (HRTEM) a energeticky disperzní spektrometrie (EDX). Kromě nanokrystalických oxidů železa byly pozorovány i uhlíkové struktury s určitou mírou grafického uspořádání. Pozorované mezirovinné vzdálenosti jsou přibližně 3,3 Å. Uhlíkové shluky byly dvou typů. Jedny obsahovaly nanočástice oxidů železa (obr. 4), druhé byly bez viditelných nanočástic. Nanočástice zachycené v uhlíkových strukturách byly tvořeny zejména magnetitem, ale byla nalezena i částice, jejíž fázová analýza ukazuje na cementit, jehož zdrojem bude šedá litina brzdového disku. Podobné shluky nanočástic zachycené v matici tvořené uhlíkovými strukturami pozorovali i jiní autoři<sup>12</sup>.

Vysoký obsah různých oxidů železa a cementitu v otěrových částicích ukazuje, že nemohou pocházet jen z frikčních kompozitů. Zejména cementit je důkazem přítomnosti částic pocházejících z brzdného kotouče, protože se ve frikčním kompozitu vůbec nevyskytuje. Navíc rozšířené píky na difrakčním záznamu, magnetické měření a analýza metodou MSA ukazuje na přítomnost velmi malých částic. Tyto malé částice jsou zvláště nebezpečné při vdechnutí, kdy se mohou přes plicní sklípky dostat až do krevního oběhu.

## 5. Závěr

Brzdění automobilů je významným zdrojem otěrových částic, které mají vliv na životní prostředí i lidské zdraví. V nejbližší době, díky neustále rostoucímu tlaku na mobilitu a rychlost transportu, se bude tato situace ještě zhoršovat. Množství uvolňovaných částic závisí na jízdnicích podmínkách (rychlost, aplikovaný tlak) a složení frikčních materiálů.

Otěrové částice jsou tvořené převážně kovy a jejich oxidy. Dominantní je železo a jeho oxidy, ale jsou přítomné různé další prvky a sloučeniny, jako jsou např. měď nebo organická pojiva.

Výzvou do budoucna je proto jak optimalizace systému analýz vzorků, tak i omezení emisí otěrových částic. Redukce otěrových částic může být provedena buď úpravou brzdové soustavy, nebo nalezením frikčního materiálu nového složení.

## LITERATURA

- Gasser M, Riediker M., Mueller L., Perrenoud A., Blank F., Gehr P., Rothen-Rutishauser B.: Part. Fibre Toxicol. 6, 30 (2009).
- Šlachová H., Vlasáková L.: *Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2019*, Český hydrometeorologický ústav, Praha 2020.
- Vojtíšek M., ve sborníku: *Konference ČAS 2010*, 18 – 19. 11. 2010, Praha – Czech Republic (Česká aerosolová společnost, ed.), str. 35, Praha 2010.
- Thorpe A., Harrison R. M.: Sci. Total Environ. 400, 270 (2008).
- Valotto G., Rampazzo G., Visin F.: Atmos. Environ. 122, 596 (2015).
- Amato F. a 13 spoluautorů: J. Hazard. Mater. 275, 31 (2014).
- Chan D., Stachowiak G. W.: Proc. Inst. Mech. Eng., Part D 218, 953 (2004).
- Blau P. J.: Technical report ORNL/TM-2001/64. Oak Ridge National Laboratory, Tennessee 2001.
- Tomášek V.: *Frikční kompozity pro brzdové systémy automobilů a metody jejich charakterizace*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2009.
- Hodgson J. T., Darnton A.: Ann. Occup. Hyg. 44, 565 (2000).
- Grigoratos T., v knize: *Non-Exhaust Emissions: An Urban Air Quality Problem for Public Health; Impact and Mitigation Measures* (Amato F., ed.), kap. 4, str. 89. Academic Press, San Diego 2018.
- Kukutschová J., Roubíček V., Mašláň M., Jančík D., Slovák V., Malachová K., Pavlíčková Z., Filip P.: Wear 268, 86 (2010).
- Verma P. C., Menapace L., Bonifanti A., Ciudin R., Gialanella S., Straffelini G.: Wear 322–323, 251 (2015).
- Figi R., Nagel O., Tuchschnid M., Lienemann P., Gfeller U., Bukowiecki N.: Anal. Chim. Acta 676, 46 (2010).

15. Hulskotte J. H. J., Roskam G. D., Denier van der Gon H. A. C.: *Atmos. Environ.* **99**, 436 (2014).
16. Hjortenkrans D. S. T., Bergback B. G., Haggerud A. V.: *Environ. Sci. Technol.* **41**, 5224 (2007).
17. Kukutschová J., Moravec P., Tomášek V., Matějka V., Smolík J., Schwarz J., Seidlerová J., Šafářová K., Filip P.: *Environ. Pollut.* **159**, 998 (2011).
18. Sanders P. G., Ning X., Dalka T. M., Maricq M. M.: *Environ. Sci. Technol.* **37**, 4060 (2003).
19. Klika Z., Tomášek V., Simha Martynková G., Ritz M., Roubíček V., Kratošová G., Slovák V.: *Hutn. Listy* **61**, 62 (2008).
20. Roubíček V., Raclavská H., Juchelková D., Filip P.: *Wear* **265**, 167 (2008).
21. Plachá D., Vaculík M., Mikeska M., Dutko O., Peikerová P., Kukutschová J., Mamulová Kutlákova K., Růžičková J., Tomášek V., Filip P.: *Wear* **376**, 705 (2017).
22. Švábenská E., Roupcová P., Pizúrová N., Schneeweiss O., ve sborníku: *Conference Proceedings, 9th International Conference on Nanomaterials – Research and Application NANOCON 2017*, 18–20 October, Brno, Czech Republic (Tanger, ed.) str. 704, Ostrava 2017.
23. Vasconcellos M. A. Z., Hinrichs R., da Cunha J. B. M., Soares M. R. F.: *Wear* **268**, 715 (2010).
24. Švábenská E., Roupcová P., Schneeweiss O., ve sborníku: *Conference Proceedings, 7th International Conference on Nanomaterials – Research and Application NANOCON 2015*, 14–16 October, Brno (Tanger, ed.) str. 548, Ostrava 2015.
25. Valotto G., Rampazzo G., Visin F., Gonella F., Cattaruzza E., Glisenti A., Formenton G., Tieppo P.: *Atmos. Environ.* **122**, 596 (2015).
26. Ingo G. M., D'Uffizi M., Falso G., Bultrini G., Padeletti G.: *Thermochim. Acta* **418**, 61 (2004).
27. Franco V., Kousoulidou M., Muntean M., Ntziachristos L., Hausberger S., Dilara P.: *Atmos. Environ.* **70**, 84 (2013).
28. Grigoratos T., Martini G.: *Environ. Sci. Pollut. Res.* **22**, 2491 (2015).
29. Adamiec E., Jarosz-Krzemińska E., Wieszała R.: *Environ. Monit. Assess.* **188**, 369 (2016).
30. Beji A., Deboudt K., Khardi S., Muresan B., Flament P., Fourmentin M., Lumière L.: *Transp. Res., Part D* **81**, 102290 (2020).
31. Lawrence S., Sokhi R., Ravindra K., Mao H., Prain H. D., Bull I. D.: *Atmos. Environ.* **77**, 548 (2013).
32. Dousova B., Lhotka M., Buzek F., Cejkova B., Jackova I., Bednar V., Hajek P.: *Sci. Total. Environ.* **702**, 134642 (2020).
33. Werkenthin M., Kluge B., Wessolek G.: *Environ. Pollut.* **189**, 98 (2014).
34. Garg B. D., Cadle S. H., Mulawa P. A., Groblicki P. J., Laroo C., Parr G. A.: *Environ. Sci. Technol.* **34**, 4463 (2000).
35. Nosko O., Olofsson U.: *Wear* **374–375**, 92 (2017).
36. Hagino H., Oyama M., Sasaki S.: *Atmos. Environ.* **131**, 269 (2016).
37. Boogaard H., Kos G. P. A., Weijers E. P., Janssen N. A. H., Fischer P. H., van der Zee S. C., de Hartog J. J., Hoek G.: *Atmos. Environ.* **45**, 650 (2011).
38. Wahlström J., Olofsson U.: *Proc. Inst. Mech. Eng., Part D* **229**, 747 (2015).
39. Varrica D., Bardelli F., Dongarrà G., Tamburo E.: *Atmos. Environ.* **64**, 18 (2013).
40. Saerens A., Ghosh M., Verdonck J., Godderis L.: *Int. J. Environ. Res. Public Health* **16**, 4474 (2019).
41. Straffelini G., Ciudin R., Ciotti A., Gialanella S.: *Environ. Pollut.* **207**, 211 (2015).
42. Kukutschová J., Filip P., v knize: *Non-Exhaust Emissions: An Urban Air Quality Problem for Public Health; Impact and Mitigation Measures* (Amato F., ed.), kap. 6, str. 123, Academic Press, San Diego 2018.
43. Gietl J. K., Lawrence R., Thorpe A. J., Harrison R. M.: *Atmos. Environ.* **44**, 141 (2011).
44. Beddows D. C. S., Dall'Osto M., Olatunbosun O. A., Harrison R. M.: *Atmos. Environ.* **129**, 167 (2016).
45. Knoflíček M.: *Středoškolská odborná činnost: Vliv solných roztoků na brzdové obložení*, Střední průmyslová škola chemická Brno, Brno 2019.
46. Křístková M., Filip P., Weiss Z., Peter R.: *Polym. Degrad. Stab.* **84**, 49 (2004).

**E. Švábenská and P. Roupcová** (*Institute of Physics of Materials, the Academy of Sciences of the Czech Republic, v.v.i., Brno*): **Hidden Hazard of Wear Particles**

Intensifying the mobility and the increase of the number of vehicles give rise to a larger amount of particles released by the brake abrasion. The particles, containing various elements and substances hazardous for some organisms, get subsequently into the air and the environment along busy roads. The aim of this review article is to provide information on both the composition of friction composites and transport-related emissions. The article is focused mainly on the wear particles released from brakes, but also on methods used to identify the source of the polluting particles are discussed.

**Keywords:** brake pads, friction materials, wear particles, analysis

- Švábenská E., Roupcová P.: *Chem. Listy* **116**, 228–234 (2022).
- <https://doi.org/10.54779/chl20220228>

## ODOLNOST NA IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ U ZÁSTUPCŮ KMENE ACTINOBACTERIA

ELIZAVETA TIMKINA, OLGA MAŽÁTKOVÁ  
a IRENA KOLOUCHOVÁ

Ústav biotechnologie, Vysoká škola chemicko-  
technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6  
Timkinae@vscht.cz

Došlo 7.10.21, přijato 23.11.21.

Klíčová slova: ionizující záření, Actinobacteria, antioxi-  
dační enzymy, Fentonova reakce, oprava DNA

• <https://doi.org/10.54779/chl20220235>

### Obsah

1. Úvod
2. Poškození buněk působením ionizujícího záření
3. Actinobacteria rezistentní vůči radiaci
4. Detoxifikační mechanismy ochrany biomolekul
5. Ochrana DNA pomocí proteinů podobných histonům
6. Mechanismy opravy poškozené DNA
7. Perspektivy výzkumu
8. Závěr

### 1. Úvod

Ve všech lokalitách na Zemi, včetně velice extrémních, lze pozorovat rozmanité ekosystémy skládající se z mnoha jak eukaryotických, tak i prokaryotických organismů. Mezi extrémní podmínky se řadí vysoký tlak a salinita, extrémně vysoké nebo nízké pH, extrémně nízké či vysoké teploty, nízká aktivita vody a intenzivní UV nebo ionizující záření. Extrémofilové jsou mikroorganismy schopné žít v extrémních podmínkách, z nichž početnou skupinu tvoří mikroorganismy (bakterie a archea) odolné vůči působení ionizujícího záření. Většina radiorezistentních mikroorganismů má zvýšenou odolnost i na některé jiné abiotické faktory, například vysoké teploty nebo vysychání, a tím se řadí do skupiny polyextrémofilů<sup>1</sup>. Působení ionizujícího záření na živé buňky vyvolává tvorbu velkého množství reaktivních forem kyslíku, jedno- či dvouřetězcových zlomů DNA a rozsáhlou modifikaci bází (oxidované báze nebo místa bez purinu či pyrimidinu)<sup>2</sup>. Hlavní mechanismy odolnosti vůči působení ionizujícího záření můžeme zařadit do jednotlivých skupin:

- snížení oxidace DNA nebo proteinů pomocí sofistikovaného antioxičádního systému (chemického či enzymatického),

- kondenzace DNA pomocí proteinů podobných histonům, což chrání DNA před poškozením radikály a zjednodušuje opravu DNA,
- vysoce přizpůsobivé mechanismy opravy DNA (cit.<sup>1</sup>).

### 2. Poškození buněk působením ionizujícího záření

Přímý vliv radioaktivity spočívá v interakci nabitých částic, jako  $\alpha$  a  $\beta$  částice, nebo fotonu s hmotou. Při této interakci dochází k ionizaci nebo excitaci atomů, a tím ke vzniku vysoce reaktivní radikálu. Může docházet např. k poškození cukr-fosfátové kostry molekul DNA nebo poškození purinů či pyrimidinů, což vede k narušení struktury DNA. Přímým mechanismem je způsobeno přibližně 20 % cytotoxických dopadů ionizujícího záření na buňku<sup>3,4</sup>.

Nepřímé působení radioaktivity na buňku nastává po pohlcení  $\gamma$  nebo Rentgenového záření. Ionizující záření v tomto případě způsobuje radiolýzu molekul vody, čímž vznikají reaktivní formy kyslíku (ROS). Jedná se o hlavní zdroj radikálů v živých buňkách vzhledem k velkému obsahu vody. Sekundárním zdrojem hydroxylových radikálů v poškozených buňkách je Fentonova reakce<sup>5</sup>. Radikály  $O_2^{\cdot-}$  téměř nereagují s DNA a většinou proteinů, ale mohou deaktivovat enzymy z rodiny FeS proteinů s klastry 2Fe–2S nebo 4Fe–4S, které obsahují ionty  $Fe^{2+}$ . Tím dochází k uvolňování iontů  $Fe^{2+}$  do cytoplazmy a následnému spuštění Fentonovy reakce. Železo je v buňkách většinou asociováno s bílkovinami, a proto Fentonova reakce primárně poškozuje bílkoviny<sup>6</sup>.

Množství studií se zaměřuje na oxidativní poškození DNA, ale v případě bakterií se ukazuje, že oxidace proteinů má klíčový dopad na životaschopnost buněk. ROS způsobují narušení peptidových vazeb a oxidaci postranních řetězců aminokyselin<sup>7,8</sup>.

Oxidační stres je v přírodě způsobován i jinými faktory než jen ionizujícím zářením. Při dlouhodobém vysušení, stejně jako při působení velkých dávek ionizujícího záření, akumulují buňky velké množství dvouřetězcových zlomů DNA<sup>9–11</sup>.

V práci Sghaier a spol.<sup>12</sup> pojem bakterie odolné vůči ionizujícímu záření jsou definovány následujícím způsobem: bakteriální kmény nevytvářející spory, které mohou chránit své cytosolické proteiny před oxidací a snášet mnoho dvouřetězcových zlomů DNA (DSB) po vystavení vysokým akutním dávkám ionizujícího záření (hodnota  $D_{10}$ , myšleno 90 % redukce životaschopných buněk, má být vyšší než 1 kilogray (kGy)) a mohou odolávat dlouhodobému vysychání.

### 3. Actinobacteria rezistentní vůči radiaci

Kmen Actinobacteria je jeden z největších kmenů domény Bacteria. Zástupci tohoto kmene jsou rozšířeni po celém světě a osidlují jak suchozemské, tak i vodní ekosystémy. Jedná se o Gram pozitivní bakterie s běžně vysokým podílem GC párů v DNA. V tab. I je uvedeno několik bakteriálních druhů z kmene Actinobacteria, u kterých byla pozorována odolnost vůči ionizujícímu záření. Rod *Rubrobacter* spadá do třídy *Rubrobacteria*, ostatní rody spadají do Actinobacteria.

Známým a dobře prostudovaným kmenem odolným vůči ionizujícímu záření je *Deinococcus radiodurans*. Bakterie z rodu *Deinococcus* se vyznačují extrémně vysokou odolností vůči ionizujícímu záření<sup>1,13,14</sup>. Mechanismy odolnosti vůči ionizujícímu záření umožňují mikroorganismům osidlovat neobvyklé a často zcela pro život nevhodné lokality. Jedná se například o vysokohorská slaná jezera vystavená vysokým dávkám UV záření nebo pouštní půdy s extrémně nízkou vodní aktivitou. Bakteriální izoláty kmene Actinobacteria (rody *Streptomyces*, *Kocuria*, *Rhodococcus*, *Micrococcus*, *Brevibacterium*, ad.) získané ze vzorků vody či sedimentů vysokohorských jezer (3400–4600 m n. m.) jsou životaschopné po působení až 240 min UV-B záření, kdy negativní kontrola (*E. coli*) byla zcela inaktivována po 60 min (cit.<sup>15</sup>).

Bakteriální kmene odolné vůči radiaci byly izolovány z prostředí zatížených přirozeně se vyskytujícími radionuklidy, například radonové prameny Ab-e-Siah v Iránu, ze kterých byl izolován kmen *Kocuria rosea* MG2. Kromě radonu, který je  $\alpha$  zářičem, se v pramenech vyskytují i další radioaktivní prvky rozpadové řady uranu (<sup>234</sup>Th, <sup>236</sup>Ra, <sup>214</sup>Pb). Bakteriální izoláty z radonových pramenů vykazují zvýšenou odolnost na UV záření,  $\gamma$  záření, vysychání a přítomnost reaktivních forem kyslíku v kultivačním prostředí<sup>16</sup>.

Bakterie z rodu *Rubrobacter* jsou nepohyblivé a netvoří spory, jsou termofilní s optimální teplotou růstu v rozmezí 46–60 °C. Většina izolátů byla získána z vody nebo vzorků sedimentů termálních pramenů. Na agaru tvoří růžově zabarvené kolonie. Zástupci rodu *Rubrobacter* disponují podobnou odolností vůči ionizujícímu záření jako *D. radiodurans*<sup>17–19</sup>.

Zástupci čeledě *Geodermatophilaceae* se často nalézají v extrémně suchém prostředí, např. půda z pouště Sahara (Chad) nebo vápenec, do kterého dokonce vrůstají a působí jako endolity<sup>20</sup>. Do čeledě spadají rody vysoce odolné vůči UV záření, *Geodermatophilus* a *Modestobacter*. Kolonie na agaru jsou zbarveny do červena a později do černa. Vykazují vysoký stupeň adaptace na stresové podmínky, mezi které patří vysoké dávky ionizujícího záření ( $\gamma$  záření nebo UV), vysychání, vysoké koncentrace solí nebo těžkých kovů<sup>21,22</sup>.

Rod *Kocuria* vznikl vyčleněním z rodu *Micrococcus* na základě fylogenetické a chemotaxonomické analýzy v roce 1995. Biochemické rysy rodů jsou podobné, včetně tvorby žlutých pigmentů a hlavních lipidů buněčné stěny. Do obou rodů spadají izoláty se zvýšenou odolností vůči ionizujícímu záření<sup>23,24</sup>.

### 4. Detoxifikační mechanismy ochrany biomolekul

Většina organismů disponuje enzymatickou výbavou pro účinnou opravu poškození DNA, což je esenciální pro znovuoživení životaschopnosti buněk. Avšak pouze zlomek mikroorganismů vykazuje zvýšenou odolnost vůči působení ionizujícího záření. Mechanismy enzymatické opravy DNA mohou v buňkách po ozařování radiorezistentních mikroorganismů fungovat lépe díky ochranné proteinů před oxidací. Tato ochrana může být zprostředková-

Tabulka I

Taxonomické zařazení zástupců kmene Actinobacteria s pozorovanou odolností na ionizující záření

Kmen	Třída	Řád	Čeď	Rod	Druh	Lit.		
Actinobacteria	Rubrobacteria	Rubrobacterales	Rubrobacteraceae	<i>Rubrobacter</i>	<i>R. radiotolerans</i>	19		
					<i>R. xylanophilus</i>	56		
					<i>R. taiwanensis</i>	18		
Actinobacteria	Frankiales	Geodermatophilaceae	<i>Modestobacter</i>	<i>M. multiseptatus</i>	<i>M. multiseptatus</i>	57		
					<i>M. marinus</i>	58		
				<i>Geodermatophilus</i>	<i>G. tzadiensis</i>	59		
					<i>G. obscurus</i>	20		
				Kineosporales	Kineosporiaceae	<i>Kineococcus</i>	<i>K. radiotolerans</i>	30
				Micrococcales	Micrococcaceae	<i>Kocuria</i>	<i>K. rhizophila</i>	60
<i>K. rosea</i>	16							
<i>Micrococcus</i>	<i>M. yumanensis</i>	15						
	<i>M. luteus</i>	23						
Corynebacterales	Dietziaceae	<i>Dietzia</i>	<i>Dietzia sp. MG4</i>	61				
			Nocardiaceae	<i>Rhodococcus</i>	<i>R. enclensis</i>	15		



vána jak molekulami enzymatické povahy, tak i jinými látkami neenzymatické povahy<sup>25</sup>.

#### Antioxidační enzymy

Velké množství produktů různých genů hraje roli v ochraně biomolekul vůči stresům a detoxifikaci ROS, aby nedocházelo k oxidaci proteinů a tvorbě toxických produktů. Jedná se hlavně o thioredoxinreduktasu (*trxB*), proteiny podobné glutaredoxinu (*glp*), glutathion-vázající proteiny (*gsiB*), superoxidodismutasy (*sodA*), katalasu (*katE*) a jiné<sup>1</sup>.

Přítomnost thioredoxinreduktasy (*trxAB*) byla popsána u kmene odolného vůči záření *Modestobacter multi-septatus* a jiných zástupců kmene Actinobacteria<sup>26</sup>. Studie ukazují, že flavoproteiny hrají důležitou roli při udržování správného poměru redukováných a oxidovaných kofaktorů (NADH/NAD<sup>+</sup>, FAD/FADH<sub>2</sub>). Nekontrolovaná oxidace kofaktorů vede ke vzniku reaktivních forem kyslíku a zvýšení oxidativního poškození buněk<sup>27,28</sup>.

Analýza genomu *Kineococcus radiotolerans* ukázala přítomnost rozsáhlého systému antioxidačních enzymů, mezi které patří již zmíněná Fe/Mn superoxidodismutasa (*sodA*), alkyl-hydroperoxidreduktasa (*ahpC*) a methionin sulfoxidreduktasa (*msrA*), katalasa (*kata*) a Mn-závislá katalasa (*katE*), glutathionyl spermidinsyntasa (*GSP-Syn*), glutathionperoxidasa (*GSHPx*) a dyp peroxidasa<sup>29</sup>.

#### Pigmenty

Společným rysem radiorezistentních bakterií je produkce žluto-červených pigmentů, hlavně karotenoidů (*Kineococcus radiotolerans*)<sup>30</sup>, např. bacterioruberinu (*Rubrobacter radiotolerans*)<sup>31</sup>. Díky své struktuře mají karotenoidy velkou kapacitu odbourávat volné radikály a pohlcovat UV záření<sup>32</sup>.

#### Lipidy

Zastoupení mastných kyselin ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti lipidů. Vlastnosti mastných kyselin jsou nejvíce ovlivněny délkou uhlovodíkového řetězce a stupněm nasycení. Některé bakteriální rody mají schopnost produkovat nenasyčené mastné kyseliny s délkou řetězce větší než 20 uhlíků a minimálně čtyřmi dvojnými vazbami, například arachidonová kyselina (ARA, 20:4 n-6), eikosapentaenová kyselina (EPA, C20:5 n-3) a dokosapentaenová kyselina (DHA, 22:6 n-3), které mají společný název polynenasycené mastné kyseliny s dlouhým řetězcem (LC-PUFA). Bakterie jsou schopny anaerobně syntetizovat polynenasycené mastné kyseliny *de novo* pomocí polyketidové syntézy, která je u bakterií syntetizujících LC-PUFA kódována geny *pfa* (cit.<sup>33</sup>). Předpokládá se, že eikosapentaenová kyselina přispívá ke zvýšení odolnosti bakteriální buňky vůči působení ROS (cit.<sup>34</sup>).

#### Mangan

Bakteriální izoláty s vysokým vnitrobuněčným poměrem Mn:Fe vykazují extrémně vysokou odolnost k oxidaci proteinů způsobenou ionizujícím zářením, kdežto hypersenzitivní bakteriální izoláty mají nízký poměr Mn:Fe. Analýza míry karboxylace ukázala, že akumulace manganatých iontů v buňkách zabraňuje oxidaci proteinů, ale neovlivňuje míru tvorby dvouřetězcových zlomů DNA. Tyto předpoklady vedly ke vzniku hypotézy, že buňky bohaté na mangan mohou lépe předcházet vzniku ROS prostřednictvím Fentonovy reakce<sup>35,36</sup>. Mangan, stejně jako železo, může přecházet z oxidačního stavu 2+ na 3+, ale na rozdíl od železa, převážně reaguje s radikálem O<sub>2</sub><sup>•-</sup> a neindikuje tvorbu hydroxylových radikálů<sup>25</sup>.

Přítomnost malých organických molekul s anti-oxidačními vlastnostmi spolu s vysokým poměrem Mn:Fe je jedním z faktorů, které zajišťují vysokou radiorezistenci bakteriálních druhů *R. radiotolerans* a *R. xylanophilus*<sup>37</sup>.

### 5. Ochrana DNA pomocí proteinů podobných histonům

Genomová DNA je sbalená do kompaktních struktur nazývaných nukleoidy. Správné svinutí aktivní DNA do struktury vyššího řádu vyžaduje doplňující proteiny. Proteiny podobné histonům (z angl. histone-like proteins, HLP) jsou malé bazické bakteriální proteiny zapojené do zachování stavby DNA a regulace míry aktivity určitých částí genomu<sup>38</sup>.

Původní studie HLP prokázaly podobnost prokaryotických DNA vázajících molekuly s eukaryotickými histony dle fyzikálně-chemických vlastností a schopností vyvolat topologické změny ve struktuře DNA (např. nadšroubovicové vnutí). HLP však sdílejí minimální podobnosti s eukaryotickými histony z hlediska sekvence nebo na strukturní úrovni. Tyto proteiny se proto nyní vhodněji nazývají proteiny asociované s nukleoidy (NAP), toto označení primárně odráží jejich lokalizaci<sup>39,40</sup>. Ochrana DNA vůči působení reaktivních forem kyslíku je zprostředkovávána několika mechanismy, mezi které patří i přítomnost NAP. Předpokládá se, že ochranná funkce spočívá hlavně ve vytvoření fyzikální bariéry mezi DNA a volnými radikály<sup>41</sup>.

### 6. Mechanismy opravy poškozené DNA

Funkční a vysoce účinný systém opravy DNA je esenciální pro přežití buněk vystavených působení ionizujícímu záření nebo jiných zdrojů reaktivních forem kyslíku. Genetická výbava *K. radiotolerans* je obohacena o geny zapojené do replikace, oprav a rekombinace DNA stejně jako u rezistentního druhu *D. radiodurans*. Pozoruhodné je, že genom *D. radiodurans* obsahuje většinu opravných proteinů nalezených v genomu *E. coli*. Rozdíl v efektivitě opravných mechanismů způsobují značné roz-

díly v citlivosti buněk na působení ionizujícího záření, ROS nebo vysychání<sup>12</sup>.

### Regulace SOS

Bakteriální SOS odpověď je globální regulační síť zaměřená na opravu poškození DNA. Řídí se produkty genů *lexA* a *recA* a koordinuje komplexní buněčnou odpověď po poškození DNA. Mechanismus SOS odpovědi je nejlépe prostudován v genomu *E. coli* a je již léta příkladem učebnicového paradigmatu systémů reakce na stres u bakterií. LexA se váže na promotorovou sekvenci SOS genů a fyzicky znemožňuje navázání RNA polymerasy, čímž efektivně brání začátku transkripce, i tím potlačuje expresi SOS genů. Protein RecA působí na druhou stranu jako senzor jednořetězcových zlomů a po rozpoznání poškození DNA přechází do aktivního stavu, ve kterém může indukovat autokatalytické rozštěpení proteinu LexA. V tomto případě LexA ztrácí afinitu k promotoru a tím iniciuje SOS odpověď<sup>42</sup>.

Množství a zastoupení genů v SOS regulonu se u jednotlivých mikroorganismů liší. Ukázalo se, že mnoho genů pro opravu DNA u Actinobacteria je indukováno poškozením DNA způsobem nezávislým na LexA/RecA, což odhaluje existenci doplňujícího systému odezvy na stres v genomu Actinobacteria, který by mohl působit jako záložní systém pro případ ztráty genu *lexA*<sup>43</sup>. Zároveň nebylo prokázáno, že by nějaký ze dvou *lexA* homologů *D. radiodurans* reguloval expresi *recA*. Existuje však dostatek důkazů, že reakce na poškození DNA u *D. radiodurans* je řízena alternativním regulačním pochodem, což je spojováno se specifickou potřebou tohoto mikroorganismu koordinovat komplexní odpověď vůči působení ionizujícího záření<sup>44</sup>.

Gen kódující protein LexA byl nalezen v genomu *K. radiotolerans*, ale nebyl pozorován v genomu *R. radiotolerans*. Tuto skutečnost lze objasnit tím, že rody *Rubrobacter* a *Kineococcus* spadají do různých tříd kmene Actinobacteria, přičemž rod *Kineococcus* je fylogeneticky příbuznější rodu *Mycobacterium*. Lze však očekávat, že v genomu *K. radiotolerans* a *R. radiotolerans* je odpověď na poškození DNA indukována způsobem nezávislým na LexA, podobně jak tomu je u *D. radiodurans*<sup>29,45</sup>.

### Homologní rekombinace

V bakteriálních buňkách je hlavním procesem opravy poškozené DNA homologní rekombinace. Podmínkou průběhu homologní rekombinace je přítomnost alespoň dvou kopií genomu v buňce. Dvouřetězcové zlomy DNA v bakteriálních genomech jsou opraveny cestou RecBCD homologní rekombinace. Zlomy, které se vyskytují pouze na jednom ze dvou řetězců DNA, jsou opraveny cestou RecFOR (cit.<sup>46</sup>). Obecný postup homologní rekombinace je podobný ve všech prostudovaných organismech. Hlavním krokem reakce je vniknutí do vlákna DNA a výměna řetězců je katalyzována proteinem RecA nebo jeho homologem. Výměně vláken DNA předchází působení enzymů nazývaných presynaptické enzymy. Působení presynaptic-

kých enzymů na DNA způsobuje zpřístupnění řetězců proteinu RecA a umožňuje tak vznik komplexu proteinu RecA a jednořetězcové DNA. Kroky, které následují po výměně řetězců a vedou k tvorbě životaschopné rekombinantní molekuly DNA, se nazývají postsynaptické<sup>47</sup>.

Geny homologní rekombinace *R. radiotolerans* a *K. radiotolerans* vykazují větší podobnost s příbuzným druhem *M. tuberculosis*, než s genomem *D. radiodurans*, ve kterém chybí genetická výbava pro RecFOR dráhu<sup>29,45,48</sup>. Homologní rekombinace v radiorezistentních bakteriích může probíhat cestou rozšířené rekombinace řetězců závislé na syntéze (z angl. extended synthesis dependent strand annealing, ESDSA). Mechanismus rekombinace je v genomu *D. radiodurans* dvoustupňový. První fáze zahrnuje mechanismus závislý na PolA, který umožňuje opětovně sestavení většiny fragmentů DNA. Zdá se, že druhý proces dozrávání kruhových chromosomů v pozdním stadiu zahrnuje křížení vláken závislé na RecA (cit.<sup>49</sup>). V obou genomech *K. radiotolerans* a *R. radiotolerans* byla přítomnost genů *polA* a *recA* potvrzena<sup>29,45</sup>.

### Nehomologní rekombinace

Nehomologní rekombinace je zprostředkována Ku komplexem a ligasa IV komplexem<sup>50</sup>. Některé kmeny Actinobacteria, včetně rodu *Mycobacterium*, disponují touto opravnou dráhou. Mykobakteriální Ku protein se váže na konce DNA a využívá polyfunkční DNA ligasu/polymerasu (LigD)<sup>51</sup>. Zdá se, že *K. radiotolerans* a *R. radiotolerans* postrádají DNA vazebný protein Ku, bez kterého není možná nehomologní rekombinace<sup>29,45</sup>.

### Korekce párování bází

Oprava špatného párování bází neboli z angl. mismatch repair (MMR) je evolučně konzervovaná biochemická dráha, která hraje důležitou roli při korekci neshod bází vznikajících buď z chyb replikace, nebo v průběhu homologní rekombinace. MMR zahrnuje korekci neodpovídajících párů bází<sup>52</sup>.

Geny začátku MMR cesty byly pozorovány pouze v genomu *R. radiotolerans*. V genomu *R. radiotolerans* jsou přítomny geny *mutL* a *mutS*, které iniciují opravu špatného párování. V genomu *R. radiotolerans* nebyly pozorovány geny *mutH*, *dcm* nebo *dam* (methylasy pro označení staršího řetězce), *xseA* ani *xseB* (exonukleasy potřebné k dokončení MMR)<sup>45</sup>. Genomy *K. radiotolerans* a *D. radiodurans* obsahují na rozdíl od *R. radiotolerans* geny *dcm* a *xse*. Rozdíly v genetické výbavě naznačují, že zmíněné bakterie využívají jiné dosud neidentifikované geny buď pro iniciaci MMR nebo pro dokončení<sup>29</sup>.

### Base excision a nucleotide excision repair (BER a NER)

Přítomnost genů mechanismů „base excision repair“ (BER) a „nucleotide excision repair“ (NER) je potvrzena u *K. radiotolerans*. Tyto geny jsou výjimečně nadměrně zastoupeny v genomu *K. radiotolerans* ve srovnání

s *D. radiodurans*. Některé z těchto genů mohou doplňovat chybějící enzymy mismatch repair mechanismů. Na rozdíl od *D. radiodurans*, jehož genom obsahuje jednu kopii genu *fpg* a žádný homolog genu *nei*<sup>53</sup>, byly v genomu *K. radiotolerans* identifikovány tři kopie genu *fpg* a čtyři *nei*. Produkty těchto genů působí při odstranění poškozených nebo špatně spárovaných bází. Jako další příklad odlišnosti od *D. radiodurans* je v genomu *K. radiotolerans* přítomnost 3-methyladeninové DNA glykosylasy I (Tag), která ale v genomu *D. radiodurans* chybí. Zmíněná glykosylasa se zúčastňuje rozpoznávání určitých typů poškození DNA a spouštění opravných mechanismů BER (cit.<sup>29,53</sup>).

Geny zúčastněné v mechanismu NER jsou v genomu *K. radiotolerans* také nadměrně zastoupeny, jedná se o tři *uvrA* ortology a pět genů kódujících helikasy podobné UvrD. Kromě těchto helikas obsahuje genom *K. radiotolerans*, podobně jako *M. tuberculosis*, helikasu superrodiny II typu ERCC3 (XPB), jejíž eukaryotický homolog vykonává základní funkce při opravě nukleotidů<sup>29</sup>.

## 7. Perspektivy výzkumu

Studium mechanismů odolnosti a hledání radiotolerantních kmenů je perspektivní odvětví z hlediska evoluční biologie a biotechnologie. Mechanismy odolnosti mnoha zástupců kmene Actinobacteria nejsou dostatečně prozkoumány a objasněny. Studium kmenově specifických mechanismů, např. opravy DNA, přinese možnost genetického vylepšení produkčních druhů (např. četní producenti antibiotik z kmene Actinobacteria) nebo bakterií využívaných v bioremediačních postupech<sup>54</sup>.

Sekundární metabolické rezervy extremofilů (tj. extremolyty a extremozymy) se nepodílejí na bezprostředním přežití, růstu, vývoji a reprodukci organismu. Přítomnost těchto sekundárních metabolitů však při vystavení působení ionizujícího záření ovlivňuje přežití mikroorganismů. Unikátní vlastnosti extremolytů umožňují dalekosáhlé aplikace v biotechnologiích, od bioremediace jaderných odpadních produktů až po výrobu medicínsky důležitých látek. Příkladem může být karotenoidní barvivo bakterioruberin z již zmíněné bakterie *R. radiotolerans*. Vysoká účinnost v odbourávání ROS a pohlcení UV naznačuje možnost využití této látky v opalovacích krémech<sup>55</sup>. Výzkum nových extremolytů a extremozymů s kapacitou chránit buňky vůči oxidativnímu stresu představuje možnost vytvoření nové generace přírodních prostředků s ochrannou funkcí vůči rakovině kůže.

## 8. Závěr

Zachování životaschopnosti mikrobiálních buněk po působení vysokých dávek ionizujícího záření se jeví jako komplexní a nejednoznačný proces. Různorodost mikroorganismů odolných vůči působení ionizujícího záření a mechanismů jejich obrany je zajímavá z hlediska základního výzkumu a využití poznatků v biotechnologiích. Ne-

hledě na rozdíly, lze u všech radiorezistentních mikroorganismů pozorovat např. tvorbu pigmentů, zvýšený poměr Mn:Fe v buňkách a rozmanitou škálu enzymů s antioxidační aktivitou.

Mechanismy opravy DNA všech zmíněných mikroorganismů ukazují jak společné pochody, tak i kmenově specifické mechanismy. Studium zapojení enzymů do opravy poškozené DNA přinese lepší pochopení reparačních mechanismů a objasnění evolučního pochodu vývoje těchto mechanismů.

Biotechnologický potenciál bakterií odolných vůči radiaci je málo prozkoumán, ale mezi možné způsoby použití lze řadit bioremediaci lokalit zatížených těžkými kovy nebo jinými polutanty spolu s vysokou hladinou ionizujícího záření; využití sekundárních metabolitů k léčbě a prevenci rakoviny kůže.

## Seznam použitých zkratk

DSB	dvouřetězcový zlom DNA
GC	pár nukleotidů guanin a cytosin
ROS	reaktivní formy kyslíku
LC-PUFA	polynenasycená mastná kyselina s dlouhým řetězcem
HLP	histone-like proteiny
NAP	proteiny asociované s nukleoidy
MMR	mismatch repair
BER	base excision repair
NER	nucleotide excision repair

*Tento výstup vznikl v rámci projektu Specifického vysokoškolského výzkumu – projekt č. A2\_FPBT\_2021\_027.*

## LITERATURA

- Pavlopoulou A., Savva G. D., Louka M., Bagos P. G., Vorgias C. E., Michalopoulos I., Georgakilas A. G.: *Mutat. Res., Rev. Mutat. Res.* 767, 92 (2016).
- Nikitaki Z., Hellweg C. E., Georgakilas A. G., Ravanat J. L.: *Front. Chem.* 3, 15 35 (2015).
- Luig H., Kellerer A., Griebel J.: *Radionuclides*, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, elektronické vydání. Wiley-VCH, Weinheim 2011.
- Close D., Nelson W. W. B.: *J. Phys. Chem. A* 117, 12608 (2013).
- Bilinski T., Krawiec Z., Liczmanski A., Litwinska J.: *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 130, 2 (1985).
- Imlay J. A.: *Mol. Microbiol.* 59, 1073 (2006).
- Halliwell B., Gutteridge J.: *Free Radicals in Biology and Medicine*. Oxford University Press, Oxford 2015.
- Maisonneuve E., Ducret A., Khoeiry P., Lignon S., Longhi S., Talla E., Dukan S.: *PLoS One* 4, 12 e7269 (2009).
- Dose K., Bieger-Dose A., Labusch M., Gill M.: *Adv. Space Res.* 12, 221 (1992).

10. Tanaka M., Earl A. M., Howell H. A., Park M. J., Eisen J. A., Peterson S. N., Battista J. R.: *Genetics* 168, 21 (2004).
11. Liu Y. Q. a 14 spoluautorů: *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 100, 4191 (2003).
12. Sghaier H., Ghedira K., Benkahla A., Barkallah I.: *BMC Genomics* 9, 7 297 (2008).
13. Anderson A. W., Nordan H. C., Cain R. F., Parrish G., Duggan D.: *Food Technol.* 10, 575 (1956).
14. Brooks B. W., Murray R. G. E.: *Int. J. Syst. Bacteriol.* 31, 353 (1981).
15. Rasuk M. C., Ferrer G. M., Kurth D., Portero L. R., Farias M. E., Albarracin V. H.: *Photochem. Photobiol.* 93, 865 (2017).
16. Gholami M., Etamadifar Z., Bouzari M.: *J. Environ. Radioact.* 144, 113 (2015).
17. Suzuki K.: *Rubrobacter, Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*. Wiley & Sons, Inc., Hoboken 2015.
18. Chen M. Y., Wu S. H., Lin G. H., Lu C. P., Lin Y. T., Chang W. C., Tsay S. S.: *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 54, 1849 (2004).
19. Suzuki K., Collins M. D., Iijima E., Komagata K.: *FEMS Microbiol. Lett.* 52, 33 (1988).
20. Gtari M. a 12 spoluautorů: *FEMS Microbiol. Ecol.* 80, 566 (2012).
21. Montero-Calasanz M. C.: *Geodermatophilus, Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*. Wiley & Sons, Inc., Hoboken 2020.
22. Normand P., Benson D.: *Modestobacter, Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*. Wiley & Sons, Inc., Hoboken 2015.
23. Deng W. Y., Yang Y., Gao P., Chen H., Wen W. T., Sun Q.: *Curr. Microbiol.* 72, 767 (2016).
24. Asgarani E., Soudi M. R., Borzooee F., Dabbagh R.: *J. Environ. Radioact.* 113, 171 (2012).
25. Daly M. J. a 10 spoluautorů: *PLoS Biol.* 5, 769 e92 (2007).
26. Normand P. a 15 spoluautorů: *J. Bacteriol.* 194, 4773 (2012).
27. Trisolini L., Gambacorta N., Gorgoglione R., Montaruli M., Laera L., Colella F., Volpicella M., De Grassi A., Pierri C. L.: *J. Clin. Med.* 8, 29 2117 (2019).
28. Kuriyan J., Krishna T. S. R., Wong L., Guenther B., Pahler A., Williams C. H., Model P.: *Nature* 352, 172 (1991).
29. Bagwell C. E., Bhat S., Hawkins G. M., Smith B. W., Biswas T., Hoover T. R., Saunders E., Han C. S., Tsodikov O. V., Shimkets L. J.: *PLoS One* 3, 16 e3878 (2008).
30. Phillips R. W., Wiegel J., Berry C. J., Fliermans C., Peacock A. D., White D. C., Shimkets L. J.: *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 52, 933 (2002).
31. Saito T., Terato H., Yamamoto O.: *Arch. Microbiol.* 162, 414 (1994).
32. Tian B., Xu Z. J., Sun Z. T., Lin J., Hua Y. J.: *Biochim. Biophys. Acta, Gen. Subj.* 1770, 902 (2007).
33. Metz J. G. a 12 spoluautorů: *Science* 293, 290 (2001).
34. Nishida T., Orikasa Y., Ito Y., Yu R., Yamada A., Watanabe K., Okuyama H.: *FEBS Lett.* 580, 2731 (2006).
35. Daly M. J.: *Nat. Rev. Microbiol.* 7, 8 (2009).
36. Daly M. J. a 12 spoluautorů: *Science* 306, 1025 (2004).
37. Webb K. M., DiRuggiero J.: *Archaea*, 845756 (2012).
38. Dorman C. J., v knize: *Advances in Applied Microbiology*, 67. díl. Elsevier Academic Press Inc, San Diego 2009.
39. Rouviereyaniv J., Yaniv M., Germond J. E.: *Cell* 17, 265 (1979).
40. Dillon S. C., Dorman C. J.: *Nat. Rev. Microbiol.* 8, 185 (2010).
41. Colangeli R. a 11 spoluautorů: *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 106, 4414 (2009).
42. Walker G. C.: *Microbiol. Rev.* 48, 60 (1984).
43. Gamulin V., Cetkovic H., Ahel I.: *FEMS Microbiol. Lett.* 238, 57 (2004).
44. Satoh K., Ohba H., Sghaier H., Narumi I.: *Microbiology* 152, 3217 (2006).
45. Egas C., Barroso C., Froufe H. J. C., Pacheco J., Albuquerque L., da Costa M. S.: *Stand. Genomic Sci.* 9, 18 (2014).
46. Rocha E. P. C., Cornet E., Michel B.: *PLoS Genet.* 1, 247 e15 (2005).
47. Kowalczykowski S. C., Dixon D. A., Eggleston A. K., Lauder S. D., Rehrauer W. M.: *Microbiol. Rev.* 58, 401 (1994).
48. Beam C. E., Saveson C. J., Lovett S. T.: *J. Bacteriol.* 184, 6836 (2002).
49. Zahradka K., Slade D., Bailone A., Sommer S., Averbek D., Petranovic M., Lindner A. B., Radman M.: *Nature* 443, 569 (2006).
50. Weller G. R. a 14 spoluautorů: *Science* 297, 1686 (2002).
51. Della M., Palmbo P. L., Tseng H. M., Tonkin L. M., Daley J. M., Topper L. M., Pitcher R. S., Tomkinson A. E., Wilson T. E., Doherty A. J.: *Science* 306, 683 (2004).
52. Su S. S., Modrich P.: *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 83, 5057 (1986).
53. Metz A. H., Hollis T., Eichman B. F.: *EMBO J.* 26, 2411 (2007).
54. Nesheli M. A., Asgarani E., Dabbagh R.: *Chem. Ecol.* 34, 163 (2018).
55. Saito T., Miyabe Y., Ide H., Yamamoto O.: *Radiat. Phys. Chem.* 50, 267 (1997).
56. Carreto L., Moore E., Nobre M. F., Wait R., Riley P. W., Sharp R. J., DaCosta M. S.: *Int. J. Syst. Bacteriol.* 46, 460 (1996).
57. Mevs U., Stackebrandt E., Schumann P., Gallikowski C. A., Hirsch P.: *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 50, 337 (2000).
58. Xiao J., Luo Y. X., Xu J., Xie S. J.: *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 61, 1710 (2011).
59. Montero-Calasanz M. D. a 10 spoluautorů: *Syst. Appl. Microbiol.* 36, 177 (2013).
60. Mehrabadi J. F., Mirzaie A., Ahangar N., Rahimi A., Rokni-Zadeh H.: *Microbiol. Resour. Announce.* 4, 2

e00095-16 (2016).

61. Gholami M., Etemadifar Z.: *Microbiology* 84, 389 (2015).

**E. Timkina, O. Mařátková, and I. Kolouchová**  
(*Department of Biotechnology, University of Chemistry and Technology, Prague*): **Resistance to Ionizing Radiation in Representatives of the Strain Actinobacteria**

Resistance to adverse conditions is widespread in the microbial world. Microorganisms resistant to ionizing radiation form a technologically interesting but little-explored group. This work focuses on the mechanisms of

resistance to radiation in representatives of the Actinobacteria phylum, both in terms of detoxification mechanisms and in terms of repairing DNA damage.

Keywords: ionizing radiation, Actinobacteria, antioxidants, Fenton reaction, DNA repair

- Timkina E., Mařátková O., Kolouchová I.: *Chem. Listy* 116, 235–241 (2022).
- <https://doi.org/10.54779/ch120220235>

*Acknowledgements*

*This work was supported from the grant of Specific university research – grant No. A2\_FPBT\_2021\_027.*

## O ČESKÝCH NÁZVECH PRVKŮ A JEJICH ZNAČKÁCH

PETR HOLÝ

*Chemické listy, Novotného Lávkva 5, 116 68 Praha 1  
pholy382@seznam.cz*

Došlo 3.1.22, přijato 27.1.22.

Klíčová slova: české názvy prvků, latinské názvy prvků, mezinárodní značky prvků, historie českého chemického názvosloví

● <https://doi.org/10.54779/chl20220242>

V roce 2016 oznámila Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii (IUPAC) oficiální názvy a značky čtyř nových prvků<sup>1</sup> – nihonium, moscovium, tennessin a oganesson, majících protonová čísla 113, 115, 117 a 118. Spolu s dříve schválenými názvy (v roce 2011) pro prvky flerovium a livermorium s protonovými čísly 114 a 116 mají zatím nejtěžší transurany tyto názvy a z nich odvozené značky: nihonium Nh, flerovium Fl, moscovium (či moskovium) Mc, livermorium Lv, tennessin (či tennesin) Ts a oganesson Og. Tímto má všech zatím existujících 118 chemických prvků schválenou značku (viz tab. I), která jednoduše a jednoznačně určuje každý prvek. Kombinací jedno- nebo dvoupísmenkových značek prvků lze tak jednoduše vytvořit vzorce jejich sloučenin a zapisovat chemické reakce způsobem, který je srozumitelný chemikům celého světa. To je jistě velice potěšitelný stav, ke kterému ale bylo nutno se dlouhou dobu dopracovávat. Už proto, že prvky byly objevovány postupně (viz poslední sloupec v tab. I) a pak následně jim byly různým způsobem

hledány názvy, které nebyly vždy hned všeobecně přijímány. I když každý dosud uznávaný prvek má svůj oficiální (latinský) název, má většina národů pro určité prvky svá běžně užívaná jména, která s latinským názvem nesouvisí. Taková jména jsou pro dané jazykové prostředí uznávána, ovšem pro prvky všude platí jejich mezinárodní značky odvozené od schválených latinských názvů. Také proto je znalost značek důležitá a jejich osvojení bývá jedním z prvních úkolů při studiu chemie. Českým studentům se zpočátku zdá tento úkol poněkud obtížnější, protože čeština patří mezi jazyky, u nichž se od historie až dodnes zachovalo dosti specifických názvů prvků. A tak si čeští studenti v základním kurzu chemie stěžují, že české názvy prvků (a zvláště těch nejběžnějších) jsou špatnou či zrádnou nápovědou pro jejich chemické značky. V tab. I jsou české názvy, které se od mezinárodních svým slovním základem liší, vyznačeny tučně – je jich celkem 19. A tento počet byl v určitém historickém období vyšší, některá pojmenování prvků vytvořená v 19. století zanikla a byla později nahrazena názvy mezinárodními.

Rodina chemických prvků se rozrůstala nejprve dosti pomalu. Už ve starověku bylo známo 9 prvků, a to 7 kovů (zlato, stříbro, olovo, měď, cín, železo a rtuť) a 2 nekovy (uhlík a síra). Za celý středověk a éru alchymistů do konce 17. století přibýlo pouze 5 prvků (arsen, antimon, bismut, zinek a fosfor). V době alchymistů se používaly pro různé „živly“ grafické symboly. Do těchto „živlů“ patřily vedle čtyř základních (oheň, vzduch, voda, země) i tehdy známé prvky, jejich obrázkové značky však nebyly jednotné, což bylo částečně i úmyslné. Pro známé kovy byly obvykle užívány grafické symboly, které rovněž znázorňovaly Slunce, Měsíc a planety, protože jednotlivé kovy byly přiřazovány k příslušným nebeským tělesům<sup>2</sup> (obr. 1).

Nejednotnost značek a objevy nových prvků vedly ke snahám o vytvoření nového systému symbolů prvků.



Obr. 1. Středověké symboly pro kovy, respektive pro nebeská tělesa

## Tabulka I

Tabulka prvků, jejich značky, názvy a historie (sestaveno podle cit.<sup>1,5-7</sup>)

Prot. číslo	Značka	Český název	Latinský název	Rok objevu, objevitel
1	H	<b>vodík</b>	Hydrogenium	1776, Henry Cavendish
2	He	helium	Helium	1895, William Ramsay (Brit.)
3	Li	lithium	Lithium	1817, Johan A. Arfwedson (Švéd.)
4	Be	beryllium	Beryllium	1798, Friedrich Woehler (Něm.)
5	B	bor	Borium	1808, Humphry Davy (Brit.)
6	C	<b>uhlík</b>	Carbonium nebo Carboneum	starověk
7	N	<b>dusík</b>	Nitrogenium	1772, Daniel Rutherford (Brit.)
8	O	<b>kyslík</b>	Oxygenium	1774, Joseph Priestley (Brit.)
9	F	fluor	Fluorum	1886, Henri Moissan (Fr.)
10	Ne	neon	Neon	1898, William Ramsay (Brit.)
11	Na	<b>sodík</b>	Natrium	1807, Humphry Davy (Brit.)
12	Mg	<b>hořčík</b>	Magnesium	1808, Humphry Davy (Brit.)
13	Al	<b>hliník</b>	Aluminium	1825, Hans C. Ørsted (Dán.)
14	Si	<b>křemík</b>	Silicium	1824, Jöns J. Berzelius (Švéd.)
15	P	fosfor	Phosphorus	1669, Hennig Brant (Něm.)
16	S	<b>síra</b>	Sulphur	starověk
17	Cl	chlor	Chlorum	1774, Karl W. Scheele (Švéd.)
18	Ar	argon	Argon	1894, William Ramsay (Brit.)
19	K	<b>draslík</b>	Kalium	1807, Humphry Davy (Brit.)
20	Ca	<b>vápník</b>	Calcium	1808, Humphry Davy (Brit.)
21	Sc	skandium	Scandium	1879, Lars Frederik Nilson (Švéd.)
22	Ti	titan	Titanium	1791, William Gregor (Brit.)
23	V	vanad	Vanadium	1830, Andrés Manuel del Río (Špa.)
24	Cr	chrom	Chromium	1797, Nicolas L. Vauquelin (Fr.)
25	Mn	mangan	Manganum	1774, Jacob Gahn a Karl W. Scheele (Švéd.)
26	Fe	<b>železo</b>	Ferrum	starověk
27	Co	kobalt	Cobaltum	1739, Georg Brandt (Švéd.)
28	Ni	nikl	Niccolum	1751, Axel F. Cronstedt (Švéd.)
29	Cu	<b>měď</b>	Cuprum	starověk
30	Zn	zinek	Zincum	středověk
31	Ga	gallium	Gallium	1875, Lecoq de Boisbaudran (Fr.)
32	Ge	germanium	Germanium	1886, Clemens Winkler (Něm.)
33	As	arsen	Arsenicum	středověk
34	Se	selen	Selenium	1818, Jöns Jacob Berzelius (Švéd.)
35	Br	brom	Bromum	1826, Antoine Jérôme Balard (Fr.)
36	Kr	krypton	Krypton	1898, William Ramsay (Brit.)
37	Rb	rubidium	Rubidium	1861, Robert Bunsen a Gustav Kirchhoff (Něm.)
38	Sr	stroncium	Strontium	1790, Humphry Davy (Brit.)
39	Y	yttrium	Yttrium	1794, Johan Gadolin (Fin.)
40	Zr	zirkonium	Zirconium	1789, Martin Heinrich Klaproth (Něm.)
41	Nb	niob	Niobium	1801, Charles Hatchett (Brit.)
42	Mo	molybden	Molybdenum	1778, Karl W. Scheele (Švéd.)
43	Tc	technecium	Technetium	1937, Carlo Perrier (It.)
44	Ru	ruthenium	Ruthenium	1844, Karl Karlovič Klaus (Rus.)
45	Rh	rhodium	Rhodium	1803, William Hyde Wollaston (Brit.)
46	Pd	palladium	Palladium	1803, William Hyde Wollaston (Brit.)
47	Ag	<b>stříbro</b>	Argentum	starověk
48	Cd	kadmium	Cadmium	1817, Friedrich Stromeyer (Něm.)
49	In	indium	Indium	1863, Ferdinand Reich (Něm.)
50	Sn	<b>cín</b>	Stannum	starověk
51	Sb	<b>antimon</b>	Stibium	středověk
52	Te	tellur	Tellurium	1782, Müller von Reichenstein (Rak.)

Tabulka I  
Pokračování

Prot. číslo	Značka	Český název	Latinský název	Rok objevu, objevitel
53	I	jod	Iodum	1811, Bernard Courtois (Fr.)
54	Xe	xenon	Xenon	1898, William Ramsay (Brit.)
55	Cs	cesium	Caesium	1860, Robert Bunsen a Gustav Kirchhoff (Něm.)
56	Ba	baryum	Barium	1808, Humphry Davy (Brit.)
57	La	lanthan	Lanthanum	1839, Carl Gustaf Mosander (Švéd.)
58	Ce	cer	Cerium	1803, Jöns Jacob Berzelius (Švéd.)
59	Pr	praseodym	Praseodymium	1885, Carl Auer Welsbach (Rak.)
60	Nd	neodym	Neodymium	1925, Carl Auer Welsbach (Rak.)
61	Pm	promethium	Promethium	1945, Jacob Akiba Marinsky (USA)
62	Sm	samarium	Samarium	1879, Lecoq de Boisbaudran (Fr.)
63	Eu	europium	Europium	1901, Eugène Anatole Demarçay (Fr.)
64	Gd	gadolinium	Gadolinium	1880, Jean C. Galissard de Marignac (Fr.)
65	Tb	terbium	Terbium	1843, Carl Gustaf Mosander (Švéd.)
66	Dy	dysprosium	Dysprosium	1896, Lecoq de Boisbaudran (Fr.)
67	Ho	holmium	Holmium	1878, Per Teodor Cleve (Švéd.)
68	Er	erbio	Erbium	1846, Carl Gustaf Mosander (Švéd.)
69	Tm	thulium	Thulium	1879, Per Teodor Cleve (Švéd.)
70	Yb	ytterbium	Ytterbium	1878, Georges Urbain a Jean. C. Galissard de Marignac (Fr.)
71	Lu	lutecium	Lutetium	1907, Georges Urbain (Fr.)
72	Hf	hafnium	Hafnium	1923, Dirk Coster (Niz.)
73	Ta	tantal	Tantalum	1802, Anders Gustaf Ekeberg (Švéd.)
74	W	wolfram	Wolframium	1783, José a Fausto de Elhuyar (Špa.)
75	Re	rhenium	Rhenium	1925, Walter Noddack (Něm.)
76	Os	osmium	Osmium	1804, Smithson Tennant (Brit.)
77	Ir	iridium	Iridium	1804, Smithson Tennant (Brit.)
78	Pt	platina	Platinum	1735, Antonio de Ulloa (Špan.)
79	Au	<b>zlato</b>	Aurum	starověk
80	Hg	<b>rtuť</b>	Hydrargyrum	starověk
81	Tl	thallium	Thallium	1861, William Crookes (Brit.)
82	Pb	<b>olovo</b>	Plumbum	starověk
83	Bi	bismut	Bismuthum	1753, Claude Francois Geoffroy (Fr.)
84	Po	polonium	Polonium	1898, Marie Curie (Pol.)
85	At	astat	Astatinum	1940, Dale Raymond Corson (USA)
86	Rn	radon	Radon	1898, Friedrich Ernst Dorn (Něm.)
87	Fr	francium	Francium	1939, Marguerite Perey (Fr.)
88	Ra	radium	Radium	1898, Friedrich Ernst Dorn (Něm.)
89	Ac	aktinium	Actinium	1889, André Louis Debierne (Fr.)
90	Th	thorium	Thorium	1828, Jöns Jacob Berzelius (Švéd.)
91	Pa	protaktinium	Protactinium	1917, Otto Hahn (Něm.)
92	U	uran	Uranium	1789, Martin Heinrich Klaproth (Něm.)
93	Np	neptunium	Neptunium	1940, Edwin Mattison McMillan (USA)
94	Pu	plutonium	Plutonium	1940, Glenn Theodore Seaborg (USA)
95	Am	americium	Americium	1945, Albert Ghiorso (USA)
96	Cm	curium	Curium	1944, Glenn Theodore Seaborg (USA)
97	Bk	berkelium	Berkelium	1949, Glenn Theodore Seaborg (USA)
98	Cf	kalifornium	Californium	1950, Glenn Theodore Seaborg (USA)
99	Es	einsteinium	Einsteinium	1952, Albert Ghiorso (USA)
100	Fm	fermium	Fermium	1953, Albert Ghiorso (USA)
101	Md	mendelevium	Mendelevium	1955, Glenn Theodore Seaborg (USA)
102	No	nobelium	Nobelium	1957, Glenn Theodore Seaborg (USA)
103	Lr	lawrencium	Lawrencium	1961, týmová práce (USA)
104	Rf	rutherfordium	Rutherfordium	1969, týmová práce (USA)
105	Db	dubnium	Dubnium	1970, týmová práce (USA)



Tabulka I  
Pokračování

Prot. číslo	Značka	Český název	Latinský název	Rok objevu, objevitel
106	Sg	seaborgium	Seaborgium	1974, Georgij Flerov (Rus.)
107	Bh	bohrium	Bohrium	1976, Georgij Flerov (Rus.)
108	Hs	hassium	Hassium	1984, Peter Armbruster (Něm.)
109	Mt	meitnerium	Meitnerium	1982, Peter Armbruster (Něm.)
110	Ds	darmstadtium	Darmstadtium	1994, týmová práce (Něm.)
111	Rg	roentgenium	Roentgenium*	1994, týmová práce (Něm.)
112	Cn	kopernicium	Copernicium*	1996, týmová práce (Něm.)
113	Nh	nihonium	Nihonium*	2004, týmová práce (Jap.)
114	Fl	flerovium	Flerovium*	1999, týmová práce (Rus.)
115	Mc	moscovium	Moscovium*	2004, týmy z Ruska a USA
116	Lv	livermorium	Livermorium*	2000, týmová práce (Rus.)
117	Ts	tennessin	Tennessee*	2012, týmy z Ruska a USA
118	Og	oganeson	Oganesson*	2006, týmy z Ruska a USA

\* Mezinárodní odborný název byl schválen jako anglický, nikoli latinský

V roce 1787 zavedl A. L. de Lavoisier svou klasifikaci chemických látek<sup>3</sup> a v souvislosti s ní francouzští chemici J. H. Hassenfratz a P. A. Adet navrhli pro prvky kombinaci obrazových symbolů a písmen<sup>3,4</sup>. Podobný zjednodušený návrh předložil v roce 1808 J. Dalton. Pro každý z tehdy známých prvků zavedl zvláštní úpravu kroužku. Také tyto symboly byly složité a obecně se neujaly. Až v roce 1811 zavedl švédský chemik J. J. Berzelius značky prvků odvozené z jejich latinských názvů<sup>4</sup>. Po určitých korekcích byly takové značky přijaty a obdobně se pak generovaly i značky pro nově objevené prvky.

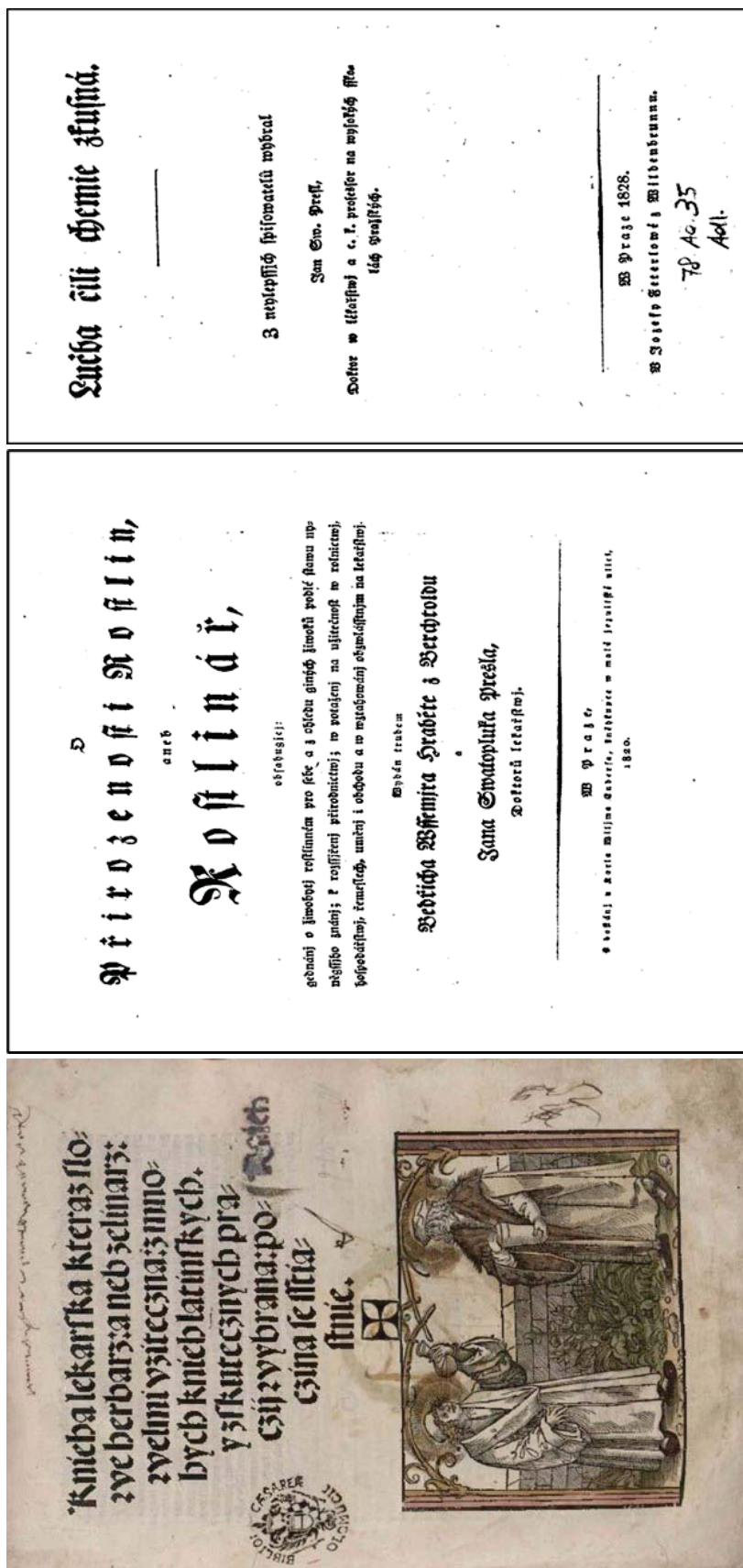
Do konce 18. století bylo známo jen 30 chemických prvků. V roce 1811 pracoval J. J. Berzelius s latinskými názvy 46 prvků. D. I. Mendělejev pro tvorbu své tabulky v roce 1869 měl k dispozici už 64 známých prvků (a existenci tří dalších předpověděl). Prudký vývoj chemické vědy v 19. století byl tak spojený se značným rozšířením rodiny chemických prvků, jak můžeme sledovat v tab. I. Toto období se v českém prostředí překrývalo s významnou fází českého národního obrození, kdy se naši buditelé snažili, aby čeština nebyla jen jazykem prostých lidí, ale i vzdělavců a vědců. I pro rozvíjející se chemii bylo proto nutno vytvořit českou terminologii. Prvním úkolem bylo nalezení českých názvů pro tehdy známé prvky.

Velmi dobře zpracovaný přehled vývoje českých názvů prvků a chemické terminologie lze sledovat na internetové stránce<sup>8</sup>, kterou lze nalézt pod heslem „Archaické názvosloví prvků...“. V tomto zdroji lze nalézt i odkazy na kopie důležitých historických spisů ve formátech PDF.

V obrozenecké době bylo možno vycházet z tradičních českých názvů nejstarších známých prvků. Jan Černý Niger ve své knize „*Knieha lekarska kteraz slowe herbarz aneb zelinarz*“ z roku 1517 (cit.<sup>9</sup>, obr. 2a) uvádí názvy od pradávna známých kovů „mjed“, „strziebro“, „zlatto“, „rtut“. Podobně znějící názvy kovů obsahuje slovník

„*Dictionarium von dreyen Sprachen, Teutsch, Lateinisch und Boehmisch*“ vydaný Kasparem Zachariem Wussinem v roce 1706 (cit.<sup>8</sup>). Navíc se zde uvádí jména pro zinek „cynk“, pro cín „cýn“ i „ceyn“, pro síru „syra“ nebo „syрка“ a pro nově objevený fosfor dva zvláštní názvy „hwězda gitřnj“ a „zwyřednice“ (názvy jsou přepsány z tzv. fraktury).

Velký krok v budování českého chemického názvosloví a terminologie učinil Jan Svatopluk Presl (1791 až 1849). Respektoval výše zmíněné staré české názvy a našel české neologismy pro další tehdy známé chemické prvky. Při jejich tvorbě se opíral o slovanské jazyky, inspiroval se například názvy ve spisu polského chemika Jędrzeia Śniadeckiego z roku 1816 – Presl doslova v úvodu svého spisu „*Lučba čili chemie zkusná*“ (cit.<sup>10</sup>) píše: „*Při této práci my Šnadecký spisem o lučbě polským gazykem napsaným swjtil*“ (text ve starém pravopisu po přepisu z fraktury). České názvy pro prvky Presl hledal podle prostředí, ve kterém jsou obsaženy nebo podle jejich účinku. Názvům dal „oživující“ příponu -ik (podle tehdejšího pravopisu psanou jako -jk). Většina Preslem zavedených názvů se poprvé objevila ve spisu „*O přirozenosti rostlin, aneb Rostlinář*“, který sepsali spolu Bedřich Všemír hrabě z Berchtoldu a Jan Svatopluk Presl a který vydali v roce 1820 (cit.<sup>11</sup>), titulní list viz obr. 2b. V tomto *Rostlináři* bylo uvedeno 25 českých názvů prvků. Většinu těchto názvů převzal beze změny Presl do svého dalšího díla „*Lučba čili chemie zkusná*“ z roku 1828 (cit.<sup>10</sup>), titulní list viz obr. 2c. Seznam prvků, které Presl nazývá „nerozlučeniny“, jsou na str. 20–22 tohoto spisu. Kopie těchto tří stran na obr. 3 ukazuje tehdy známé prvky a jejich značky zapsané tzv. frakturou (v tab. II jsou Preslovy názvy přepsány do latinky). Presl se obával, že navržené názvy nebudou všeobecně přijímány, v úvodu k *Lučbě* píše: „*Za druhé očekávám obwiňovánj některých, že gsem nowých slov vytvořil, nowot nadělal a gazykem mně toli-*



Obr. 2. Titulní listy spisů: Černý-Niger, „Herbarz“ (cit.<sup>9</sup>) (a); J. Presl, „Rostlinář“ (cit.<sup>11</sup>) (b) a J. Presl, „Zučba“ (cit.<sup>10</sup>) (c)



kolý srozumitelným psal. Takowéto wýčjtky mohau toliko wypiwati z mužů, kteří bud' staw nassj literatury, bud' staw nyněgssj věd neznagj“ (text ve starém pravopisu po přepisu z fraktury). Věřil však, že český jazyk (na rozdíl od jiných) poskytuje dostatek možností, jak se s potřebou nových slov vypořádat, a tak v úvodu své *Lučby* dále pokračuje: „*Slowanský gazyk sám sobě dostatečný, že pomoci cyzě nepotřebuge. Takowýmto způsobem bylo mi lze složiti názvoslowj lučebné, pauze národnj, gakového žádný národ dosawád nemá,...*“. Preslovi se zejména podařily názvy vodík, dusík, kyslík (pro které měl i německou předlohu – Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff), které nebyly v budoucnu již měněny. I řadu dalších Preslových názvů následní tvůrčí české chemické termi-

nologie respektovali. Pro některé prvky byly v určitém období navrhovány odlišné názvy (viz tab. II), avšak deset jmen z Preslova návrhu postupně přešlo do běžného jazyka a ty se užívají dodnes. Od Presla pochází také výraz pro obecnou chemii – „lučba“.

Josef Jungmann (1773–1847) ve svém díle „*Slownjk česko-německý*“, vydávaném v letech 1834 až 1839, zahrnuje veškeré české chemické názvosloví, které se do té doby vyskytlo<sup>8</sup>. To se týká především spisů Svatopluka Presla „*Lučba*“ z roku 1828, dále „*Rostlináře*“ z roku 1820 a také „*Nerostopisu*“ z roku 1937. V Jungmannově slovníku zaznamenané názvy pro vybrané prvky jsou obsaženy v porovnávací tab. II.

Tabulka II

Vývoj českých názvů u vybraných prvků (zpracováno s použitím cit.<sup>6,8–15</sup>)

Souč. název	Latinský název	Presl 1820/1821	Presl 1828	Jungmann 1834	Amerling 1852	Šafařík 1860
Vodík	Hydrogenium	wodjtk	wodjtk	wodjtk/wodilec	vodík	vodík
Lithium	Lithium		wraljtk	wraljtk/wralek	japík	lithium
Beryllium	Beryllium		sladjtk	sladjtk	sladjtk	beryllium
Bor	Borum		bořjtk	bořjtk	bledník	bór
Uhlík	Carboneum	uhljtk	uhljtk	uhljtk	uhlík	uhlík
Dusík	Nitrogenium	dusjtk	dusýtk	dusjtk	dusík	dusík
Kyslík	Oxygenium	kysljk	kysljk	kysljk/kyselec	kyslík	kyslík
Fluor	Fluorum	tekutjtk	kazýtk	tekutjtk/kazjtk	kazík	fluor
Sodík	Natrium	sodjtk	sodjtk	sodjtk	sodík	sodík
Hořčík	Magnesium	hořčjtk	hořčjtk	hořčjtk	hořčík	hořčík
Hliník	Aluminium	hlinjtk	hliník	hlinjtk	hliník	hliník
Křemík	Silicium	křemjtk	křemjtk	křemjtk/oblázjtk	křemík	křemík
Fosfor	Phosphorum	fosfor	kostjtk	kostjtk	kostík	fosfor
Chlor	Chlorum	soljtk	soljtk	soljtk	solík	chlór
Draslík	Kalium	drsljtk	drasljtk	drasljtk	draslík	draslík
Vápník	Calcium	wápnjtk	wápnjtk	wápnjtk	wápník	wápník
Titan	Titanium	chasonjtk	chasonjtk	chasonjtk	chasoník	titan
Chrom	Chromium	barwjt	barwjt	barwjt	barvík	chróm
Mangan	Manganum		germjtk	germjtk	buřík/jermík	mangan
Kobalt	Cobaltum	ďasýtk	ďasýtk	ďasjtk	ďasík	kobalt
Nikl	Niccolum	pochwistjtk	pochwistjtk	pochwistjtk	broník	nikl
Arsen	Arsenicum	arzenjtk	syťanjtk	siťanjtk	otrušík	arsén
Selen	Selenium		lunjtk	lunjtk	lunik/šváběl	selén
Zirkonium	Zirkonium		cyrkonjtk	cyrkonjtk	lálík	cirkonium
Molybden	Molybdenum		žestjtk	žestík	žestík	molybdén
Antimon	Stibium		surmjtk	surmjtk/surma	strabík	antimón
Brom	Bromum		wtožjtk	wtožjtk	brudík	bróm
Tellur	Tellurium	zemnjtk	zemnjtk	zemjtk/zemenjtk	zemník/župel	tellur
Jod	Iodum	chaluzjtk/řasjtk	chaluzýtk	řasjtk/chaluzjtk	řasík/chaluzík	iód
Barium	Barium	merotjtk	merotjtk	merotjtk	merotík	barium
Tantal	Tantalum		tantajt	tantaljtk	zdořík	tantal
Cer	Cerium	žiwenjtk	žiwenjtk	žiwenjtk	živeník	cerium
Wolfram	Wolframium	těžjtk	těžjtk	chwořjtk	chvořík	šél
Uran	Uranium	nebesnjtk	nebesnjtk	nebesnjtk	nebesník	uran
Osmium	Osmium	wonjtk	wonjtk	wonjtk	voník	osmium

Dalším významným tvůrcem českých chemických názvů byl Karel Slavoj Amerling (1807–1884). Ve své knize<sup>12</sup> „*Promyslný posel: Spis wssenaučný pro obecný lid a pro každého. Část prwnj: Lučba čili Chemie řemeslnj*“ z roku 1840 (psané ještě tzv. frakturou) uvádí již 54 chemických prvků (titulní list knihy viz obr. 4a). Později v roce 1851 ve spisu „*Lučební základové hospodářství a řemeslnictví*“, psaném již latinkou a upraveným českým pravopisem<sup>8</sup>, a především pak ve svém dalším díle<sup>13</sup> „*Orbis pictus čili svět v obrazích*“ z roku 1852 popisuje již 62 prvků (titulní list knihy viz obr. 4b). Amerling používá některá jména prvků od Presla, zavádí však řadu svých názvů, například „lálík“ pro zirkon, „zdořík“ pro tantal, „švábel“ pro selen, „župel“ pro tellur (viz tab. II). Kromě názvů uvádí u prvků i jejich české „známky“, to jest značky. Amerlingem nově zaváděné názvy, stejně jako starší Preslovy, odpovídají charakteru českého jazyka a jsou také pěkně znějící. Ovšem v polovině 19. století čeští chemici již běžně pracovali s texty svých kolegů nejen z Německa, ale i z celé Evropy, a tím se průběžně seznamovali s mezinárodně běžnými názvy nových prvků, proto se pro ně zaváděné české názvy již ujímaly obtížněji.

Amerling zavedl členění prvků do skupin nazývaných čeledě. Každý prvek v dané čeledi je uveden názvem českým (Amerlingovým), německým a latinským, dále krátkou charakteristikou a pak jeho „známkou“ (značkou), například dvě řádky pro vodík jsou následující (cit.<sup>13</sup>, str. 55): „*Vodik (Wasserstoff, Hydrogen), prvek čpivý č. čpavý t. čpavku dadoucí; známka jeho jest V, u cizinců H, ...*“. Amerlingových 11 čeledí chemických prvků je uvedeno ve stručném přehledu. Všechny čeledi začínají jejich stručnou charakteristikou. V nich zařazené prvky jsou v tomto textu pro krátkost uvedeny pouze tehdejšími názvy a „známkami“, k tomu jsou pro objasnění doplněny v závorce jejich dnešní mezinárodní značky (kromě prvků „pelopíku“ a „noříku“, jejichž existence se později nepotvrdila):

**I. Čeled’:** *prvkové svěžívi, rostění, zelenání rostlin, neb bůjení zvířat působící:* kyslík K (O), vodík V (H), dusík D (N), uhlík U (C).

**II. Čeled’:** *prvkové tak zvané švubíky (těžký dusný opar dadoucí, slovo pochodí od slova „švub“ – plyn horníkům škodný):* solík Sl (Cl), brudík Br (Br), chaluzík Ch (I), kazík Ka (F).

**III. Čeled’:** *prvkové sklivi č. sklo dadoucí:* bledník Bl (B), křemík Kř (Si).

**IV. Čeled’:** *prvkové k síře podobní č. sířiví:* síra S (S), švábel či luník Šv (Se), župel (Te).

**V. Čeled’:** *prvkové jedovatí otravující č. otrušiví:* kostík Ko (P), otrušík Ot (As), strabík Sb (Sb).

**VI. Čeled’:** *kovové olovití snadno rozlévající se:* rtuť Rt (Hg), kalík Kl (Bi), olovo Ol (Pb), zynek Zn (Zn), ladík Ld (Cd), cín C (Sn).

**VII. Čeled’:** *kovové barvovítí:* měď Md (Cu), chasoník Chs (Ti), barvík Bv (Cr), zdořík Zd (Ta), chořík Chv (W), žestík Žs (Mo), vandík Vd (V), nebesník N či U (U), pelopík Pp (?), niobík N či Nb (Nb).

**VIII. Čeled’:** *kovové zvláště magetmost podržující:* buřík Bu (Mn), železo Žl (Fe), d’asík Da (Co), broník Br (Ni).

**IX. Čeled’:** *vrcholové kovů č. tak zvané lépokovy:* stříbro Sř (Ag), palladík Pd (Pd), zlato Žl (Au), platík Pl (Pl), ruměnik Ru (Rh), duzík Dz (Ir), rusík Ru či Rs (Ru), voník Vo či Os (Os).

**X. Čeled’:** *prvkové alkaliční čili žiravní:* draslík Dr (K), sodík Sd (Na), japík Jp (Li), merotík Mr (Ba), strontík Sr (Sr), vápník Vp (Ca), hořík Hř (Mg), hliník H (Al).

**XI. Čeled’:** *prvkové trupeliví t. vždy neb hlavně co rozpadavý trupel se mající:* sladík Sld či G (Be), lalík Ll (Zr), ytřík Y (Y), terbík T (Tb), erbík (Er), nořík N (?), tořík T (Th), skrytík Skr či La (La), živeník Žv či Ce (Ce), dvojmocník Dv (Pr + Nd), věmočík Vě či Eu (Eu).

Amerlingovy „známky“ odvozené od jeho názvů prvků mají určité nedostatky, některé jsou třípísmenkové, zvláště ale ne vždy jsou jednoznačné (například Br pro brom i nikl, Ru pro rhodium i ruthenium). Několik „známek“ je pro dnešního chemika silně matoucích (H pro hliník, Br pro nikl, N pro uran).

Označení jednotlivých čeledí, která slouží jako kritéria pro začlenění prvků, jsou z dnešního pohledu dosti kuriózní. Kovy jsou podle nich rozděleny do čtyř čeledí. Amerlingovo členění je však z několika pohledů pozoruhodné. Do **II. čeledi** správně umístil všechny tehdy známé halogeny. Jeho **V. čeled’** obsahuje prvky dnešní 5. skupiny a **IV. čeled’** tvoří prvky 6. skupiny. Toto zařazení provedl Amerling řadu let před vznikem Mendělejevovy tabulky. Důležitost svého členění si dobře uvědomoval, na str. 59 svého *Orbisu*<sup>13</sup> píše: „*Zde tedy máme celé pořadí posud odkrytých prvků, a to spořádaných podlé čeledi svých přirozených, nikoli ale jak často umělecké knihy uměle podlé znaků jen některých sestavují. Z vlastností prvku jednoho známého v čeledi snadno souditi lze o vlastnostech prvků obsažených neznámějších.*“

V Amerlingově *Orbisu* je zobrazeno seřazení 56 prvků pomocí jejich chování v „mlunném“ (Voltově) sloupu nazvané „Mlunní pořadí prvků“ („*síla blesková či mluno = Electricität*“), cit.<sup>13</sup>, str. 59–60, viz obr. 4c. Amerlingovo mlunní pořadí je rozšířením dřívější Preslovy „poslaupnosti mlunolučebné“ (cit.<sup>10</sup>, str. 56). Způsob uspořádání prvků zhruba odpovídá řazení podle jejich stoupající elektronegativity.

Důležitou osobou pro tvorbu české chemické terminologie je Vojtěch Šafařík (1829–1902). V jeho „*Německo-českém slovníku vědeckého názvosloví*“ v roce 1853 poprvé upouští u řady prvků od specifického českého názvosloví<sup>8</sup>. Ve slovníku u dvaceti prvků dřívější české názvy zcela nahradil názvy mezinárodními, u řady dalších se český název stal variantním (ve slovníku je uváděn za mezinárodním). Naopak Václav Staněk ve svém „*Přírodopisu prostonárodním*“ z roku 1854 se opět vrací k českým názvům (Amerlingovým)<sup>8</sup>.

Vojtěch Šafařík dovršil své názvoslovné dílo v učebnici „*Základové chemie čili Lučby*“ z roku 1860 (cit.<sup>14</sup>, titulní list učebnice viz obr. 5a). I když použil Preslovo slovo „lučba“ v názvu svého spisu, nadále nedoporučoval používat toto slovo pro chemii, které (jak správně chápal) nevyjadřuje celé chemické zkoumání, což vyjádřil ve své učebnici poznámkou pod str. 4: „*Slova lučba, ač na ten čas již téměř u nás zobečnělého, předce tuto pokud*





*možné nebudeme užívatí, neboť chemia nemá za předmět pouhé loučení č. rozlučování těles přirozených na součásti, než také slučování jich dohromady na tělesa nová; jest ona tedy nejen lučba ale i slučba“.*

V učebnici *Základové chemie* prvky nazýval „prvkové“. Šafaříkův seznam prvků (cit.<sup>14</sup>, str. 12–14) již neobsahuje jinými autory dříve uváděné prvky, jejichž existence se nepotvrdila. V seznamu prvků uvádí prvek nejprve jím doporučeným českým názvem následovaným názvem latinským. V českém názvosloví prvků zůstalo pouze 10 Preslových názvů, které již v českém prostředí zdomácněly (viz tab. II), u ostatních prvků Šafařík zavádí česká jména odvozená od latinských (mezinárodních) a z nich generované značky prvků, dodnes nezměněné. Ve všech českých názvech odvozených z latinských píše u samohlásek čárku, jako chlór, bróm, jód, arsén, antimón, selén, chróm, molybdén (viz tab. II). Změnu většiny českých názvů prvků odůvodnil svým rozumným pohledem, citovaným ze strany 12 jeho učebnice<sup>14</sup>: „*Jména na prvním místě jsou česká, tak jak my jich napotom bez výminky užívatí chceme. Bylat' sice od mužův o náš jazyk a naše domácí vědy velezasloužilých všem prvkům bez výminky dána jména českého původu a znění, my však nechceme se v té věci přílišně od daleko největší části vzdělaných na světě národův odchýliti, obzvláště proto, poněvadž jména vůbec přijatá evropská beztoho chemikovi znáti nevyhnutelně třeba jest, a paměť tudíž dvojnásobně se břemení, neboť chemik beztoho bystré paměti velikou a ustavičnou má potřebu.*“ Zvláštní je jeho návrh názvu „šél“ pro wolfram, protože se domníval, že nakonec prvek získá jméno po německému chemikovi Carlu Wilhelmu Scheelemu (který již v roce 1781 popsal kyselinu wolframovou<sup>16</sup>).

Později se objevila řada pokusů zachovat pěkně znějící české názvy, i když byly Šafaříkem zavržené, k jejich návratu do všeobecného používání však nedošlo. Pouze jako alternativní názvy se až do začátku 20. století objevovaly jména kazík a kostíků.

Ve své učebnici také dobře vysvětluje význam značek prvků takto (cit.<sup>14</sup>, str. 11, viz obr. 5b): „... *chemikové těmi znaky nejen jisté prvky vůbec, než hned spolu jednu rovnomocninu týchž prvkův označují,*“ a o kus dále pokračuje: „... *sloučenství (Zusammensetzung) naznačuje se prostým sestavením značek náležejících každému z prvkův obsažených ve sloučenině (Verbindung), a tím způsobem nabytá chemická formule č. vzorec (chemische Formel) okazuje na první pohled, nejen jaké v sobě prvky má než i kolik z každého.*“

Kromě revoluce v názvech prvků se Šafařík dále zasloužil o českou nomenklaturu. Rozšířil Preslovy přípony na celkový počet osm. Přípony uvádí v následujícím pořadí: -ičnatý, -natý, -itý, -ičitý, -ový, -ičelý, -ičný, -istý (cit.<sup>14</sup>, str. 17, viz obr. 5c). V nich byla později pozměněna pouze první přípona. Pro vyjádření kompozice sloučeniny u počtu zastoupených prvků jako první zavedl dolní indexy místo dříve užívaných horních.

Šafaříkova nomenklatura reformy měla velice blahodárný vliv na následné české chemické písemnictví, které se touto reformou sjednotilo. České chemické názvosloví

bylo po Šafaříkovi ještě přepracováno v roce 1914, kdy hlavními iniciátory těchto změn byli Alexandr Sommer Batěk a Emil Votoček<sup>3</sup>. Původní Preslova a Šafaříkova pravidla v zásadě zůstala platná. Česká chemická terminologie se stala přesnou a unikátní ve využití pružnosti češtiny a jejich přípon pro vyjádření oxidačního čísla. Čeština jako mateřský jazyk tak poskytuje pro studium chemie ve srovnání s jinými jazyky určité výhody, proto by dnešní adeпти chemické vědy neměli reptat, že pro prvky s českými názvy se špatně učí jejich značky. Díky Šafaříkově reformě se to týká jen 19 prvků. Může je potěšit, že i v jiných jazycích se vyskytují názvy odlišné od mezinárodních. V němčině to platí i pro nejběžnější prvky (Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff). V mnoha jazycích mají kovy své středověké názvy, například Angličani mají své gold a silver a navíc také překvapivě pro sodík název sodium (ne natrium) a wolfram jako jedni z mála národů nazývají tungsten.

## LITERATURA

1. <https://iupac.org/iupac-is-naming-the-four-new-elements-nihonium-moscovium-tennessine-and-oganesson/>, staženo 8. 12. 2021.
2. <https://alchymistka.com/alchymisticka-symbolika>, staženo 27. 12. 2021.
3. Janek J.: Chem. Listy 113, 438 (2019).
4. <https://www.ped.muni.cz/wchem/sm/hc/hist/19/nazvoslovi.html>, staženo 18. 11. 2021.
5. [https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam\\_chemických\\_prvků](https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_chemických_prvků), staženo 28. 11. 2021.
6. <http://www.prvky.com/seznam-prvku.html>, staženo 28. 11. 2021.
7. <https://www.prirodovedci.cz/chemik/clanky/nove-pojmenovane-prvky-a-neco-malo-o-nich>, staženo 28. 11. 2021.
8. <https://canov.jergym.cz/objevite/objevite/tabulka.html>, staženo 28. 11. 2021.
9. Černý-Niger J.: *Knieha lekarska kteraz slowe herbarz aneb zelinarz*. M. Klaudian, Norimberk 1517. Kopie knihy ve formátu PDF na internetové stránce <http://eod.vkol.cz/ii32088/ii32088.pdf> stažena 4. 1. 2022.
10. Presl J. S.: *Přirodnictvĳ. Část Chemická. Lučba čili chemie zkusná*. Jozefa Feterlová z Wildenbrunnu, Praha 1828. Kopie spisu ve formátu PDF na internetové stránce<sup>8</sup> stažena 12. 11. 2021.
11. Berchtold B. V., Presl J. S.: *O přirozenosti rostlin aneb Rostlinář*. Karel Vilím Enders, Praha 1820. Kopie spisu ve formátu PDF na internetové stránce<sup>6</sup> stažena 12. 11. 2021.
12. Amerling K.: *Promyslný poseľ: Spis všnaučný pro obecný lid a pro každého. Část první: Lučba čili Chemie řemeslnĳ*. Knížecí arcibiskupská knihtiskárna, Praha 1840. Kopie spisu ve formátu PDF formátu na internetové stránce<sup>8</sup> stažena 12. 11. 2021.
13. Amerling K.: *Orbis pictus čili svět v obrazích*. České muzeum, Praha 1852. Kopie spisu ve formátu PDF formátu na internetové stránce<sup>8</sup> stažena 12. 11. 2021.
14. Šafařík V.: *Základové chemie čili Lučby*. Matice čes-



ká, Praha 1860. Kopie spisu ve formátu PDF na internetové stránce<sup>8</sup> stažena 18. 11. 2021.

15. <http://www.prvky.com/historicke-nazvy.html>, staženo 28. 11. 2021.
16. <https://www.britannica.com/science/tungsten-chemical-element>, staženo 26. 12. 2021.

**P. Holý** (*Chemické Listy, Prague*): **About Czech Names of Elements and Their Symbols**

The history of the creation of the names and symbols of elements resulting in the current form approved by IUPAC is long and interesting. A small number of elements have been known since ancient times and civilizations, from where they brought their names. Other elements were gradually being discovered from the 17<sup>th</sup> to the beginning of the 21<sup>st</sup> century. New elements have been variously named and subsequently provided with interna-

tional names. In Bohemia, the need to find Czech names for new elements appeared in the 19<sup>th</sup> century. An important creator of these names was Jan Svatopluk Presl. Some of its names are still used in Czech. Other Czech names were suggested by Karel Slavoj Amerling. Another notable creator of Czech chemical terminology, Vojtěch Šafařík, replaced some peculiar Czech names of elements with international ones, and only 19 of them have been keeping their original Czech names till present. After Šafařík's reform, Czech chemical terminology has been stabilized and remained essentially unchanged.

Keywords: Czech names of elements, Latin names of elements, international symbols of elements, history of Czech chemical nomenclature

- Holý P.: Chem. Listy 116, 242–253 (2022).
- <https://doi.org/10.54779/chl20220242>



## 74. Sjezd chemiků

4. – 7. září 2022, Olomouc

<https://sjezd74.csch.cz>



---

### Sekce:

- Anorganická a bioanorganická chemie
- Organická a bioorganická chemie
- Fyzikální chemie a materiálová chemie
- Analytická chemie
- Elektrochemie
- Chemické vzdělávání a historie chemie
- Termická analýza
- Porézní materiály
- Průmyslová chemie
- Chemie přírodních látek
- Biochemie

### Zvaní přednášející:

prof. Ing. Vladimír Křen, DrSc. (MBU AV ČR, Praha)  
RNDr. Aleš Gavenda, Ph.D. (Teva Czech Industries, Opava)  
Ing. Josef Mareš (Policie ČR, scénárista ČT, Praha)  
prof. RNDr. Jan Hlaváč, Ph.D. (UP Olomouc)  
doc. Ing. Ivan Šalitroš, Ph.D. (STU Bratislava)

---

*Vážené kolegyně, vážení kolegové,*

*dovolujeme si Vás pozvat jménem organizačního výboru na 74. sjezd chemiků, který se po deseti letech vrací do centra úrodné Hané, do Olomouce. Pevně věříme, že tak, jak je tato krajina mlékem a strdím oplývající, bude i tento sjezd zdrojem mnoha informací a inspirací pro všechny jeho účastníky. Sjezd chemiků je již tradičně příležitostí k setkávání nejen členů České nebo Slovenské společnosti chemické, ale všech chemiků, učitelů, studentů a přátel chemie. Chemie je přece jen jedna a prolíná se do mnoha odvětví lidské činnosti. A právě setkávání a sdílení toho dobrodružství vědy, které zažíváme v laboratořích nad baňkami, aparaturami nebo přístroji, je kořením našeho chemického života. Prosim, přijměte naše pozvání na tuto akci, jejímž cílem je ukázat zajímavou vědu, pokusit se o větší propojení s průmyslem, přinést atraktivní společenský program, podpořit všechny mladé a zkusit využít moderní komunikační prostředky.*

*Těšíme se na viděnou na sjezdu!*

*Tomáš Navrátil  
předseda ČSCH, předseda organizačního výboru*

*Jan Petr  
předseda místního organizačního výboru*

---



# BULLETIN

ASOCIACE ČESKÝCH CHEMICKÝCH SPOLEČNOSTÍ

Ročník 53

Číslo 2



*Lady Alchimia, nezn. autor*



Český komitét  
ČKCH  
pro chemii



ČESKÁ SPOLEČNOST CHEMICKÉHO INŽENÝRSTVÍ  
CZECH SOCIETY OF CHEMICAL ENGINEERING



## Obsah – Chemické listy 2022, číslo 2 a 3

### ČÍSLO 2/2022

#### ÚVODNÍK

**100 let od zrodu polarografie** 97

J. Barek

**Pojďme tvořit grafické abstrakty** 99

M. Jurášek, E. Benešová a V. Vyskočil

#### REFERÁTY

**Neurohypofyzární peptidy v lékařství z pražských a švédských laboratoří. Část II: desmopressin, terlipressin, carbetocin – farmakologie a klinické aplikace** 101

V. Pliska, A. Pařízek a M. Flegel

**Úložný obalový soubor pro vyhořelé jaderné palivo** 110

J. Rejková, J. Macák a L. Nachmilner

**O hormonu mládí** 115

M. Jurášek, L. Stárka a P. Drašar

**Využití nanočástic stříbra při úpravě, čištění a recyklaci vod** 119

P. Čiháková, J. Zuzáková a J. Řihová Ambrožová

**Mykotoxigenní rody mikromycet kontaminující potraviny a krmiva** 129

M. Kulišová a I. Kolouchová

#### PŮVODNÍ A METODICKÉ PRÁCE

**Zelená syntéza stříborných nanočástic a ich antibakteriální aktivita** 135

L. Balážová, A. Čižmárová, M. Baláž, N. Daneu,

A. Salayová, Z. Bedlovičová a L. Tkáčiková

### ČÍSLO 3/2022

#### ÚVODNÍK

**Ženy v české chemii** 145

J. Barek

#### REFERÁTY

**Sub/superkritická fluidní chromatografie pro analýzu chirálních sloučenin** 146

K. Kalíková, D. Folprechtová a Z. Kadlecová

**Od 5-azapyrimidinové chemie k thiadiazolům** 152

M. Krečmerová

**Nová role hemu ve zdraví a nemoci – hemové** 163

**senzorové proteiny**

M. Martínková

**Využití 3D-lipidových matic pro začlenění a stabilizaci biologicky aktivních molekul** 172

M. Zatloukalová

**Multiresponzivní polymerní kontrastní činidla pro <sup>19</sup>F MRI na bázi** 180

**poly[*n*-(2,2-difluorethyl)akrylamidu]**

K. Kolouchová a O. Groborz

**Role a zastoupení žen v české chemii, zejména na VŠCHT Praha** 187

A. Mittnerová

## ČESKO MÁ NOVÝ SUROVINOVÝ POKLAD

**PETR HOLÝ**

*Chemické listy, Novotného Lávkva 5, 116 68 Praha 1  
pholy382@seznam.cz*

**Klíčová slova:** lithiové baterie, výroba čistého manganu, český zdroj manganu, společnost *Euro Manganese Inc.*

• <https://doi.org/10.54779/chl20220257>

Když jsem v Chemických listech (CHL) psal o miliardovém lithiovém pokladu<sup>1,2</sup>, myslel jsem, že lithiem česká surovinová horečka končí. Teď se ale „objevil“ český manganový poklad, a to je úplně nový příběh, i když s tím lithiovým zajímavým způsobem souvisí.

Zprávy o českém manganu se v tisku začaly častěji objevovat teprve během minulého roku. Důvod je třeba objasnit, protože donedávna se světový trh s manganem vyvíjel celkem klidně a pojem český mangan byl téměř neznámý. Mangan je v přírodě dosti zastoupený prvek, ve výskytu na Zemi se řadí na dvanácté místo<sup>3</sup>. Největší naleziště manganových rud má Jihoafrická republika, Ukrajina, Brazílie, Austrálie a Indie<sup>4</sup>. Roční produkce manganu činí přibližně 20 milionů tun, největšími producenty manganu jsou Jihoafrická republika, Čína a Austrálie. Evropa veškerý mangan dováží. Mangan je rozhodující pro výrobu prakticky všech typů oceli, na což je spotřebováno až 90 % jeho roční produkce<sup>4</sup>. Celková spotřeba manganu dramaticky neroste, ale rychle stoupá poptávka po vysoce čistém manganu a jeho derivátech pro bateriový průmysl. Ročně se zatím vyrábí méně než 100 tisíc tun vysoce čistého manganu, což představuje pouze 0,5 % celosvětového trhu s manganem. Více než 80 % manganu vhodného pro baterie se vyrábí v Číně, a tudíž jakékoli přerušení čínských dodávek by mělo pro evropský automobilový průmysl velmi nepříjemné důsledky<sup>6</sup>. Proto vzrostl zájem o potenciální ložiska manganu v Evropě. Zatím neúspěšnější konstrukcí lithium-iontové baterie se stal typ článku s nikl-kobalt-manganovou katodou (NMC), který se stále častěji používá v elektrických vozidlech a pro ukládání elektrické energie<sup>5</sup> (chemický pohled na různé typy lithium-iontových baterií přináší článek v CHL<sup>7</sup>). Tyto baterie jsou schopny uchovat větší množství energie, zkracují čas nabíjení, mají vydrzet déle a jsou považovány za bezpečnější než jiné komerčně dostupné články. Vzhledem k těmto faktorům se očekává, že NMC baterie se v dohledné budoucnosti stanou dominantní technologií pro výrobu elektrických vozidel<sup>5</sup>. Tím rychle poroste poptávka po vysoce čistém manganu a manganových sloučeninách. Předpokládá se, že do roku 2030 bude třeba zvýšit celosvětovou

výrobu monohydrátu síranu manganatého, což je nejběžnější používaná forma manganu pro výrobu lithium-iontových baterií, více než 12krát ve srovnání s rokem 2020 (cit.<sup>6</sup>).

V této situaci vznikl pojem „český manganový poklad“. Česko totiž má k dispozici významný surovinový zdroj manganu, umožňující až třicetiletou významnou produkci elektrolytického manganu či monohydrátu síranu manganatého v „bateriové“ čistotě. České manganové ložisko nebylo třeba objevovat, bylo k dispozici v Čechách už dlouhou dobu. Nalézá se v okolí Chvaletic. Zdejší manganová surovina se nalézá na povrchu a je dokonce ve formě dobře zpracovatelného polotovaru. V této lokalitě se do roku 1975 těžil a zpracovával pyrit pro výrobu síry a následně kyseliny sirové. Odpadem z těchto operací vznikly postupně tři stávající chvaletické haldy (odkaliště) tvořící toto ložisko<sup>6,8,9</sup>. Na konci osmdesátých let zkoumala společnost Bateria Slaný využitelnost této hlušiny pro výrobu oxidu manganičitého pro použití v suchých bateriových článcích. Přestože studie potvrdily ekonomický potenciál hlušiny v obsaženém uhličitane manganatém, další práce byly po roce 1989 zastaveny. Až v letech 2016 až 2017 uskutečnila firma Mangan Chvaletice rozsáhlé vrtné práce k vyhodnocení kvantitativních a kvalitativních charakteristik všech tří ložisek hlušiny. Prokázalo se, že v odkalištích je vytěžitelných nejméně 23 milionů tun pyritové hlušiny, která obsahuje 7,4 % manganu, většinou ve formě uhličitane manganatého<sup>8</sup>. Firma Mangan Chvaletice je držitelem oprávnění k vyhledávání a průzkumu těchto ložisek<sup>10</sup>, což je předpoklad k následnému získání těžebních práv. Tato firma je začleněna do společnosti EMI (European Manganese Incorporation) se sídlem v kanadském Vancouveru<sup>6</sup>, která by ráda zahájila zhruba do čtyř let těžební práce. V konečných číslech by mohlo jít až o milion tun vytěžitelného kovu. Výstavba závodu by měla začít po získání všech nezbytných povolení v průběhu roku 2023. Vlastní výroba by pak mohla být zahájena v roce 2025 (cit.<sup>6</sup>).

O tento česko-kanadský projekt je v Evropě i ve světě velký zájem. Mangan v odkalištích představuje totiž podle zástupce společnosti Mangan Chvaletice jediný velký zdroj manganu v Evropské unii<sup>6</sup>. Projekt těžby manganu v Česku letos v březnu finančně podpořila společnost EIT InnoEnergy se sídlem v Nizozemsku – její vstupní investice činí čtvrt milionu eur (6,5 milionu korun)<sup>10</sup>. Kanadští těžaři si nově opatřili další peníze na rozjezd projektu. Společnost EMI totiž uzavřela dohodu s Evropskou bankou pro obnovu a rozvoj, která poskytne společnosti 8,5 milionu kanadských dolarů, a to výměnou za 4,5procentní akciový podíl<sup>11</sup>. Kanadská společnost už dříve podepsala memorandum s japonskou firmou JFE Steel Corporation o budoucích dodávkách vysoce čistého elektrolytického manganu z plánované ověřovací jednotky ve Chvaleticích pro jeho testování a vyhodnocování<sup>8</sup>. Jan Votava jako vý-

konný ředitel firmy Mangan Chvaletice očekává, že komerční rozvoj projektu a jeho spuštění ve Chvaleticích vytvoří přibližně 400 pracovních míst, řadu obchodních příležitostí pro české podniky a také značné fiskální příjmy pro český stát a místní komunitu<sup>6</sup>. Výkonný ředitel společnosti European Manganese Incorporation Marco Romero prohlásil, že jakmile bude projekt funkční, společnost se stane jedním z největších světových producentů vysoce čistého manganu s roční produkcí 50 tisíc tun po dobu nejméně pětadvaceti let<sup>9</sup>. Geolog Václav Cílek ovšem soudí<sup>9</sup>, že manganu se jinde ve světě podle něj těží dostatečné množství a chvaletický projekt tak nepovažuje za jednoznačně zajímavou ekonomickou příležitost.

Pokud se projekt ve Chvaleticích úspěšně rozběhne, stane se Česko na světovém poli výroby moderních lithiových baterií významným evropským hráčem, protože se bude podílet na materiálovém zajištění evropské výroby produkcí nejen lithia, ale i dalšího důležitého kovu. Z ekologického pohledu je navíc významné, že chvaletický projekt řeší likvidaci letitých těžebních odpadů.

Za předpokladu, že kanadská firma získá všechna potřebná povolení a ověřovací provoz potvrdí úspěšnost zvoleného technologického zpracování suroviny, může jít o dosti velký byznys. Z roční produkce 50 tisíc tun vysoce čistého manganu se při jeho současné ceně (okolo 2000 USD za tunu<sup>10</sup>) dá získat zhruba 100 milionů dolarů. S předpokládaným růstem ceny se tato suma bude úměrně zvyšovat a s 25letou perspektivou produkce vystoupí hodnota celého projektu na několik miliard dolarů. I když by těžařská firma platila státu poplatky až 120 milionů Kč ročně<sup>8</sup>, většina zisku odplyne do Kanady.

Z okolností kolem chystaného projektu vysvítá, že příběh českého manganového pokladu není příliš originální. Stačí si v něm totiž dosadit místo Chvaletic město Cínovec a českou firmu Mangan Chvaletice začleněnou do kanadské společnosti European Manganese Incorporation nahradit spojením české firmy Geomet s australským holdingem European Metals. Pak se jasně ukáže, že příběh českého manganu se odehrává podle scénáře jako podle kopíráku převzatého z kauzy českého lithia. To dává zajímavou příležitost sledovat, zda i další dějství českého manganového příběhu se budou podobat zatím poněkud strnulému stavu využití českého lithiového pokladu.

## LITERATURA

1. Holý P.: Chem. Listy 112, 141 (2018).
2. Holý P.: Chem. Listy 115, 413 (2021).
3. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mangan>, staženo 12. 1. 2022.
4. <http://www.prvky.com/25.html>, staženo 12. 1. 2022.
5. <https://www.mn25.cz/mangan>, staženo 12. 1. 2022.
6. [https://www.obnovitelne.cz/clanek/1858/miliardovy-poklad-ceske-lozisko-manganu-do-baterii-snizi-](https://www.obnovitelne.cz/clanek/1858/miliardovy-poklad-ceske-lozisko-manganu-do-baterii-snizi-zavislost-evropy-na-dovozu/)

[zavislost-evropy-na-dovozu/](https://www.obnovitelne.cz/clanek/1858/miliardovy-poklad-ceske-lozisko-manganu-do-baterii-snizi-zavislost-evropy-na-dovozu/)

[utm\\_source=www.seznam.cz&utm\\_medium=sekce-z-interne-](https://www.seznam.cz/utm_medium=sekce-z-interne-)

[tu#dop\\_ab\\_variant=664531&dop\\_source\\_zone\\_name=hpfeed.sznhp.box&dop\\_req\\_id=rZRZ5cGtasJ-202201071526&dop\\_id=14787767](https://www.seznam.cz/utm_medium=sekce-z-interne-tu#dop_ab_variant=664531&dop_source_zone_name=hpfeed.sznhp.box&dop_req_id=rZRZ5cGtasJ-202201071526&dop_id=14787767), staženo 12. 1. 2022.

7. Pavlovec L., Žitka J., Pientka Z.: Chem. Listy 112, 508 (2018).
8. <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/bez-zarazeni/2482-mangan-z-chvaletickyh-odkalist>, staženo 12. 1. 2022.
9. <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/mangan-jako-nove-lithium-ve-chvaleticich-se-chteji-dostat-me/r~c68c1afc8e1511ebaedf0cc47ab5f122/>, staženo 12. 1. 2022.
10. <https://pardubice.rozhlas.cz/chvaleticke-bahno-skryva-bohatstvi-z-odkaliste-chteji-tezari-dostat-milion-tun-7161590>, staženo 12. 1. 2022.
11. <https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/chvaleticky-mangan-ziskal-podporu-evropske-rozvoje-banky-do-projektu-dala-miliony-dolaru-1386693>, staženo 12. 1. 2022.

## P. Holý (*Chemické Listy, Prague*): The Czech Republic has a New Raw Material Treasure

The most promising type of lithium-ion battery for use in electric vehicles and for storing electrical energy is the cell with a nickel-cobalt-manganese cathode (NMC). For its production, high-purity manganese is required, which is currently produced mainly by China. The need for NMC cathode cells to ensure electromobility will grow sharply, which is why the European automotive industry is very interested in introducing electrolytic manganese production in Europe. From this point of view, the Czech source of manganese, which originated near the town Chvaletice (east Bohemia) as waste after the former pyrite mining, became interesting. This deposit is going to be exploit by the Czech company Mangan Chvaletice now involved in the European Manganese Incorporation. The production of high-purity manganese in a volume of 50 thousand tons per year is to begin in 2025. It is interesting to compare this project with the expected exploitation of the Czech lithium treasure in northwest Bohemia.

Keywords: lithium batteries, production of pure manganese, Czech source of manganese, European Manganese Inc.

- Holý P.: Chem. Listy 116, 257–258 (2022).
- <https://doi.org/10.54779/chl20220257>

## MEZINÁRODNÍ MOBILITY VĚDECKO-VÝZKUMNÝCH PRACOVNÍKŮ, NOVÉ PODPŮRNÉ NÁSTROJE NA VŠCHT PRAHA

ANNA MITTNEROVÁ

*Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Zahraniční oddělení, Technická 5, 166 28 Praha 6  
Anna.mittnerova@vscht.cz*

Klíčová slova: mezinárodní mobility, vědecko-výzkumný pracovník, HR AWARD, průvodce legislativou, Welcome centre, koordinace sociálního zabezpečení, mezinárodní zdanění příjmů

● <https://doi.org/10.54779/chl20220259>

### Politiky a strategie Evropské komise (DG RTD) pro výzkum, vývoj a inovace

Před 10 lety (2011) představilo Generální ředitelství Evropské Komise pro výzkum a inovace (DG RTD) ve svém sdělení Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a Výboru regionů strategii Evropa 2020 „Unie inovací“<sup>1</sup> a její stěžejní iniciativy v oblasti vědy, výzkumu a inovací. Jednou ze součástí nového návrhu této strategie, která se promítla do tehdy nově připravovaného rámcového programu HORIZON 2020 (2014–2020) a i do národních politik a programů členských zemí na podporu vědy, výzkumu a inovací, bylo zavedení opatření, která by měla odstraňovat překážky a hledat cesty k mezinárodní spolupráci a mobilitám vědeckých pracovníků v evropském výzkumném prostoru. Nové iniciativy se měly zaměřit na zvyšování kvality doktorského vzdělávání, vytváření atraktivních podmínek pro zaměstnávání a vyvážené zastoupení žen a mužů ve vědecko-výzkumných kariérách. Mobility vědecko-výzkumných pracovníků v příští dekádě měly probíhat napříč zeměmi a odvětvími, na základě otevřeného náboru na veřejných univerzitách a ve veřejných výzkumných institucích a vzhledem k nízké demografické reprodukci v evropských zemích měla Unie podpořit i příliv mladých talentů ze třetích zemí. Bylo doporučeno i vytváření evropských doplňkových penzijních fondů. V nadcházejícím programovém období v letech 2014–2020 mělo být zajištěno přeshraniční (cross-border) fungování výzkumných organizací a infrastruktur a jejich otevřenost celé evropské výzkumné komunitě, zajištěno financování v mezinárodním kontextu, zjednodušená pravidla poskytování veřejné podpory VaV, sjednoceny vnitrostátní strategie a akce pro mezinárodní spolupráci ve vědě a výzkumu. Výsledky z veřejně financovaného vědeckého výzkumu a vývoje měly být šířeny a sdílány prostřednictvím otevřeného přístupu k publikacím a údajům (Open-Access).

V evropském rámcovém programu HORIZON 2020 byl alokovan na specifický program Marie Skłodowska-Curie Actions (MSCA) podporující mezinárodní mobility výzkumníků rozpočet 6162 (cit.<sup>2</sup>) milionů EUR, což je 8 % z celkového rozpočtu programu. Jelikož byl v návrzích projektů MSCA obrovský převis a dal se očekávat i další nárůst, došlo k rozhodnutí, že ty návrhy projektů, které v hodnocení na úrovni Evropské komise uspějí a splní požadovanou bodovou hranici pro financování, ale nedostane se na ně z důvodu nedostatečného množství rozpočtových prostředků na danou výzvu na straně Evropské komise, bude možné financovat z prostředků ESIF alokovaných do národních Operačních programů<sup>3</sup>. MŠMT tuto možnost využilo a prostřednictvím Operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání (OP VVV), specifické priority „Mezinárodní mobilita výzkumných pracovníků – MSCA-IF“<sup>4</sup> podpořilo kvalitní projekty podávané českými VO (výzkumné organizace, to je VŠ a v.v.i.) ve výzvách programu MSCA HORIZON 2020.

### Podpora mezinárodních mobilit ve vědě a výzkumu v programovém období 2021–2027

V uplynulých deseti letech měly české VŠ a v.v.i. možnost získávat nové zkušenosti s mezinárodními mobilitami vědeckých pracovníků, vytvořit si vnitřní systémy a strategie na řízení lidských zdrojů v oblasti mezinárodního zaměstnávání a vysílání vědců do zahraničí, mnohé VŠ a v.v.i. již získaly značku „HR Excellence in Research Award“ (cit.<sup>5</sup>) za příkladný přístup v péči o lidské zdroje ve vědeckém prostředí ve smyslu dodržování principů stanovených v „Evropské chartě pro výzkumné pracovníky a Kodexu chování pro přijímání nových pracovníků“<sup>6</sup>.

Nový rámcový program HORIZON EUROPE pro výzkum, vývoj a inovace zahrnuje opět specifický program Marie Skłodowska-Curie Actions a je na něj alokováno 6,8 miliard EUR. V České republice se již letos očekávají výzvy v rámci nového Operačního programu Jan Amos Komenský (OP JAK)<sup>7</sup>, ve kterém je v prioritní ose P.1. obsažen specifický cíl SC 1.1 (cit.<sup>8</sup>), zaměřený na „Rozvoj a posilování výzkumných a inovačních kapacit a zavádění pokročilých technologií“. Tento specifický cíl bude zahrnovat v rámci rozvoje institucionálního prostředí VO i podporu internacionalizace, podporu zahraničních mobilit pracovníků ve výzkumu, aktivity na poskytování účinné pomoci zahraničním výzkumníkům, např. zřizováním a činnostmi „Welcome offices“ s poskytováním asistenčních služeb pro příchozí kvalifikované (zejména zahraniční) pracovníky. Očekává se i změna institucionálního prostředí VO v příslušném nastavení vnitřních procesů, v rozvoji kompetencí zaměstnanců tak, aby bylo prostředí VO příznivé nejen pro přijíždějící zahraniční výzkumníky, ale aby napomáhalo i osobnímu kariéernímu rozvoji všech



výzkumných pracovníků, umožňovalo jejich mobility do zahraničí a zvyšovalo jejich schopnost realizovat nové záměry a přístupy k vytváření nových mezinárodních vazeb<sup>9</sup>.

### VŠCHT Praha, nové systémy a podpůrné nástroje po mezinárodní mobilitě

Výzkumné týmy z VŠCHT Praha se dlouhodobě velmi aktivně zapojují do rámcových programů EU<sup>10</sup> a dalších programů mezinárodní spolupráce. Výzkumné týmy zaměstnávají nejen české, ale i zahraniční studenty doktorských studijních programů (DSP). V roce 2019, před vypuknutím pandemie SARS-Cov-2 bylo na této vysoké škole zaměstnáno (včetně částečných pracovních úvazků či DPP) celkem 162 cizinců (M=79, Ž=83), z toho 78 cizinců z třetích zemí světa (z 27 zemí) a 56 cizinců ze zemí EU, včetně Slovenska (32 osob). V roce 2021 jejich počet mírně vzrostl i přes striktní pandemická opatření. Krom toho na VŠCHT hostovali na krátkodobých návštěvách a na různě dlouhých stážích i další zahraniční vědci a akademičtí pracovníci, které jsme nově začali zahrnovat do centrální evidence cizinců působících na této škole. Aby bylo možno agendu zvládat a nedocházelo k pochybením při vyřizování administrativních povinností vyplývajících z národní a mezinárodní legislativy, byl navržen a vytvořen za podpory projektu financovaného z OP VVV, KA9 „Řízení mobility zahraničních pracovníků“, informační systém MOBIS<sup>11</sup> pro registraci všech přijíždějících a stávajících zahraničních pracovníků a hostů. Systém se velmi osvědčuje, zejména umožňuje elektronické schvalování příjezdů nebo zaměstnání již stávajících zahraničních studentů DSP, nových pracovníků nebo hostů nadřízenými osobami na příslušném pracovišti a fakultě, umožňuje sledovat vazbu mezi termíny povolení k pobytu, případně délkou pobytu v ČR v návaznosti na uzavřené pracovní smlouvy a dohody o hostování a upozorňuje včas příslušné pracoviště i samotného pracovníka na blížící se expiraci povolení k pobytu nebo konec pracovní smlouvy. Zároveň byla navržena struktura a vytvořen obsah webových stránek Welcome centra<sup>12</sup> pro zahraniční vědce. Stránky obsahují informace o náležitostech, které je nutno vyřizovat před příjezdem do ČR, po příjezdu, při nástupu do zaměstnání, během pobytu a při jeho ukončování. Stránky rovněž obsahují praktické informace o životě

v Praze, aby tak usnadnily cizincům lepší integraci do nového prostředí.

Agenda mezinárodních mobilit zahraničních výzkumníků a doktorandů, kteří se podílejí na řešení výzkumných projektů, je velmi komplexní a komplikovaná. Při zaměstnávání nebo hostování cizinců je nutné řešit náročnou administrativu vyplývající z legislativy v oblasti cizineckého práva, pracovního práva, u evropských mobilit je důležité znát a dodržovat pravidla koordinace systémů sociálního zabezpečení v rámci EU/EHP a Švýcarska, se kterými souvisí i zdravotní pojištění. Nesmí se opomíjet ani legislativa mezinárodního zdanění příjmů, týkající se fyzických osob a jejich zaměstnavatelů, vyplývající z daňových zákonů různých zemí a z ustanovení bilaterálních smluv o zamezení dvojímu zdanění. Na základě dosavadních zkušeností a po absolvování četných odborných kurzů a školení byla autorským kolektivem vedeným Ing. A. Mittnerovou napsaná a vydaná příručka pro české VŠ a v.v.i. s názvem „Zaměstnávání a hostování cizinců v českém akademickém prostředí“<sup>13</sup>. Publikace je průvodcem související legislativou a podává přehled úkonů a administrativních náležitostí, které je nutné vyřizovat při různých formách a délkách pobytů cizinců na českých VO a obsahuje i praktické rady, např. s jakým předstihem začít příjezd nového zahraničního pracovníka vyřizovat, co by měl zahraniční vědec vědět o systému sociálního pojištění a zdanění příjmů v České republice a jaké povinnosti má ve státní daňové rezidence.

Neméně komplikovaná je i legislativa související s výjezdy a pobyty vědeckých pracovníků do zahraničí, ať již do členských zemí EU/EHP a Švýcarska nebo do třetích zemí světa. Stejným autorským týmem byla napsaná a vydaná i druhá publikace „Výjezdy do zahraničí v akademické sféře“<sup>14</sup>, průvodce související legislativou v mezinárodním kontextu v oblasti práva cizineckého, pracovního, sociálního zabezpečení, zdravotního pojištění (pro EU a třetí země smluvní a nesmluvní) a mezinárod-







ního zdaňování příjmů. V publikaci jsou uvedeny i příklady různého typu pobytu v zahraničí, kdy je pracovník buď vyslán svou českou VO nebo zaměstnán pouze zahraniční institucí a zůstává na neplaceném volnu ve své domovské VO, případně má souběh zaměstnání ve dvou nebo více zemích, což je z hlediska administrativy velmi komplikovaný případ. Jeden z příkladů popisuje

řešení výjezdů zaměstnaných studentů DSP na zahraniční stáže podpořené z programu ERASMUS.

Díky projektu s názvem „Průvodce administrativou pro internacionální pracovníky v akademickém prostředí“ PrAdIP, řešenému na zahraničním oddělení VŠCHT Praha v období 05/2020–12/2021, byl autorský kolektiv schopen nastudovat příslušnou legislativu, proškolit se v kurzech zaměřených na tuto problematiku a na základě získaných komplexních znalostí zpracovat texty těchto dvou publikací a souvisejících webových stránek<sup>15</sup>. Publikace byly vydány na konci roku 2021 jak formou tištěných brožurek, tak i v elektronické podobě, jsou přístupné ke stažení zdarma z katalogu Vydavatelství VŠCHT Praha<sup>16</sup>, podléhají licenci Creative Commons „Uveďte původ – Neužívejte komerčně – Nezpracovávejte“. Nejen tyto publikace, ale i další výsledky projektu PrAdIP jsou zveřejněny na webové stránce <https://eupro.vscht.cz/pradip>.

## Závěr

Mezinárodní mobility jsou z hlediska politik v oblasti vědy, výzkumu a inovací nástrojem pro posilování konkurenceschopnosti evropského výzkumného prostoru, napomáhají rozvoji VO a zejména slouží kariéřnímu rozvoji samotných vědeckých pracovníků a pracovníc. Z hlediska administrativy a souvisejících legislativních náležitostí bývají mezinárodní mobility výzkumníků komplikované, a proto je velmi přínosné, když na VO fungují administrativní oddělení, která mají dobře proškolené pracovníky/ce, kteří tuto náročnou agendu dobře zvládají a dokáží tak ušetřit spoustu práce a času vědcům a akademikům, nejen těm českým, ale i těm, kteří k nám přijíždějí ze zahraničí.

*Projekt „PRADIP“, podpořený z programu MŠMT INTER-EXCELENCE/INTER-INFORM, kód projektu LTI20003.*

## LITERATURA

1. European Commission, Europe 2020 Flagship Initiative, Innovation Union: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/feb8c03e-523f-4437-9aa0-d27e71fe582c/language-en>, staženo 8. 2. 2022.
2. European Commission Factsheet: Horizon 2020 budget, [https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/default/files/Factsheet\\_budget\\_H2020\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/default/files/Factsheet_budget_H2020_0.pdf), staženo 8. 2. 2022.
3. MŠMT, Národní informační den ke grantům MSCA, <https://www.msmt.cz/vyzkum-a-vyvoj-2/narodni-informacni-den-ke-grantum-msca>, staženo 8. 2. 2022.
4. MŠMT OP VVV: <https://opvvv.msmt.cz/aktualita/vyzvy-mezinarodni-mobilita-vyzkumnych-pracovniku-msca-if-msca-if-ii-msca-if-iii-a-msca-if-iv-metodicke-dopisy-k-pravidlum-pro-zadatele-a-prijemce-specificka-cast.htm>, staženo 8. 2. 2022.
5. HR AWARD, <https://www.h2020.cz/cs/eit-jrc-horizontalni-aktivity-auratom/veda-se-spolecnosti-a-pro-spolecnost/informace/novinky/hr-award-excelence-lidskych-zdroju-ve-vyzkumu>, staženo 8. 2. 2022.
6. Charta a Kodex pro přijímání výzkumných pracovníků, <https://euraxess.ec.europa.eu/jobs/charter>, staženo 8. 2. 2022.
7. OP JAK, <https://opjak.cz/>, staženo 22. 2. 2022.
8. MŠMT: OPERAČNÍ PROGRAM JAN AMOS KOMENSKÝ (2021–2027) Verze 2.2 (23. 9. 2021), <https://opvvv.msmt.cz/download/file5679.pdf>, staženo 22. 2. 2022.
9. MŠMT: Program podpory mezinárodní spolupráce, <https://www.msmt.cz/vyzkum-a-vyvoj-2/program-podpory-mezinarodni-spoluprace-ve-vyzkumu-vyvoji-a>, staženo 22. 2. 2022.
10. VŠCHT Praha, zapojení v projektech rámcových programů EU, <https://www.vscht.cz/veda-a-vyzkum/projekty/resene-projekty/tp>, staženo 8. 2. 2022.
11. MOBIS, <https://www.vscht.cz/kariera/zahranicni-vyzkumnici>, staženo 8. 2. 2022.
12. Welcome centre UCT Prague, <https://international.vscht.cz/international-staff>, staženo 8. 2. 2022.
13. Zaměstnávání a hostování cizinců, [https://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid=uid\\_isbn-978-80-7592-112-3](https://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid=uid_isbn-978-80-7592-112-3), staženo 8. 2. 2022.
14. Výjezdy do zahraničí v akademické sféře, [https://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid=uid\\_isbn-978-80-7592-104-8](https://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid=uid_isbn-978-80-7592-104-8), staženo 8. 2. 2022.
15. PrAdIP, <https://eupro.vscht.cz/pradip>, staženo 8. 2. 2022.
16. Vydavatelství VŠCHT Praha, katalog, <https://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog>, staženo 8. 2. 2022.

- Mittnerová A.: Chem. Listy 116, 259–261 (2022).
- <https://doi.org/10.54779/chl20220259>

## BRONZ – JAK SE POTKÁVÁ CHEMIE S METALURGIÍ, FYZIKOU MATERIÁLŮ A SOCIÁLNÍ ANTROPOLOGIÍ

MIROSLAV RAAB<sup>a</sup>, MARTIN HRUBÝ<sup>a</sup>  
a JOHANNA VRABCOVÁ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Ústav makromolekulární chemie Akademie věd České republiky, v.v.i., Heyrovského náměstí 2, 162 06 Praha 6,  
<sup>b</sup> Filozofická fakulta Univerzity Karlovy, nám. Jana Palacha 1/2, 116 38 Praha 1  
raab@imc.cas.cz

Kdyby se konala mezinárodní vědecká konference na téma bronz, mohla by se sejít velice početná, různorodá a zajímavá společnost: metalurgové, chemici, fyzikové, historici, lingvisté, ale také umělci a sociální antropologové. Předšálí a samotné téma *bronz* by využila jedna přední kosmetická firma a představila své produkty: bronzující pudr ve třech odstínech a bronzující balzám k použití na celé nahé tělo, *Bronze to Paradise*. My jsme teď na téma bronz a pro sepsání populárně vědecké studie sestavili tým jen tříčlenný. Ale i tři lidé už přece tvoří společnost. (*Tres faciunt collegium*.) Náš tým je ovšem mezioborový, ale navíc také mezigenerační. Tvoří ho emeritní fyzik, aktivní chemik a posluchačka sociologie. Každý člen našeho týmu k tématu bronz přispěje svým dílem ze svého hlediska.

### Lingvistika

Slovo *bronz* je prastaré. To je zřejmé už z toho, že se píše a vyslovuje velmi podobně ve většině evropských jazyků. Angličtina zná slovo *bronze* nejméně od konce sedmáctého století. Zřejmě si ho vypůjčila ze středověké francouzštiny, která ho zase převzala z italského slova *bronzo*, což ve třináctém století znamenalo zvonovinu. Vlastně se jednalo o přepis ze středověké latiny, *bronzium*. Slovo bronz je slyšet z názvu města Brindisi, latinsky *Brundisium*. To město proslulo výrobou bronzových zrcadel. A můžeme jít i hlouběji do minulosti, do byzantské řečtiny, *brontésion*, anebo až do staré perštiny, *birinji*. České slovo *bronz* se zřejmě inspirovalo němčinou, která má pro bronz slovo ženského rodu *die Bronze* a převzala ho nepochybně z italštiny. Jak se poznatky o metalurgii bronzu šířily ze středního východu na západ, přesouvalo se i jméno tohoto důležitého materiálu.

### Metalurgie

Bronz v běžném a původním významu je v podstatě slitina jen dvou kovů, mědi a cínu<sup>2,7</sup>. (Dnes se ovšem mezi bronzы počítají i mnohem složitější slitiny, které obsahují také hliník, olovo, zinek nebo beryllium.) Oproti samotné mědi má bronz celou řadu výhodných vlastností. Vyšší tvrdost a houževnatost, snadnější zpracovatelnost a nižší

bod tání. Ten se ostatně může podle obsahu cínu plynule nastavit. Vlastnosti bronzových odlitků, třeba nožů a mečů, lze dále výrazně zlepšit kovářským zpracováním.

Výhodné materiálové vlastnosti udržely bronz mezi důležitými materiály do současnosti. Kromě zvonů a soch se z něj vyrábějí také lodní šrouby, samomazná ložiska, speciální pružiny, pevné šrouby, páčidla, která při nárazu na jiný kov nejiskří, a mnoho dalších výrobků.

### Chemie

Bronz velmi zajímá chemiky, a to hned z několika hledisek. Především bronz ve své mikrokrystalické struktuře obsahuje nejen samotné kovy měď a cín, ale také tuhý roztok cínu v mědi (fáze alfa) a intermetalické sloučeniny těchto prvků, například  $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$  (fáze delta).

Zajímavou a samostatnou kapitolou je povrchová chemie, jak samotné mědi, tak její slitiny, tedy bronzu. Povětrnostními vlivy se na povrchu mědi vytváří měděnka<sup>3</sup>, zelený povlak, který dodává kopulím a věžím charakteristický vzhled. Co by byla bez měděnky kopule malostranského chrámu svatého Mikuláše, pardubická Zelená brána nebo znojemská radniční věž s devíti zelenými věžemi. (Ta bývala i symbolem znojemských okurek.) Z chemického hlediska má měděnka proměnlivé složení podle okolního prostředí. Když je měděný povrch vystaven přímo dešti, pak měděnku tvoří hlavně hydroxid měďnatý, když je povrch pod střešou v čistém prostředí, převažuje bazický uhličitán měďnatý. V městském prostředí, kde je ovzduší znečištěno sloučeninami síry, se tvoří zásaditý síran měďnatý a u moře, kde jsou ve vzduchu aerosoly mořské soli, vzniká zásaditý chlorid měďnatý.

Zvláštní složení má měděnka na povrchu destilačního zařízení v palírnách. Obsahuje bazický octan měďnatý. Tuto měděnku připravovali záměrně staří mistři jako barevný pigment do malířských barev. Měděnka chrání povrch mědi před další korozí, podobně jako vrstvička oxidu hlinitého chrání hliník a vrstvička oxidu titaničitého titan. Vlivem prostředí se tvoří korozní vrstva také na povrchu bronzu, i když podstatně pomaleji než u mědi. Ta ale bronz na rozdíl od mědi nechrání, ale naopak katalyzuje další korozí, často až do úplné destrukce daného předmětu. Přítomnost chloridů korozí urychluje. Takto trpí bronzové předměty pravidelně vystavené slanámu lidskému potu. Středověká bronzová socha svatého Petra ve vatikánské bazilice má nápadně ztenčený nárt a chybí jí prsty na pravé noze. Za uplynulých sedm století tady silnou vrstvu bronzu doslova slíbaly rty zbožných poutníků. Naštěstí bronz v tak malém množství není toxický a měď ve stopové koncentraci je pro člověka dokonce prospěšná.

Lingvisticky i chemicky je zajímavé, že pro korozí bronzu má angličtina výraz „bronze disease“, a lidská nemoc hemochromatóza, při které je typickým příznakem

bronzový nádech barvy kůže, je často anglicky označena jako „bronzové diabetické“. Aby to bylo složitější, v češtině se „bronzová nemoc“ říká úplně jinému onemocnění, a to Addisonově chorobě. Jde o poruchu funkce nadledvin, která je rovněž doprovázena „bronzovou“ pigmentací kůže. A když už jsme u nemocí, bronz a jeho složkách, známý je cínový mor<sup>7</sup>, metla sbírek historického cínového nádobí. Když jsou cínové předměty dlouhodobě vystaveny teplotě pod 13,2 °C, přechází bílý kovový cín na šedivou „diamantovou modifikaci“. Historické předměty se pak rozpadnou na šedý prach. Tato rekrystalizace je autokatalytická, a je tedy svým způsobem „přenosná“, nebo chtěli „infekční“ z předmětu na předmět, jakmile se na některém místě vyskytne.

## Historie

Bronz je velké téma pro archeology a historiky. V tom jediném materiálu se střetává lidský důvtip a práce, lov a válčení, dálkový obchod, kultura, magie, umění a krása. A to platí už nejméně sedm tisíc let. Význam bronzu v historii lidstva vyzdvihl Christian Jürgensen Thomsen, kurátor archeologických sbírek Dánského národního muzea v Kodani. V roce 1836 navrhl utřídit archeologické nálezy podle materiálu nástrojů a zbraní, typického pro určité období. Prehistorii lidstva pak rozdělil podle materiálů na doby kamennou, bronzovou a železnou. Podle tohoto rozdělení se civilizace vyvíjela zhruba exponenciálně. Nejprve velice pomalu, ale postupně se vývoj zrychloval. Historikové a sociologové mohou materiálové hledisko doplnit představami o duchovním světě tehdejších lidí, o dávných rituálech, které lze z archeologických nálezů odvodit. A ještě další pohled přidávají ekonomové. Ty zajímá minulost, rozvoj a problémy mezinárodního obchodu. Právě bronz je z tohoto hlediska velice zajímavý.

## Civilizace doby bronzové

Vývoj metalurgie bronzu je bezprostředně spojen s rozkvětem rozvinutých civilizací na Blízkém a Středním východě a těsně souvisel s dálkovým obchodem<sup>4,8</sup>. Pro vládce těch mocných říší byl bronz doslova strategickým materiálem. Jelikož výroba bronzu potřebuje jak měď, tak cín, je životně závislá na výměně zboží. Mědi měli na Blízkém východě dostatek z bohatých nalezišť na ostrově Kypr. (Z latinského jména tohoto ostrova *Cyprium* se vyvinulo slovo *cuprum*, z něhož je odvozena i chemická značka mědi Cu a také anglické slovo copper.) Ale cín se dovážel z daleka. Z francouzského pobřeží a také až z Británie. Našly se rozsáhlé sklady cínových ingotů ve starověkých francouzských přístavech, dokonce i s průvodními keramickými tabulkami. Ty svědčí o tom, že už v době bronzové existovalo účetnictví. Ale pak se něco přihodilo a nastal úpadek. Jak civilizací, tak i metalurgie. Profesor Eric H. Cline, historik a úspěšný spisovatel, uvádí zlomový bod tehdejších civilizací dokonce přesným letopočtem, totiž rokem 1177 př. Kr. Podle autora tento kritický letopočet odpovídá geologickým katastrofám, řadě zemětřesení a sopečných výbuchů v oblasti blíz-

kého východu a současně také invazi jakýchsi mořských národů, které napadaly bohaté a rozvinuté říše. Ten magický letopočet našel Cline přímo vytesaný na kamenném památníku a v roce 2014 o tom vydal knihu<sup>4</sup>. Nedávno byla přeložena i do češtiny pod názvem „1177 př. Kr. Zhroutení civilizace a invaze mořských národů“. Kolem tohoto roku skutečně zanikaly jedna po druhé starověké říše jako řádka dominových kostek. Babylonská, Egyptská, Chetitská, Minojská a Mykénská. Přelom druhého a prvního tisíciletí př. Kr., který po takovém rozsáhlém kolapsu následoval, pak představuje temné období, černou díru v dějinách. Ale už od roku 800 př. Kr. se datuje vznik a rozvoj doby železné, který v Evropě symbolizuje naleziště Halštata. Jistě, železo a jeho slitina, tedy ocel, má proti bronzu řadu výhodných vlastností, až na to, že silně podléhá korozi. Ale navíc, železo, vlastně jeho rudy, jsou na zemském povrchu velmi rozšířené. Oproti cínu nevyžaduje tak rozsáhlé mezinárodní transporty. Archeologové se vcelku shodují, že konec doby bronzové byl na Blízkém východě náhlý a drastický. Nástup doby železné pak nastal až po delší prodlevě. Ve střední Evropě byla taková změna časově zřetelně posunutá a zdá se, že proběhla poměrně plynule. Ostatně v českých pohraničních horách se rudy s obsahem mědi a cínu běžně vyskytují společně. Archeologické nálezy dokládají, že bronzové odličky, hřivny, se používaly jako platidlo i jako peněžní investice. A také mohly být darovány jako pohřební výbava nebo obětovány nějakému božstvu zakopáním do země. Podivuhodným dokladem o myšlení a představách doby bronzové ve střední Evropě je sluneční disk nalezený roku 1999 poblíž východoněmeckého města Nebra<sup>1</sup>. Nyní je vystavený v působivé expozici Muzea pro pravěké dějiny ve městě Halle nad Sálou. Na bronzovém disku o průměru asi 32 cm jsou zlatým povlakem znázorněny nebeské jevy, slunce, měsíc a plejády. A také dlouhá loď, zřejmě sluneční bárka, která dopravuje slunce podsvětím od západu k východu. Někdy kolem roku 2000 př. Kr. ale tehdejší kouzelníci nebo šamani ten nádherný bronzový disk pohřbili hluboko do země, společně s pokladem bronzových předmětů. Vůbec je zajímavé, že pohřby významných osob bronzové doby jsou mnohdy doprovázeny překvapivě nadbytečným množstvím bronzových předmětů a zbraní, které daleko převyšují potřeby jediného, byť i velmi významného náčelníka. Je zřejmé, že konec doby bronzové nebyl jen revolucí v materiálové technologii, ale současně i předělem lidského myšlení, vlastně změnou ideologie, spirituality a zřejmě také mytologie. O tom svědčí také výrazná změna písma<sup>8</sup>. Místo egyptských hieroglyfů a mezopotámského klínopisu se objevilo hláskové písmo založené na zvuku řeči. Nejstarší fénické písmo si podstatně upravili Řekové a doplnili znaky pro samohlásky. Ve vývoji abecedního písma pokračovali Etruskové a posléze Římané. Praktickou latinku používáme i nyní.

Téměř současně se zánikem starověkých říší na Blízkém a Středním východě zanikla jedna civilizace založená na metalurgii bronzu také ve střední Evropě. Její centrum bylo jenom kousek od Prahy, poblíž Únětic. Takzvaná Únětická kultura<sup>6</sup> zažívala rozkvět v letech 2300–1600 př. Kr. a pak v poměrně krátkém období zanikla. Archeologic-

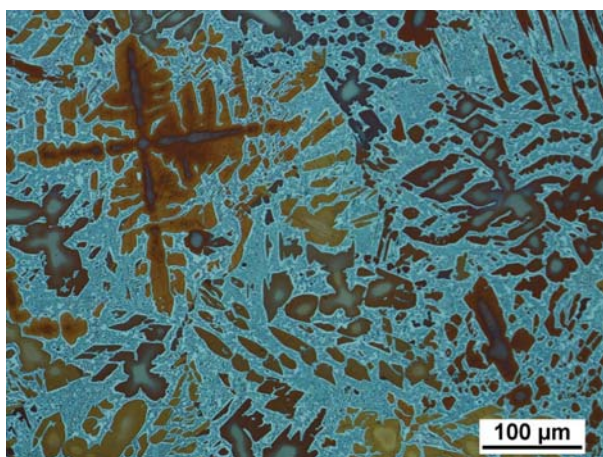
ké nálezy z dané oblasti, které odpovídají pozdější době, už žádné bronzové předměty neobsahují. To zaujalo archeology až z Francie a Austrálie. Publikovali studii v mezinárodním časopise pro sociologii a antropologii. A ukázali, že výroba a zpracování bronzu je závislá nejen na surovinách, tedy mědi a cínu (ty byly v českých horách poměrně dostupné), ale také na tepelné energii. Zpracování bronzu vyžaduje dlouhodobé udržování vysoké teploty. Teplota tavení bronzu je sice znatelně nižší než u samotné mědi, ale stejně museli tehdejší hutníci trvale udržovat pec při teplotě kolem 1000 °C. Vysokou teplotu mohli dosáhnout komínovým účinkem šachtové pece a také intenzivním dmýcháním do ohniště s hořícím dřevěným uhlím. (Současně ale museli v peci udržet redukční prostředí.) A tehdy, v zájmu bronzové metalurgie, vykáceli všechny stromy v širokém okolí. Dostihly je zákony ekologie<sup>6</sup>. Ostatně krajina kolem středočeských Únětic je bezlesá i nyní. Pro výrobu bronzu tedy platí následující vztah:

$$\text{bronz} = \text{měď} + \text{cín} + \text{energie}$$

Ještě zbývá poznamenat, že doba bronzová proběhla také v Číně. Sice zřetelně později než na Blízkém a Středním východě a v Evropě, ale zato nezávisle. Ale to by byl úplně jiný příběh, který vyžaduje samostatnou studii.

## Umění a krása

Sochaři odedávna bronz milují pro jeho trvanlivost a krásu. Navíc je pro ně výhodné, že bronz při tunutí z taveniny poněkud zvětšuje objem, takže dokonale vyplní všechny detaily formy. Už ve starověku dovedli sochaři spolu s metalurgy odlévat rozměrné sochy do kamenných forem nebo využívat techniku ztraceného vosku pro menší odlitky. Staří Římané dováželi cín na monumentální bronzové sochy císařů až z Británie. Dodneška se ale zachovala



Obr. 1. Mikrostruktura zvonoviny zobrazená metalografickým mikroskopem. Na snímku je patrný křížový dendrit fáze alfa, tuhého roztoku cínu v mědi. (Dendrity jsou obecně krystalické útvary, které tvarem připomínají list kapradiny nebo strom, řecky dendron.) Zbylou plochu snímku zaujímá eutektoid tvořený krystalky fáze alfa + delta. Ústav fyziky materiálů AV ČR, Brno, Ing. Jiří Man, Ph.D. (Barevná verze obrázku je dostupná na webových stránkách časopisu Chemické listy)

jen jediná původní starořímská bronzová plastika, jezdecká socha císaře Marca Aurelia, asi z roku 176 našeho letopočtu. Před zničením a roztavením ji zachránila domněnka, že jde o prvního křesťanského císaře Konstantina I.

Také pozdější bronzové plastiky a sousoší vešly do dějin i do literatury. Umělecky i konstrukčně pozoruhodná jezdecká socha Petra Velikého na petrohradském Senátním náměstí, kterou v roce 1782 pro Kateřinu Velikou vytvořil Francouz Étienne Maurice Falconet, se stala o půl století později tématem Puškinovy poémy *Měděný jezdec* (jedná se ovšem o sochu bronzovou). Bronz jako sochařský materiál symbolizuje vítězství, moc, slávu, odvahu a vznešenost, třeba v podobě svatého Václava na pražském Václavském náměstí. (Josef Václav Myslbek to monumentální sousoší dokončil právě před sto deseti lety.) Odvahu vyjadřuje také o hodně mladší jezdecká socha markraběte Jošta v Brně. Toto nepřehlédnutelné dílo Jaroslava Róny stojí od 24. října roku 2015 před kostelem svatého Tomáše, naproti Nejvyššímu správnímu soudu. A na olympijských hrách se sportovcům udělují bronzové medaile. Ty ovšem bývají vyrobeny z červené mosazi, tedy slitiny mědi a zinku.

## Hlas bronzu

Fyzikální metalurgové si dovedou užívat krásu bronzu také zevnitř a zkoumat jeho různorodou mikrostrukturu na výbrusech z metalografického mikroskopu. Příklad takové mikrostruktury je na obr. 1.

Detailní uspořádání jednotlivých fází závisí na složení, ale také na podmínkách chlazení. Složitá struktura bronzu je zřejmá z fázového diagramu. Metalurgové nyní zkoumají strukturu a podíl složek zvonů v historickém vývoji a sledují, jak složení bronzu a jeho fázová struktura souvisí s výsledným tónem, tedy hlasem zvonu. Středověké a renesanční zvony obsahují mnohem méně cínu (7–12 %) než materiál současných zvonů (15–25 %)<sup>2</sup>.

Když dostane bronz tvar zvonu, projeví se kromě jeho mechanických a chemických vlastností také jeho magická, možná dokonce posvátná dimenze. Kdo někdy zažil v pravé poledne souzvuk všech zvonů v historickém středu Florencie na Piazza della Signoria, nevyhnutelně podlehl kouzlu té chvíle. Ale o posvátnosti zvonů je přece také vánoční báseň Jaroslava Vrchlického: „Hlas zvonů táhne nad závějí...“ Do Florencie je z Prahy daleko a do Vánoc zbývá ještě dlouhá doba, tak jsme si dopřáli sluchový zážitek bronzu jedno nedělní poledne na třetím nádvoří Pražského hradu.

Na jižní věži Svatovítské katedrály je zavěšeno ve dvou patrech sedm zvonů. Největší Zikmund, o hmotnosti asi 13,5 tuny, se ozve jenom při slavnostních příležitostech, například na Velikonoce při svátku Vzkříšení, ale všechny ostatní zvoní každou neděli, čtyři z nich v pravé poledne. Pak je možné zažít, jak postupně nastupují do sboru. Minutu před dvanáctou začne zvonit Josef s nárazovým tónem H, pravidelnými rytmickými údery, ve dvanáct hodin se ozvou cimbály věžních hodin a vzápětí zvon Dominik s frekvencí G, Jan Křtitel přidá Dis a Václav C. A třináct minut po dvanácté zvony postupně umlkají. Nejprve Dominik a Jan Křtitel a poslední tóny obstará Václav.

Po jasném nárazovém tónu C jsme ještě zřetelně vnímali bzučivý dozvuk o jednu oktávu níž. Tu neděli jsme naplno zažili *zvuk bronzu*. Právě tak nazval svůj článek tým portugalských fyziků<sup>5</sup>. Podařilo se jim pomocí metody konečných prvků nejprve rekonstruovat tvar a na základě materiálových charakteristik pak vzkřísit i hlas rozlomeného středověkého zvonu, jehož trosky objevili archeologové ve sklepení kostela svatého Petra ve městě Coruche nedaleko Lisabonu.

## LITERATURA

1. Meller H.: *Der geschmiedete Himmel, Landesmuseum für Vorgeschichte*, Halle (Saale), 2006.
  2. Dušek O.: *Výroba zvonů. Bakalářská práce*, VUT Brno, Brno 2012.
  3. Hradil D., Švarcová S.: *Vesmír 90*, 586 (2011).
  4. Cline E. H.: *1177 př. Kr. Zhroucení civilizace a invaze mořských národů*. Vyšehrad, Praha 2014.
  5. Debut V., Carbalho M., Figueiredo E., Antunes J., Silva R.: *J. Cult. Herit.* 19, 544 (2015).
  6. Svizzero S., Tisdell C. A.: *Int. J. Res. Sociol. Anthropol.* 4 (3), 1 (2018).
  7. Raab M.: *Materiály a člověk. Netradiční úvod do současné materiálové vědy*. UTB Zlín, Zlín 2020.
  8. Matyszak P.: *Zapomenuté národy starověkého světa*. Lingea, Brno 2021.
- Raab M., Hrubý M., Vrabcová J.: *Chem. Listy 116*, 262–265 (2022).  
● <https://doi.org/10.54779/chl20220262>

## Ze života chemických společností

### Asociace mladých chemiků v Pardubicích

Asociace mladých chemiků (AMCH) je organizací zaměřující se na propagaci vědy, její rozvoj a navazování nových kontaktů mezi mladými vědci ve všech chemických oblastech. Spojujeme vědce mladší 35 let a vítán je každý, kdo by se k naší organizaci chtěl přidat. Podrobnější informace o nás můžete najít na našem facebooku (<https://www.facebook.com/Asociacemladychchemiku/>) a na instagramu (<https://www.instagram.com/asociacemladychchemiku/>), kde nás také můžete kontaktovat, pokud byste se k nám chtěli přidat, a tak navázat nové kontakty a spolupráce s kolegy, zabývajícími se různými oblastmi chemie, či se aktivně účastnit v aktivitách dalších týmů mladých vědců skoro kdekoliv na světě.

Na konci loňského roku se uskutečnil první výjezd AMCH, a to na Univerzitu Pardubice. Hlavním cílem výjezdu bylo seznámení studentů zdejší univerzity s AMCH, která spadá pod Českou společnost chemickou, ale také nabídnutí členství zdejším studentům pro rozšíření řad AMCH. Nápad pro uspořádání této akce vznikl na 73. Zjazdu chemiků v září 2021 v Tatrách, kdy zástupci České společnosti chemické Mgr. David Novák a Bc. Jakub Smetana obdrželi od slovenské společnosti volný vstup na tuto konferenci v rámci výměnného programu. Během této konference se seznámili s Ph.D. studentkami z Univerzity Pardubice Eliškou Matuškovou a Denisou Steinerovou, se kterými o AMCH diskutovali, načež vznikl nápad uspořádat akci v Pardubicích. V pátek 26. 11. 2021 Mgr. Bára Komárková spolu s Jakubem a Davidem přijeli do Pardubic, kde je po příjezdu na Fakultu chemicko-technologickou čekalo vřelé přivítání od děkana fakulty chemicko-technologické prof. Ing. Petra Kalendy, CSc., který také uvolnil finanční prostředky na ubytování a občerstvení. Program pro studenty fakulty odstartoval prezentací Davida, ve které shrnul aktivity za posledních pár let, na kterých demonstroval vývoj AMCH od jejího vzní-

ku, včetně spolupráce s dalšími mezinárodními evropskými či celosvětovými společnostmi mladých chemiků. V další části naznačil vize a plány AMCH spolu s benefity, které může členství a aktivní účast v projektech přinést. Na samém závěru přednášky proběhla diskuse o tom, kdo je členem České společnosti chemické a proč je vhodné se jím stát. Tímto bylo motivováno okolo 10 mladých chemiků k vyplnění přihlášky a získání nových členů, kteří jsou velmi aktivní. Přednášku můžete nalézt na facebookové stránce skupiny: <https://fb.me/e/2PT1zUZ6W>.

Po přednášce proběhly oficiální volby do vedení AMCH, kde byl jako předseda zvolen David, místopředseda Jakub, pokladník Eliška, manažer sociálních sítí Denisa a tajemník Bára. Dále si pro návštěvníky přednášky organizátoři připravili obohacující prohlídku pracovišť na fakultě i s výkladem toho, čemu se právě věnují.

Jako první jsme zamířili na katedru fyzikální chemie, kde jsme byli provedeni paní Ing. Helenou Drobnou, Ph.D., která nám představila laboratoře fyzikální chemie. Následovala laboratoř kalorimetrie a termické analýzy, kde si vzal slovo bývalý vedoucí katedry a současný rektor Univerzity Pardubice prof. Ing. Libor Čapek, Ph.D., který ještě jednou všechny členy AMCH přivítal spolu s dalšími účastníky této schůze. Po laboratořích nás provedl a představil jednotlivé laboratorní vybavení Ph.D. student Ing. Diego Alejandro Valdés Mitchell. Následně jsme se přesunuli na katedru analytické chemie, kde nás Ing. Jan Patočka, Ph.D. seznámil s vybavením analytických laboratoří, přičemž největší část se věnovala ICP. Doc. RNDr. Lucie Korecká, Ph.D. a její Ph.D. studentka Mgr. Nikola Mannová nás provedly na katedře biologických a biochemických věd. Pobavili jsme se o výzkumných tématech, které tato skupina řeší, tedy o syntéze, modifikaci a charakterizaci nanočástic z biodegradabilní kyseliny hyaluronové a děle o detekčním systému splňujícím kritéria tzv. POCT testů (point-of-care-testing) pro simultánní průkaz až tří proteinových biomarkerů asociovaných s rozvojem zánětlivého



Fotografie z náboru nových členů do Asociace mladých chemiků na Fakultě chemicko-technologické Univerzity Pardubice

procesu v organismu nebo markerů karcinomu ovarií. Dále jsme pokračovali na Ústav environmentálního a chemického inženýrství, kde nám Mgr. Gabriela Kuchtová představila laboratoř specializující se na odbourávání škodlivých látek z odpadních vod a Ing. Frederika Mišíková představila ICP-OES. Poslední zastávkou byl Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek, kterým nás provedly členky asociace Eliška a Denisa.

Za Asociaci mladých chemiků si myslíme, že výjezd na Univerzitu Pardubice byl velmi zdařilý a už se nemůžeme dočkat, jakou univerzitu navštívíme příště. V případě, že byste měli zájem, abychom jako další navštívili Vás a Vaši univerzitu, nebojte se nás kontaktovat, a to jak na našich webových stránkách (<https://www.csch.cz/ospolecnosti/sekce-mladych-chemiku/>), tak na facebooku. V blízké budoucnosti nás můžete potkat na LaborExpu 1.–2. 6. 2022, kde budeme mít stánek, či na 74. sjezdu chemiků 4.–7. 9. 2022, který se letos bude konat v Olomouci, kde se velmi budeme těšit na Vaši návštěvu.

David Novák, Bára Komárková,  
Eliška Matušková a Denisa Steinerová

### Profesor Vilím Šimánek obdržel Hanušovu medaili

V říjnu minulého roku u příležitosti Chemického odpoledne Olomoucké pobočky převzal prof. MUDr. RNDr. Vilím Šimánek, DrSc. z rukou nově zvoleného předsedy ČSCH prof. Tomáše Navrátila Hanušovu medaili jakožto nejvyšší ocenění ČSCH za vědeckou práci. V titulu medaile je uvedeno „za komplexní výzkum přírodních látek“, což i jednoznačně charakterizuje jeho vědeckou práci. Prof. Šimánek začal svoji úspěšnou kariéru na Ústavu lékařské chemie Lékařské fakulty Palackého v Olomouci, který vedl profesor František Šantavý, mezinárodně uznávaný odborník na chemii alkaloidů. Po smrti profesora Šantavého se pak stal jeho následovníkem a vůdčí osobností Ústavu. Profesor Šimánek si již od po-



čátku své práce uvědomoval, že orientace výzkumu pouze na izolaci, identifikaci a analytiku přírodních látek nemá budoucnost. I proto postupně přesunul svůj zájem i zájem celého ústavu na experimentální přístupy umožňující studovat biologickou aktivitu přírodních látek *in vitro* a *in vivo*. Jeho jméno tak lze najít nejen pod studii spojenými s isochinolinovými alkaloidy, ale i v oblastech fytochemie, *in vitro* toxikologie, metabolismu léků a lékových interakcí nebo výzkumu přírodních látek jako doplňků stravy. K úspěšné komercializaci dovedl výzkum obsahových látek ostropestřce mariánského, s čímž se pak nevědomky hojně setkávají pacienti při podpůrné léčbě jaterních onemocnění. Za jeho prací jsou vidět mimořádné manažerské schopnosti, vytrvalost, cílené úsilí, schopnost stmelit, motivovat a popohánět spolupracovníky, a tak dovést svoji vizi k úspěšnému výsledku. Domníváme se, že kdokoliv měl tu čest s ním pracovat, zjistil, že jde o opravdu velkou osobnost s nesmírným přehledem a chutí posunout svět vědy k lepšímu. I proto věříme, že si toto ocenění jednoznačně zaslouží.

Jitka Ulrichová  
přednostka Ústavu lékařské chemie a biochemie LF UP  
a Jan Petr  
předseda Olomoucké pobočky ČSCH

## Odborná setkání

### Chemická olympiáda – Národní kolo očima účastníka

Závěr prvního pololetí je pro středoškolské chemiky vždy slavnostním obdobím. V té době se totiž koná Národní kolo Chemické olympiády, *opus magnum* celoročních snah a pověstný vrchol pro nadané studenty z celé České republiky. Letos proběhlo konkrétně od 31. ledna do 3. února a odehrálo se v Plzni. Pro většinu účastníků bylo také jejich první zkušeností s podobnou akcí, jelikož loňské Národní kolo muselo proběhnout pouze v online podobě. Letošní forma to ale všem bohatě vynahradila. Rád bych se ho teď pokusil popsat z pohledu účastníka

v kategorii A (ti z kategorie E, tj. studenti odborných SŠ, měli program odlišný, ač se Národního kola účastnili také).

Účastníci se do Plzně začali sjíždět v brzkých odpoledních hodinách v pondělí. Hotel a místo ubytování šlo nalézt bez větších problémů. Kulturní nadšence, mezi které se počítám, velmi potěšilo, že bydlí přímo naproti velkolepé gotické katedrále sv. Bartoloměje. Po ubytování nás čekalo večerní oficiální zahájení v prostorách ZČU za přítomnosti několika významných postav Plzeňského kraje, stejně jako organizátorů olympiády. Zahájení bylo následované vydatným rautem. Velkým překvapením večera byla přítomnost několika vybraných slovenských studentů,



Foto: Exkurze účastníků do pivovaru Plzeňského Prazdroje



Foto: Nejlepší řešitelé v kategorii A – uprostřed vítěz Marek Pavlica z Gymnázia Na Vítězné pláni

kteří poprvé v historii měli možnost zavítat na české celostátní kolo jako hosté, ale i jako účastníci mimo soutěžní pořadí. Tento „výměnný pobyt“ studentů čeká také pět nejlepších Čechů, kteří se na oplátku podívají do národního kola na Slovensku.

V úterý přišel čas na první část soutěže – teoretický test. Skládal se ze čtyř oborů a bylo na něj tři a půl hodiny čistého času. V oblasti anorganické chemie se test zabýval termogravimetrií a rozpustností látek. V organické chemii se zase zkoumaly molekulové stroje a reaktivita aromatických sloučenin. Fyzikální chemie byla mixem otázek z chemického inženýrství, teorie plynů a fázových rovnováh dvousložkových směsí. A konečně v biochemii se staly hlavním tématem nukleové kyseliny a jejich vlastnosti. Přestože test byl (aspoň z mého pohledu) velmi náročný, jeho plnění zanechalo ve všech, jestli ne pozitivní, pak alespoň intenzivní zážitek. Odpoledne pak bylo vyplněné návštěvou legendárního pivovaru Plzeňského Prazdroje, který svými rozměry rozhodně nezklamal očekávání. Znalí adepti chemie přitom mohli s porozuměním poslouchat výklad o pivovarnictví. Večerním překvapením pak byla návštěva představení QED, stylizovaného pro role pouhých dvou herců. Protagonistou tohoto díla byl Richard Feynman, takže i zde si přišly vědecké duše v publiku na své.

Následovala středa a během ní i praktická, laboratorní část soutěže. Letošní novinkou byla syntetická úloha na přípravu 4-bromacetanilidu a jeho následnou analýzu pomocí TLC. O něco konvenčněji se poté jevila analytická úloha zaměřená na manganometrické stanovení obsahu vápenatých iontů. Oba úkoly rozhodně nepatřily mezi snadné, ale zároveň byly vzrušující a napínavou výzvou. Když účastníci zrovna nevyužívali své dovednosti v laboratoři, tak pro ně byla nachystána další exkurze, opět tematicky spjatá s pivovarnictvím. Konkrétně tedy šlo o muzeum pivovarnictví, obohacené o návštěvu plzeňského podzemí. Večerní program nás opět překvapil bohatou kulturní složkou. Musím říci, že většina účastníků rozhodně neočekávala, že pro ně bude připravené krojované folklorní představení, ale skutečně tomu tak bylo.

Poslední den pak již byl ve znamení napjatého očekávání výsledků. Zatímco organizátoři a komise již dávno věděli, všichni ostatní nervózně poposedávali na svých místech a čekali, kdy během slavnostního vyhlášení zazní jejich jméno. A každý se skutečně dočkal. Obsazení prvních příček nebylo nikterak velkým překvapením, ale i tak si vítězové zaslouží velký aplaus. Ceny, které byly poskytnuté hned několika sponzory, byly rozhodně příjemným bonusem k pocitu dobře odvedené práce. No a poté již zbývalo jenom upřímně poděkovat všem organizátorům, pořádit nějaké fotografie, rozloučit se s přáteli starými i nově vytvořenými a vydat se na cesty do svých domovů.

Co ještě dodat? Národní kolo bylo přesně takové, jaké slibovalo být – společenská událost, která zároveň prověřila znalosti studentů a poskytla jim nové možnosti směřování. Pro část studentů soutěžní část roku ještě neskončila, ale naopak se musí připravit na výběrová soustředění, která poté určí finální čtveřici, která bude reprezentovat Českou republiku na Mezinárodní chemické olympiádě. Ale pro tuto chvíli Národní kolo skončilo a byla to událost hodná zapamatování. Jsem šťastný, že jsem mohl být její součástí.

Tomáš Heger

Na prvním místě se v kategorii A umístil student Marek Pavlica (Gymnázium Na Vítězné pláni, Praha), na místě druhém Zdeněk Hartman (Gymnázium Broumov) a třetí skončil Pavel Říkovský (Gymnázium Na Vítězné pláni, Praha). V kategorii E zvítězil Vojtěch Langer (SPŠCH Brno, Vranovská).

## 50. výročí založení OSTA a Termoanalytický seminář TAS 2022

Odborná skupina termické analýzy při České společnosti chemické v tomto roce organizovala čtvrtý „Termoanalytický seminář TAS 2022“, jenž se uskutečnil 27. ledna 2022 v prostorách Fakulty chemicko-



technologické Univerzity Pardubice. Seminář se tak vrátil do místa konání prvního ročníku, který se uskutečnil 18. června 2015 (2017: Ostrava, 2019: Brno).

Termoanalytický seminář byl pořádán vždy v lichém roce, letošní ročník byl tedy výjimkou, a to s ohledem zejména na epidemickou situaci. Nicméně se to ukázalo jako dobrá varianta, neboť právě v tomto roce Odborná skupina termické analýzy slaví 50. výročí svého vzniku. Jednalo se tak o skvělou příležitost připomenout si tuto událost.

Semináře se zúčastnilo téměř 30 účastníků, přičemž mezi účastníky nechyběli např. zástupci Přírodovědecké fakulty Ostravské univerzity, Fakulty chemicko-technologické Univerzity Pardubice, ÚCh AV ČR, ÚFM AV ČR, Fakulty chemické VUT v Brně a z ústavů SAV v Bratislavě. S ohledem na epidemickou situaci byl seminář organizován v hybridní formě.

Po zahájení semináře následovalo předání Pamětního listu odborné skupiny prof. Jiřímu Málkovi, který patří mezi dlouholeté a aktivní členy skupiny, zastával funkci místopředsedy, v období 2010 až 2020 byl národním zástupcem ICTAC, od minulého roku působí jako viceprezident ICTAC (International Confederation of Thermal Analysis and Calorimetry).

V rámci odborného programu zaznělo 14 odborných přednášek a bylo prezentováno celkem 9 plakátových sdělení. Plné texty nejen posterů, ale také přednášek byly vydány ve sborníku, který obsahuje 109 stran.

Seminář byl odborným přínosem pro všechny účastníky, neboť umožnil vzájemnou výměnu poznatků a zkušeností z oblasti termické analýzy a kalorimetrie a přispěl k zájmu o termickou analýzu. Poděkování za finanční podporu patří firmě NETZSCH Česká republika, s.r.o., kterou



Foto: Pohled na účastníky semináře TAS 2022



Foto: Prof. Jiří Málek s Pamětním listem Odborné skupiny termické analýzy

reprezentoval RNDr. Miroslav Kule, dále také firmě Specion, s.r.o., kterou zastupoval Ing. Jan Golda, a Ing. Jaroslav Kolečkovi ze společnosti Waters<sup>TM</sup> (TA Instruments).

Podle zájmu účastníků je zřejmé, že metody termické analýzy poskytují v současné době velký prostor pro výzkum nebo charakterizaci nejrůznějších materiálů pro celou řadu aplikací nejen na úrovni základního výzkumu, ale také pro technologické účely. Stejně tak se ukázalo, že metody termické analýzy se intenzivně vyvíjejí a pronikají do stále širších oblastí výzkumu i aplikací.

Je potěšitelné, že mezi účastníky letošního ročníku konference bylo opět velmi silné zastoupení mladých vědeckých pracovníků a zejména studentů nejen doktorských studijních programů, ale také magisterských. To je samozřejmě pro organizátory pozitivní.

Na tomto místě je také třeba vyslovit poděkování všem, kteří se podíleli na organizování semináře, zejména studentům a kolegům z Katedry anorganické technologie a Katedry fyzikální chemie Fakulty chemicko-technologické Univerzity Pardubice, a také všem zájemcům o tuto problematiku, neboť bez aktivní účasti nás všech by seminář postrádal smysl.

V roce 2022 se uskuteční 13th ESTAC ve dnech 19. až 22. 9. v Palermu a také 74. sjezd chemiků (4. až 7. 9. 2022, Olomouc), kdy v rámci odborného programu bude opět zařazena sekce Termické analýzy.

Na webových stránkách OSTA ([www.thermal-analysis.cz](http://www.thermal-analysis.cz)) lze najít další informace o odborné skupině včetně akcí z oblasti termické analýzy nejen v České republice, ale také ve světě.

Petra Šulcová,  
Odborná skupina termické analýzy při ČSCH

## Akce v ČR a v zahraničí

Rubrika je k dispozici na webu na adrese <http://csch.cz/akce/seznam/>.

## Recenze



Martin Dračínský:  
**NMR spektroskopie  
 pro chemiky**

Vydala Univerzita Karlova v Praze,  
 Přírodovědecká fakulta, Albertov  
 2030, Praha 2, 160 stran, 350 Kč.  
 ISBN 978-80-7444-085-4

Knihy přináší na 160 stranách základy NMR spektroskopie a využití této metody ve strukturální analýze zejména malých organických molekul. Přestože je v dnešní době dostupná celá řada podobných učebnic v anglickém jazyce, srovnatelné dílo napsané v češtině doposud chybělo. A to i přes skutečnost, že v našich zemích již dávno není NMR spektroskopie popelkou. Kniha je rozdělena do 14 kapitol a její zaměření je striktně uživatelské, jinými slovy, autor se důsledně vyhýbá vysvětlování základů NMR spektroskopie pomocí superoperátorového formalismu, případně matic spinových hustot. K popisu jednotlivých experimentů (pulsních sekvencí) používá jednoduchý vektorový formalismus a důraz klade na interpretace spekter a strukturální analýzu. Úvodní kapitola je věnována historii NMR spektroskopie a autor zde též zmiňuje klíčové osobnosti, které stály za objevem metody. Velmi jsem ocenil tzv. jazykové okénko, které je přípravou čtenáře na další text a kde autor vysvětluje použití některých, donedávna slangových výrazů. Následuje kapitola o základech NMR spektroskopie, důležitých parametrech, jako např. chemický posun, spin-spinové interakce atd. Další dvě kapitoly jsou věnovány měření  $^{13}\text{C}$  a  $^1\text{H}$  spekter. Zatímco kapitola o  $^1\text{H}$  experimentech je velmi dobře zpracovaná, jsou zde vysvětleny základní pojmy, jako jsou např. stínění jader, chemická a magnetická ekvivalence jader, řád spektra, vliv chiralit na vzhled spektra, vliv koncentrace a teploty atd., předcházející kapitola věnovaná  $^{13}\text{C}$  experimentům je poněkud stručnější. Chybí mi zde zejména zmínka o nižší citlivosti tohoto jádra ve srovnání s  $^1\text{H}$  a tím pádem nutnosti tzv. koherentního strádání vedoucího ke zlepšení odstupu signálu od šumu a zejména vysvětlení důvodu, proč se tato spektra i přes nízkou citlivost tak často měří. Tyto skutečnosti jsou, spolu s dalšími informacemi o  $^{13}\text{C}$  experimentech, sice v knize dále uvedeny

(např. kapitola o jednodimenzionálních spektrech), ale nikoliv v této kapitole, kde by je čtenář hledal, ale v kapitole, která je na začátku učebnice. Navíc si myslím, že opačné pořadí těchto dvou kapitol by bylo vhodnější, zejména vzhledem k tomu, že v kapitole o  $^1\text{H}$  jsou vysvětleny základní pojmy NMR spektroskopie. Kapitola o pulsních sekvencích a jejich elementech je velmi dobře a přehledně zpracovaná. Autor zde vysvětluje působení základních stavebních prvků pulsních sekvencí, tj. radiofrekvenčních pulsů a různých časových prodlev. Jsou zde podrobně vysvětleny pojmy jako např. spinové echo, přenos magnetizace atd. Malou výtku mám k poměrně složitému vysvětlení pulsni sekvence APT. Kapitola pojednávající o určování kovalentní struktury z jedno- a dvojdimenzionálních spekter je výborným příkladem ukázky, jak přemýšlet a postupovat při interpretacích NMR spekter. I následující kapitoly, ve kterých autor vysvětluje pojem relaxace spinového systému a podstatu a využití jevu zvaného nukleární Overhauserův efekt, jsou velmi přehledné a čtivé. Jen jsem trochu postrádal zmínku o vlivu velikosti molekuly, resp. rotačního korelačního času, na nastavení směšovací periody v NOESY experimentech. Ne každá takováto učebnice obsahuje kapitolu/y pojednávající o hardwaru NMR spektrometru. Tato kniha je čestnou výjimkou a nezbyvá mi než ocenit skutečnost, že ji autor do této knihy zařadil a navíc se vyvaroval zbytečných technických detailů. Opět mám malou poznámku k části, kde autor popisuje nastavení parametrů NMR experimentu, kde poněkud postrádám zmínku o nastavení délky radiofrekvenčních pulsů a prodlev mezi nimi. V následující kapitole je velmi pěkně popsán jev chemické výměny na vzhled NMR spekter. Rovněž velmi pěkná a přehledná je kapitola o dalších, běžně měřených jádrech. Knihu uzavírají kapitoly o predikci NMR spekter a NMR experimentech v pevné fázi. Jak jsem již zmínil na začátku své recenze, tato učebnice je určena zejména studentům chemie, ale nejen jim. Podle mého názoru v ní najdou poučení a cenné rady i zkušení pracovníci, kteří se pohybují v nejrůznějších oblastech chemie a kteří občas potřebují analyzovat nějaké vzorky z hlediska určení, případně ověření struktury zkoumané látky.

*Richard Hrabal*

## Evropský koutek



**Professor Ernest Beinrohr  
Delivered  
Heyrovsky-Ilkovic-Nernst  
Lecture 2022**

After several years, we have witnessed a rebirth of this interesting series of lectures jointly organized by Czech, Slovak, and German Chemical Societies and focused on the progress in

the field of electrochemistry, as evident from the names of outstanding electrochemists from the three countries. And I would like to thank Professor Frank-Michael Matysik from the University of Regensburg, head of the Working Group on Electrochemical Methods of Analysis of the German Chemical Society (ELACH GDCh), for his activi-

ty leading to this rebirth, and Professor Jan Labuda from the Institute of Analytical Chemistry, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology in Bratislava, for his cooperation in organizing these named lectures.

I am sure that this event will stimulate further development of useful and successful cooperation of Czech, Slovak, and German electrochemists and I am looking forward to the continuation of this successful event in the coming years. Next year, a representative of German electrochemistry should deliver this Heyrovsky-Ilkovic-Nernst lecture in the Czech and Slovak Republic and I am looking forward to this event.

*Jiří Barek*

*President of the Division of Analytical Chemistry  
of the Czech Chemical Society*

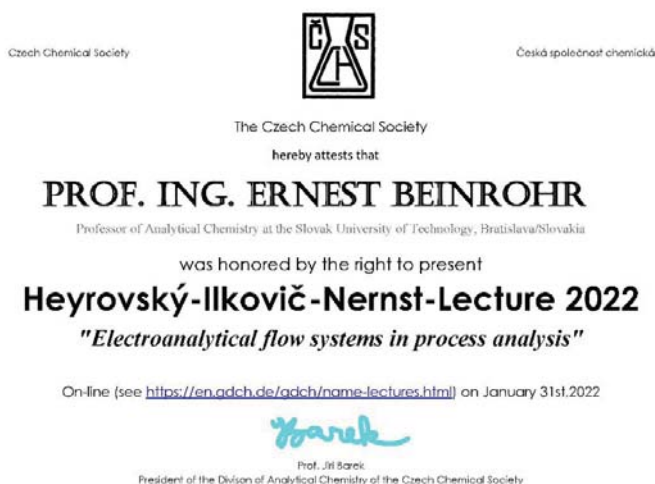


Fig: Diploma confirming that Professor Ernest Bienrohr was honoured by the right to present Heyrovsky-Ilkovic-Nernst Lecture 2022

## Zprávy

**ORLEN Unipetrol a VŠCHT Praha oslavily  
20 let spolupráce podpisem nové smlouvy**

*Tisková zpráva*

Zástupci skupiny ORLEN Unipetrol a Vysoké školy chemicko-technologické v Praze (VŠCHT Praha) dnes vstoupili do třetí dekády strategického partnerství podpisem nové smlouvy na léta 2022–24. Vedle čerpání finančního daru se obě strany zavázaly k podpoře vzdělávání,

včetně středoškolských učitelů i žáků a chemické olympiády. Během uplynulých 20 let ORLEN Unipetrol daroval VŠCHT Praha celkem 33,5 milionu korun na vzdělávací aktivity, rozdal více než 200 studentských stipendií a podílel se na 35 výzkumných projektech. Vrcholem dlouholeté spolupráce bylo v roce 2015 založení Univerzitního centra, které se nachází přímo ve výrobním závodě ORLEN Unipetrolu v Litvínově a je jediné svého druhu v Česku.



20 let spolupráce



Spolupráce skupiny ORLEN Unipetrol s VŠCHT Praha se během 20 let několikrát změnila. V obecné rovině nyní zahrnuje osvětu a popularizaci chemie, vzdělávání, výzkum a vývoj. „Chemický průmysl prochází velkou změnou. V ORLEN Unipetrolu plánujeme do roku 2030 vyrábět až 20 % petrochemických produktů z recyklovaného materiálu a do zelených projektů a digitalizace se chystáme investovat značné prostředky. Nejpozději v roce 2050 chceme být emisně neutrální, je proto nezbytné vychovávat nové odborníky, kteří budou schopni čelit všem těmto současným výzvám,“ uvádí Tomáš Herink, člen představenstva skupiny ORLEN Unipetrol zodpovědný za výzkum, vývoj a výrobu.

„Partnerství se skupinou ORLEN Unipetrol nám umožňuje realizovat řadu osvětových i populárně-naučných akcí a podpořit vzdělávání nastupující generace. Naši studenti mají unikátní možnost ověřit si nabyté teoretické znalosti rovnou v praxi. Spolupráce nese ovoce i v oblasti společného výzkumu a vývoje a při podávání návrhů vědecko-výzkumných projektů tuzemských i zahraničních, včetně programových výzev Evropské unie. Společně jsme realizovali již 35 výzkumných a vývojových projektů, které mají přímý dopad na vývoj chemického průmyslu. Nejnovějšími z nich jsou projekty pyrolyzní recyklace plastů, výroba biopaliv či patentovaný způsob výroby dicyklopentadienu,“ říká Pavel Matějka, rektor

Vysoké školy chemicko-technologické v Praze.

Nejvýznamnějším společným počinem v oblasti vzdělávání bylo v roce 2015 založení Univerzitního centra Litvínov VŠCHT – FS ČVUT – ORLEN Unipetrol, které se nachází v litvínovském Chemparku a je jediným místem v Česku, kde je část veřejné vysoké školy situována přímo ve výrobním areálu. Současně až 50 studentů studuje přímo v srdci největšího chemického závodu v republice. „Díky specifickému prostředí chemické výroby studenti získávají možnost ověřit si nabyté teoretické znalosti rovnou v praxi, a to po celou dobu studia. Mohou se zapojit do celé řady výzkumně-vzdělávacích aktivit, které Univerzitní centrum nabízí či organizuje. V rámci nich pak i realizovat své kvalifikační práce na některém z mnoha průmyslových témat,“ vysvětluje Tomáš Herink a dodává: „K plánu Univerzitního centra do budoucna patří snaha o akreditaci nového studijního programu se zaměřením na praktickou výuku, která bude klást důraz na inženýrský, procesní a technologický charakter studia s ohledem na širší uplatnění absolventů na pracovním trhu.“

Spolupráce se soustředí také na podporu základních a středních škol, kterým jsou nabízeny exkurze do areálu, přednášky na aktuální témata z oblasti chemického průmyslu a další vzdělávací aktivity. Díky úzkému kontaktu s Nadací ORLEN Unipetrol jsou i středoškolákům dostupné stipendijní a grantové programy.



## Tržby skupiny ORLEN Unipetrol za rok 2021 dosáhly rekordní výše 134 miliard korun

Tisková zpráva

- Tržby ve výši 133,6 miliard korun
- Provozní zisk na úrovni 6,3 miliard korun
- Čistý zisk dosáhl 3,2 miliardy korun
- Vysoké investice na úrovni 8,5 miliardy korun
- Posilování maloobchodní pozice v Česku s tržním podílem 25 % a rozvoj elektromobility
- Testování chemické recyklace plastů
- Rychlá a úspěšná expanze na Slovensku

Rafinérská a petrochemická skupina ORLEN Unipetrol vykázala za uplynulý rok 2021 výborné hospodářské výsledky. I přes řadu globálních i regionálních výzev zvýšila své tržby meziročně o 61 procent a dosáhla rekordní výše 133,6 miliard korun. Provozní zisk před úroky, zdaněním, odpisy a amortizací (EBITDA LIFO) se meziročně zvýšil na 6,3 miliard korun. Čistý zisk skupiny meziročně vzrostl na 3,2 miliardy korun. ORLEN Unipetrol pokračoval v realizaci intenzivního investičního plánu, když v uplynulém roce investoval 8,5 miliardy korun. V maloobchodním segmentu ORLEN Unipetrol úspěšně pokračoval v rozvoji sítě Benzina ORLEN v České republice, rozvoji elektromobility a rychlém růstu na Slovensku.



„Po náročném roce 2020 se nám vloni podařilo vrátit se k našemu dlouhodobému plánu a dokonce jsme vykázali rekordně vysoké tržby. Za posledních pět let jsme investovali přes 40 miliard korun a nyní sklízíme ovoce tohoto úsilí. Také jsme optimalizovali a zefektivnili naše interní procesy a implementovali řadu synergických efektů v rámci celé skupiny ORLEN. Děkuji všem zaměstnancům a obchodním partnerům, že jsme společně těžké období překonali a nepolevili jsme v investičním, výrobním ani obchodním nasazení,“ uvedl Tomasz Wiatrak, generální ředitel skupiny ORLEN Unipetrol, a dodal: „Pokračovali jsme v postupné realizaci našeho plánu strategického rozvoje do roku 2030, ve kterém klademe důraz na modernizaci, dekarbonizaci, recyklaci, digitalizaci a posilování petrochemického segmentu včetně testování chemické recyklace plastů. V maloobchodním segmentu jsme pokračovali v přípravách na elektromobilitu. Jsme nejen lídrem na trhu paliv, ale stali jsme se také lídrem v počtu dobíjecích elektrických stojanů na čerpacích stanicích.“

Objem zpracované ropy činil 7,1 milionů tun. Objemy prodeje rafinérských produktů činily 5,7 milionů tun a petrochemických produktů 1,9 milionů tun. Celkové investice dosáhly výše 8,5 miliardy korun a směřovaly do pokračující modernizace výrobních technologií v obou rafinériích, revitalizace jednotky parciální oxidace vodíku, výstavby zcela nové jednotky na výrobu kapalného uhlovodíku DCPD, výstavby 11. krakovací pece etylenové jednotky a rozvoje maloobchodní sítě čerpacích stanic v Česku a na Slovensku. V oblasti výzkumu a vývoje začalo testování pyrolýzní recyklace plastů. Skupina ORLEN Unipetrol očekává, že v roce 2030 bude až 20 % petrochemické produkce tvořeno z recyklovaných materiálů.

V maloobchodě skupina ORLEN Unipetrol pokračovala v investicích do modernizace a rozvoje své sítě čerpacích stanic Benzina ORLEN v České republice a na Slovensku. V České republice skupina provozuje 424 stanic. Občerstvovací koncept Stop Cafe je dostupný na 327 z nich. S tržním podílem v oblasti prodeje paliv na úrovni 25 procent (k 31. říjnu 2021) je Benzina ORLEN největším řetězcem v Česku. Skupina také pracuje na rozšiřování infrastruktury pro elektromobilitu. Na konci roku 2021 provozovala elektrodobíjecí stojany na 41 čerpacích stanicích, což ji řadilo na první místo mezi řetězci působícími na českém trhu. Na Slovensku je skupina ORLEN Unipetrol jedním z nejrychleji rostoucích řetězců, když na konci roku 2021 měla ve své síti již 22 stanic.

Osobní zprávy

## Půlkulaté životní jubileum profesorky Evy Smolkové Keulemansové

V posledním dubnovém týdnu letošního roku se úctyhodného „půlkulatého“ životního jubilea, 95 let, dožívá emeritní profesorka Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze, RNDr. Eva Smolková Keulemansová, DrSc. Je mi velkou ctí a potěšením, že při této příležitosti mohu stručně připomenout životní dráhu mé milé, kdysi vysokoškolské učitelky a později i kolegyně a kamarádky. Narodila se do asimilované židovské rodiny v roce 1927. V tehdejší demokratické a svobodomyšlné Československu prožila šťastné dětství, ale její život se dramaticky proměnil po okupaci Československa německými nacisty. Kvůli protizidovským opatřením nejprve zažila řadu ponižujících diskriminací a v letech 1943–1945 dokonce prošla těžkými útrapami a hrůznými zážitky v několika koncentračních táborech, od Terezína, přes Osvětim a Hamburg až po Bergen-Belsen. Po krátkém poválečném ozdravném pobytu ve Švédsku se na konci roku 1945 vrátila do Prahy. Zde nejprve dokončila středoškolská studia a poté absolvovala studium chemie na Přírodovědecké fakultě UK. Tam

započala i její vědecká a pedagogická kariéra. Mezi její první kolegy a spolupracovníky patřily slavné vědecké osobnosti tehdejší doby v čele s pozdějším nositelem Nobelovy ceny, profesorem Jaroslavem Heyrovským. Polarografie byla jistě zajímavá metoda, ale mladá vědkyně našla ještě větší zalíbení v tehdy zcela nové technice – plynové chromatografii. Jelikož byla jednou z „pionýrek“ ve vývoji této metody, začali jí říkat „první dáma chromatografie“. Hodna tohoto jména, paní profesorka k rozvoji chromatografie, zejména plynové, významně přispěla. Podílela se na vývoji tehdy nového teplotního vodivostního detektoru, který byl později hromadně zaváděn a využíván v komerčních plynových chromatografech. V dalších letech ve spolupráci s kolegy na Katedře analytické chemie PŘF UK světově prioritně využila tehdy nové chirální selektory, cyklodextriny, v separačních metodách, nejprve v plynové chromatografii a později i v kapilární izotachografie. Na této katedře „rostla“ ve vědecké i pedagogické oblasti, postupně se stala docentkou, a poté i první profesorkou a doktorkou věd v oboru chemie v Československu. Byla oceněna i řadou vyznamenání, např. Cvětovou medailí chromatografie u příležitosti stého výročí vynálezu



Foto: Prof. Eva Smolková Keulemansová při své „vzpomínkové přednášce“ na slavnostním semináři v červnu 2021, na kterém ji byla udělena Cvětova-Nernstova cena.

chromatografie na konferenci v Moskvě v roce 2003, Hanušovou medailí ČSCH a Medailí PrF UK. Zcela nedávno, v červnu minulého roku, se stala laureátkou prestižní Cvětovy-Nernstovy ceny udělované Evropskou společností pro separační vědy, viz *Chemické listy* 115, 562 (2021).

Milá Evičko, jménem svým i jménem všech členů Odborné skupiny chromatografie a elektroforézy České společnosti chemické, ve které jsi také dlouho aktivně působila, Ti k významnému životnímu jubileu srdečně blahopřeji a připojuji i přání pevného zdraví a hodně štěstí a osobní pohody i do dalších let.

*Václav Kašička, předseda Odborné skupiny chromatografie a elektroforézy ČSCH*



### **Životní jubileum prof. RNDr. Evy Samcové, CSc.**

V měsíci dubnu si připomínáme významné životní jubileum paní profesorky Evy Samcové rozené Štulíkové. Narodila se v Praze a mládí prožila v okolí náměstí I. P. Pavlova, kde také absolvovala základní školu a gymnázium. Již od dětství tíhla ke studiu lékařství, ale v posledním ročníku gymnázia ji její strýc přesvědčil, že budoucnost mají přírodní vědy. Proto si podala přihlášku na Přírodovědeckou fakultu Univerzity Karlovy, kde v roce 1965 začala studovat obor analytická chemie. V průběhu studia na vysoké škole se seznámila se svým spolužákem z ročníku Zdeňkem Samcem, který se později stal profesorem fyzikální chemie a ředitelem Ústavu fyzikální chemie Jaroslava Heyrovského AV ČR. Svatbu měli hned následující den po společné promoci 1. července 1970. V témže roce nastoupila jako asistentka na Ústav lékařské chemie a toxikologie Lékařské fakulty hygienické Univerzity Karlovy, který řídil významný český toxikolog profesor Zdeněk Bardoděj. Pod jeho vedením se zabývala výukou seminářů

a praktických cvičení. O jejím vysokém pracovním nasazení svědčí to, že v těchto letech zvládla vychovávat dceru a později i syna a přitom učit 25 hodin týdně. Odborně se zabývala využitím izotachofórey a kapilární elektroforézy pro monitorování zatížení pracovníků z průmyslových provozů toxickými látkami a na téma „Stanovení kyseliny thiodiglykolové v moči osob exponovaných vinylchloridu“ obhájila v roce 1985 svoji disertační práci.

Po listopadu 1989 se aktivně zapojila do transformace Lékařské fakulty hygienické na 3. lékařskou fakultu Univerzity Karlovy, která nyní vychovává studenty všeobecného lékařství a je schopna zajistit vzdělání ve všech lékařských specializacích. V prvním porevolučním kolegiu děkana 3. lékařské fakulty profesora Cyrila Höschla měla za úkol vybudovat výuku všeobecného lékařství v angličtině a od roku 1997 se stala po několika volebních obdobích proděkankou pro zahraniční studenty. Její činnost spočívala ve vyhledávání zahraničních studentů, organizování přijímacích zkoušek a přípravných kurzů přímo v zahraničí a následné organizaci anglické výuky na fakultě. Zároveň se významně podílela na utváření specifického kurikula výuky medicíny na 3. lékařské fakultě, které je na rozdíl od ostatních českých lékařských fakult oborově integrované, problémově orientované a zaměřené na praktické dovednosti. V roce 1999 byla jmenována přednostkou Ústavu lékařské chemie a toxikologie, který postupně přebudovala na Ústav biochemie, buněčné a molekulární biologie zajišťující kompletní výuku lékařské biochemie v prvním a druhém ročníku studia medicíny. Do nově vznikajícího ústavu přivedla mladé absolventy z Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy a především dokázala podchytit vynikající studenty z domovské fakulty, kteří jí již v průběhu svého studia pomáhali zajistit výuku biochemie. Celá řada jejich studentů v současnosti vykonává významné funkce, docent František Duška je přednostou Kliniky anesteziologie a resuscitace 3. lékařské fakulty, docent Jan Trnka po ní převzal Ústav biochemie, buněčné a molekulární biologie a doktor Josef Fontana je členem kolegia nově jmenované rektorky Univerzity Karlovy.

Na nově vzniklém ústavu se zabývala rozvojem elektrochemických a elektroforetických metod a jejich využitím v lékařství, zejména pro stanovení biomarkerů a metabolitů v klinických vzorcích. Na téma „Použití iontově separačních metod elektroanalýzy v toxikologii“ obhájila v roce 1995 habilitační práci a v roce 2009 byla jmenována profesorkou v oboru Lékařská chemie a biochemie. Paní profesorka Eva Samcová se významným způsobem zasloužila o vznik a rozvoj 3. lékařské fakulty. V současnosti je nadále velmi aktivní, pravidelně dochází na Ústav biochemie, buněčné a molekulární biologie, kde se věnuje výuce a zkoušení studentů. Paní profesorce přejeme pevné zdraví, spokojenost v osobním i pracovním životě a ať jí stále baví pedagogická činnost.

*Za kolektiv jejich spolupracovníků z 3. lékařské fakulty,  
Petr Tůma*



### Laudatio Petra Petráše, čerstvého osmdesátníka, ale stále mladého chemika a mikrobiologa

Moje vzpomínky na RNDr. Petra Petráše, CSc., jsou velmi osobní, mám tu čest jej považovat za svého úhlavního přítele, s nímž jsem zažil hodně pěkného. Petr své dětství prožil v (dnes již pražských) Klánovicích, ale je roduvěrným Pražákem, i když jej někteří kolegové považují za čestného Brňáka. Špatný kádrový původ mu znemožnil studium na vysoké škole, nepomohlo mu ani, že slavil narozeniny na Den vítězství pracujícího lidu. Vyučil se proto elektrotechnikem a pracoval ve filmových ateliérech Barrandov. Odtud se přihlásil do tehdy velmi populární televizní soutěže Desetkrát odpověz, v níž se díky svým znalostem a osobnímu šarmu stal nejen vítězem, ale i miláčkem televizního národa. Jeho soutěžní mentor prof. Jaroslav Zýka se pak postaral o to, aby byl přijat ke studiu chemie na Přírodovědecké fakultě UK. Zde jsme spolu vystudovali specializaci anorganická chemie i doktorskou aspiranturu v tomto oboru. Oba nás pak osud zavál do odlišných oborů mikrobiologie: mne se ujali nestor české mikrobiologie prof. František Patočka, prof. Ctirad John a prof. Milan Mára; Petr nastoupil do Centra epidemiologie a mikrobiologie (CEM) Státního zdravotního ústavu (SZÚ). Nic zvláštního, už Pasteurovi přezdívali chemiatri. V SZÚ se poměrně rychle vypracoval na experta na střevní infekce, na zástupce vedoucího celého CEM, jakož i na post vedoucího referenční laboratoře pro stafylokoky. Tuto laboratoř pozvedl zaváděním nových technik a postupů na světovou úroveň. Kromě toho působí jako (velmi) výkonný a vedoucí redaktor, *spiritus rector* a duše časopisu Zprávy Centra epidemiologie a mikrobiologie, v němž (a nejen v něm) též publikoval řadu odborných článků. Z řady jeho dalších aktivit stojí za zmínku založení a udělení Řádu Zlatého stafylokoky, jímž se pyšní řada významných mikrobiologů. Za svého působení vzdělal a vychoval generaci mladších mikrobiologů a mikrobioložek, kteří se mu odměnili validním pojmenováním nově objeveného druhu stafylokoků na *Staphylococcus petrasii*, obsahujícího dokonce dva poddruhy *petrasii* a *croceilyticus*.

Na dva poddruhy je možno rozdělit i renesanční Petrovu osobnost: kromě vědecké subspecies obsahuje i subspecies múzickou. Již na fakultě byl oporou a ozdobou našeho souboru malých forem Record. Později jsme ke zdaru legendárního píseckého symposia, organizovaného Jiřím Schindlerem pod názvem „*Escherichia coli*, klíč k mikrobiologii“, přispěli složením a přednesem hymny tohoto podniku. Petr je znám jako znalec českých oper a české historie, zejména heraldiky šlechtických erbů. Ze soukromí je možno prozradit osobní údaj o láskyplné vzájemné péči dědečka a jeho zdárně prosperujících dětí a vnoučat.

*Ad multos annos* a stálé zdraví přeje Jarouš  
(pleno titulo doc. RNDr. Jaroslav Julák, CSc.).



### Jubilant profesor Viktor Milata

Profesor Ing. Viktor Milata, DrSc., organický chemik, zanietý propagátor chémie a vysoko aktívny funkcionár dobre známy v našich chemických spoločnostiach sa 20. mája 2022 dožíva 65 rokov. Je to iste príležitosť pre pripomenutie si jeho aktivít. Profesor Milata pôsobí na Ústave organickej chémie, katalýzy a petrochémie Fakulty chemickej a potravinárskej technológie Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, ktorý vedie od roku 2017 vo funkcii riaditeľa.

Po skončení inžinierskeho štúdia na fakulte v roku 1981 absolvoval internú aspirantúru (dnešné doktorandské štúdium) v odbore Organická chémia (1982–1987). V roku 1992 absolvoval šesťmesačný študijný pobyt a v rokoch 2003 a 2004 dva jednomesačné prednáškovo-študijné pobyty na Univerzite Paríž-Juh (Prof. Erica Henry-Basch, Prof. Alexandre Loupy), v rokoch 1993 až 1994 to bol šesťmesačný študijný pobyt a neskôr v roku 1996 mesačný prednáškový pobyt na Technickej univerzite vo Viedni (Prof. Fritz Sauter, Prof. Johannes Fröhlich), v roku 1995 študijný pobyt na Univerzite v Cambridge (Prof. Ian Flemming), v rokoch 1999 až 2000 ročný vedeckovýskumný a prednáškovo-výskumný pobyt na Univerzite diaľtančného vzdelávania UNED v Madride (Prof. Rosa Maria Claramunt-Vallespí, Prof. José Elguero). Habilitoval v roku 1997 s prácou *N*-substituované aminoetylénové deriváty – ich príprava, štruktúra, vlastnosti a využitie v organickej syntéze. V roku 2010 získal vedeckú hodnosť doktora farmaceutických vied (DrSc.) s témou Aktivované enolétery – ich príprava, vlastnosti a využitie v syntéze biologicky aktívnych zlúčenín a v roku 2011 inauguroval v odbore Organická chémia s témou Enolétery – prekurzory heterocyklov.

Na dráhe vysokoškolského učiteľa prešiel Viktor Milata všetkými formami pedagogického pôsobenia. Je autorom piatich učebníc, jedných tabuliek, dvoch audiovizuálnych a jedného interaktívneho kurzu. Na fakulte aj vyšších úrovniach sa vždy zasadzoval za dostupnosť a využívanie moderných informačných zdrojov chemikov. Od roku



2013 je členom Odborovej komisie doktorandského štúdia Farmaceutická chémia na FaF Univerzity Komenského.

Vo svojom vednom odbore organickej syntézy a analýzy sa osobitne venuje heterocyklickým zlúčeninám, ich spektrálnym vlastnostiam a nomenklatúre, kde publikoval viac ako 150 karentovaných a 130 popularizačných prác s citačným ohlasom viac ako 900 (WOS h-index = 17, Scholar Google h-index = 20) a prednášal na viac ako 250 konferenciách. Pozornosť zasluhujú osobitne výsledky v oblasti aktivovaných enoléterov, chinolónov, pyrazolov a benzazolov. Je členom Vedeckej rady FaF UK (2019 až 2024), Vedeckej rady PriF UCM v Trnave (2011–2022), Vedeckej rady FCHPT STU (od roku 2019). Je trvale posudzovateľom v asi dvoch desiatkach vedeckých časopisov a v grantových agentúrach GAČR, VEGA, APVV, IGA VFU Brno, v Komisii č. 1 KEGA (2012–2021), Israel Science Foundation a ďalších. Je členom Názvoslovnej komisie SCHS pri SAV, bol členom Label Committee ECTNA (2010–2014), zástupcom SCHS v ECTNA, členom Rady Centra pre syntézu za udržateľných podmienok MU Brno, je členom redakčných rád Monatshefte für Chemie, Molecules, Arkivoc, ChemZi, EuChemS Newsletter.

Popri pedagogickej a vedeckej činnosti je prof. Milata trvale činný vo viacerých významných organizáciách a ich štruktúrach, ako sú Rada slovenských vedeckých spoločností pri SAV – člen 2010–2014, podpredseda 2014–2015 a predseda od roku 2015 doteraz, Komisia SAV pre spoluprácu s vedeckými spoločnosťami (podpredseda 2017 až doteraz), Slovenská chemická spoločnosť pri SAV (SCHS) – člen od 1976, člen Predsedníctva 2002–2005, podpredseda 2005–2006, 2009–2010, 2013–2014, 2017–2018, opakovane predseda SCHS v rokoch 2007–2008, 2011–2012, 2015–2016 a Čestný predseda od roku 2019, predseda Edičnej rady a člen Redakčnej rady časopisu SCHS ChemZi. Bol národným reprezentantom Slovenska v divízii IUPAC – Organic and Biomolecular Chemistry (2008–2009 a 2014–2015), Fellow IUPAC od 2009, členom Výkonného výboru EuChemS (2010–2014), členom pracovnej skupiny Green and Sustainable Chemistry EUChemS. Na domácej pôde bol predsedom Fakultnej komisie ŠVOČ na CHTF SVŠT (1982–1984), predsedom Celoškolskej komisie ŠVOČ na SVŠT (1984–1989), členom Akademického senátu FCHPT STU (2001–2004, 2016–2020). Bol tiež predsedom Dozornej rady CHÚ SAV (2018) a v súčasnosti je jej členom.

Za všestrannú prácu dostal celý rad ocenení – ChemPubSoc Europe Fellow 2018–2019, Medaila SCHS 2009, Zlatá medaila SCHS 2017, Čestný člen SCHS 2013, Čestný predseda SCHS 2019, Bellušova medaila SCHS 2014, Čestné uznanie za dlhodobú aktívnu prácu v chemickej olympiáde 2015, Čestný člen Českej chemickej spoločnosti 2012, Weberova medaila Slovenskej farmaceutickej spoločnosti 2010, Čestný člen Slovenskej farmaceutickej spoločnosti 2011, Medaila PhMr. Jána Halašu Slovenskej farmaceutickej spoločnosti 2019, Pamätná medaila Univerzity Komenského v Bratislave 2019, Medaila Marie Curie-Sklodovskej Poľskej chemickej spoločnosti 2011, Pamätná medaila FCHPT STU 2011, Pamätná medaila

Aurela Stodolu udelená dekanom FCHPT STU 2010, Ďakovný list Združenia učiteľov chémie za aktívnu činnosť v ZUCh 2017, Prémia za vedeckú a odbornú literatúru za rok 2008 udelená Literárnym fondom v kategórii Prírodné a technické vedy za dielo Aplikovaná molekulová spektroskopie.

Viktor Milata je tiež človekom širokých mimopracovných záujmov. S obľubou sa venuje najmä rodine, práci na chalupe, osobitne práci s drevom, v záhradke sa zameriava na raritné citrusové, subtropické a tropické plodové rastliny, má rád bicyklovanie, motorizmus a cestovanie. Profesor Milata je výraznou osobnosťou akademického prostredia. Za naše chemické spoločnosti aj za seba mu chceme zaželať dobré zdravie a veľa síl na plány do ďalších rokov a ich naplnenie.

*Ján Labuda, SCHS*

Mimořádná osobnosť Viktora Milaty a jeho obrovský význam pro spolupráci slovenských a českých chemiků a jejich společností přímo vybízí, abych pod výše uvedenou řádkou psané libozvučnou slovenštinou přidal i pár neumělých vět v češtině. S Viktorem se znám prakticky od prvních momentů spolupráce našich chemických společností po rozdělení společného státu a je jeho velkou zásluhou, že vztahy českých a slovenských chemiků zůstaly velmi dobré, ne-li dokonce lepší než ve společném státě. Pomohl k tomu nejen Viktorovy vynikající odborné znalosti a organizační schopnosti, ale i lidské kvality, z nichž bych zejména zdůraznil dnes tolik vzácný smysl pro laskavý a nadčasový humor. Právě díky tomuto smyslu je spolupráce s Viktorem vždy příjemná a jednoduchá, neboť on patří mezi nemnoho lidí, se kterými je možné příjemně a dokonce radostně nesouhlasit, aniž by to čemukoliv ublížilo. A skutečnost, že svoji dobrou náladu dokáže úspěšně přenášet i na své okolí, je doufám dostatečným zdůvodněním pro tento přidaný český odstavec.

Milý Viktore, jménem velkého zástupu Tvých přátel v české chemické komunitě Ti do dalších let přeji hodně zdraví, štěstí, spokojenosti a radosti z dobře vykonané práce a co nejméně kontaktů se všemi těmi nelogičnými, které se kolem nás bohužel množí rychlostí přímo exponenciálně rostoucí. A všichni se těšíme na další spolupráci i na občasná posezení nad naším dobrým.

*Jiří Barek, ČSCH*



**Vzpomínka na prof. RNDr. Antonína Tocksteina, DrSc. (9. 11. 1926 – 15. 1. 2022)**

Je tomu jen pár týdnů, co jsme do Chemických listů připravovali článek k 95. narozeninám profesora Tocksteina (viz Chem. Listy 115, 570 (2021)), ve kterém jsme se vyznali ze svého obdivu k této mimořádné osobnosti české i světové fyzikální chemie a k vynikajícímu vědci, učiteli a především k obdivuhodnému člověku. Nyní nám připadla smutná povinnost naposledy se s ním rozloučit na



stránkách nášeho časopisu. Není potřeba opakovat jeho známé kvality, obrovské množství odvedené práce a jeho zásluhy o rozvoj české fyzikální chemie dostatečně popsané ve výše zmíněném článku. Je však třeba připomenout, že přesně osobnosti typu profesora Tocksteina rozhodujícím způsobem přispěly k dobrému mezinárodnímu postavení české fyzikální chemie a k výchově dnešní generace chemiků právě svojí schopností probouzet zájem a lásku k danému vědnímu oboru. A především proto budeme na profesora Tocksteina s úctou vzpomínat i po jeho odchodu z našich řad. Sbohem, pane profesore.

*Jiří Barek (Česká společnost chemická)  
a Jiří Málek (Univerzita Pardubice)*



### **Náhly odchod Ing. Miroslava Koóša, DrSc.**

Dňa 2. 12. 2021 komunitu chemikov na Slovensku i v Čechách prekvapila na webovej stránke Slovenskej akadémie vied<sup>1</sup> nasledovná smutná správa:

S hlbokým žiaľom oznamujeme akademickej obci, že 29. novembra 2021 nás nečakane a bez rozlúčky opustil riaditeľ Chemického ústavu SAV Ing. Miroslav Kooš, DrSc. Dožil sa 69 rokov. Z našich radov ho po krátkom pobyte v nemocnici vyrvala pandémia koronavírusu. Zdieľame smútok s jeho najbližšou rodinou, spolupracovníkmi, priateľmi a celou slovenskou chemickou komunitou. V našej pamäti ostane navždy zapísaný ako úspešný organický chemik a významný budovateľ a obhajca pracoviska.

Dr. Kooš sa narodil 21. októbra 1952 v Banskom Studenci pri Banskej Štiavnici. Hneď po absolvovaní Chemicko-technologickej fakulty SVŠT v Bratislave (teraz FChPT STU) v roku 1976 nastúpil na internú aspirantúru na Chemický ústav SAV, ktorý sa stal po úspešnej obhajobe dizertačnej práce jediným pracoviskom v jeho profesionálnej kariére. V prvej časti svojej vedeckej kariéry sa venoval najmä syntéze, izolácii a charakterizácii 5- a 6-článkových heterocyklických zlúčenín. Absolvoval dva dlhodobé študijné pobyty na Stanford University (USA). S bohatými skúsenosťami z heterocyklickej chémie sa po niekoľkých rokoch stal posilou a vedúcim pracovných kolektívov, ktoré rozvíjali organickú chémiu sacharidov s cieľom prípravy biologicky aktívnych derivátov využiteľných ako potenciálnych liečiv. Z významných projektov tohto smeru výskumu je potrebné menovať ten, ktorý vystihuje jeho ciele: *Syntéza, štruktúra a vlastnosti sacharidov a glykokonjugátov dôležitých v biológii a humánnej medicíne*. Za jeho originálny prístup k tejto problematike sa dá označiť predovšetkým kombinácia heterocyklickej chémie s komplikovanou chémiou sacharidov. Produktivita jeho výskumnej činnosti je obdivuhodná predovšetkým preto, že od začiatku 90. rokov bol súčasťou vedenia pracoviska, zaťažovaný administratívnymi povinnosťami. Je spoluautorom takmer 90 prác a viacerých patentov. Začínal ako vedecký tajomník ústavu, v rokoch 1993 až

2010 bol menovaný do funkcie štatutárneho zástupcu riaditeľa ústavu. Od roka 2011 zastával funkciu riaditeľa ústavu, no žiaľ, jeho náhly skon mu nedovolil ukončiť v tejto pozícii tretie funkčné obdobie.

Ako riaditeľ pracoviska má významné zásluhy na ďalšom úspešnom rozvoji pracoviska v jeho smerovaní cez chémiu a biochémiu sacharidov do oblasti biomedicíny. Chemický ústav SAV sa totiž hlási aj k neoficiálnemu menu, a to je Centrum glykomiky. Za vedenia Dr. Koóša sa na pracovisku posilnili mimoriadne úspešné pracovné kolektívy, ktoré vyvíjajú nové diagnostické testy na báze zmien glykozylácie ľudských bielkovín v súvisi s rakovinou a inými chorobami a ktoré pomocou kvantovej chémie navrhujú, syntetizujú a testujú nové deriváty sacharidov ako inhibítory nežiaducich enzýmových aktivít spojených s poruchami v ľudskom organizme. Za aktivitu Dr. Koóša vo funkcii riaditeľa, ktorá znamená najväčší prínos pre pracovisko, treba označiť vysokú úspešnosť podávaných projektov vo výzvach Európskych štrukturálnych fondov. Viacero úspešných samostatných projektov alebo projektov spoločných s pracoviskami mimo Bratislavu znamenali pre Chemický ústav SAV 36 mil. eur na nákup prístrojovej techniky, čo pozdvihlo ústav a hlavne oddelenie analytickej chémie na súčasnú špičkovú svetovú úroveň. Aktívnou činnosťou v Sneme SAV, vedeckých spoločnostiach a mnohých komisiách SAV aj iných prispel k napĺňaniu cieľov SAV. Významne sa podieľal na zviditeľnení a posilnení pozície časopisu Chemical Papers. V roku 2018 mu Vedecká rada SAV udelila najvyššie významnenie akadémie Zlatú medailu SAV ako výraz ocenenia nesporných vysokých vedeckých a ľudských kvalít.

V osobe Dr. Miroslava Koóša stráca pracovisko zodpovedného a obetavého riaditeľa, obľúbeného kolegu a pracovitého a čestného človeka. Nenahradiateľnou stratou bude predovšetkým pre svojich najbližších.

Češť jeho pamiatke!

*Peter Biely, Chemický ústav SAV*

### LITERATÚRA

1. [https://www.sav.sk/?lang=sk&doc=services-news&source\\_no=20&news\\_no=10041](https://www.sav.sk/?lang=sk&doc=services-news&source_no=20&news_no=10041), stiahnuté 10. 1. 2022.

### Addendum

Je toho viac, čo by človek chcel dodať pri náhlom skone priateľa, s ktorým som sa poznal od roku 1978, keď som ako študent na vtedajšej CHTF SVŠT požiadal o možnosť vypracovať prácu ŠVOČ na Chemickom ústave SAV v laboratóriu Ing. Pavla Šefčoviča, CSc. aj s Dr. Bohumilom Steinerom, CSc. a Petrom Juričkom na tému Prostaglandíny. Na tejto problematike spolupracovali naše a jeho laboratórium. Ako študent som bol vyexcitovaný nočno24hodinovou tlakovou énovou syntézou ako aj oxidáciou ricínového oleja kyselinou dusičnou na zmes kyseliny korkovej a azelaovej. Táto zmes sa najvýhodnejšie

delila rektifikáciou ich metylesterov a tak sme ju delili vákuovo na asi metrovej náplňovej kolóne. Po rozdelení sme nechali aparatúru chladnúť a odišli sme do kancelárie vedľa laboratória. V tom sa ozval výbuch. Dobešli sme, oddelili našťastie zachované produkty a vyšli do toalety pre metlu a lopatky, aby sme zlikvidovali zvyšky skla. Po zatvorení dverí sa ozval druhý výbuch a dokončil dielo skazy – zrejme peroxidy z oxidácie kyselinou dusičnou a extrakciou dietyléterom. Dr. Steiner a neskôr vyštudovaný PaeDr. Juríček mi dokonca pomohli presťahovať sa do nového bytu v Petržalke.

Po skončení štúdia som takmer nastúpil na doktorandúru (vtedy kandidatúra) na CHÚ SAV, ale v poslednom momente som bol prijatý na fakultu. No aj tak som často priateľov navštevoval a vzájomne sme si pomáhali radami, nápadi, chemikáliami a pod. V laboratóriu Ing. Koóša sa objavila moja spolužiačka Ing. Lýdia Guľová, ktorá sa následne vydala do Talianska. No a dnes je vedúcim tohto laboratória môj diplomant a doktorand Ing. Maroš Bella, PhD, zase pracujúci na spoločnom projekte s Ing. Koóšom...

Ing. Kooš mal vzácny dar – srdečnosť a úsmevnosť, ktoré pramenili z jeho neuveriteľnej pracovitosti: na ústave býval nezriedka aj ráno o 4. hodine. Zneužíval som túto jeho vlastnosť, lebo som vedel, že ráno o 6. hodine ho vždy bez toho, aby bol na nejakej schôdzi, zastihnem a vybavím, čo bolo potrebné. Mnohokrát sme spolu riešili otázky chemickej komunity, keď som vstupoval do 3. funkčného obdobia ako predseda Slovenskej chemickej spoločnosti pri SAV a podpisovali sme spoločné projekty s CHÚ SAV a v poslednej dobe som obdobné projekty s ním riešil z pozície predsedu Rady slovenských vedeckých spoločností pri SAV. Mnohokrát sme s ním jednali o vzťahoch Chemickej zvesti – ChemZi, búrlivo, tvrdo, náročne, avšak vždy korektne. A vždy to končilo smiechom: naša spoločná filozofia, že keď „nejde o život, nejde o nič“, nám obom bola spoločná. Tak mi aj v novembri telefonoval, že treba pripraviť vyúčtovanie projektov s SCHS i RSVS, aby sme sa nestresovali pred koncom roku. A keď sme prišli s vyúčtovaniami, dozvedel som sa v ten štvrtok, že jeho stav je vážny. A v nedeľu prišla tá hrozná správa o jeho skone: priameho, skromného a čestného človeka, ktorý podľahol zákernému vírusu. Asi nevedril v jeho silu...

Tak ako som nevedel na začiatku čo dodať, predsa ma napadlo, že ešte mám čo pridať k nekrológu jeho spolupracovníka Dr. P. Bieleho, CSc.: V roku 2012 bol ocenený Slovenskou chemickou spoločnosťou Medailou SCHS a v roku 2017 pri príležitosti jeho jubilea aj Medailou Daniela Belluša.

Kto ostane v pamäti, neodchádza! Česť jeho pamiatke!

Viktor Milata

## Za doc. Ing. Rudolfom Kadom, CSc.

Nadišiel ten čas, keď sme sa rozlúčili s našim spolupracovníkom, kolegom, priateľom, vzácnym človekom – doc. Ing. Rudolfom Kadom, CSc., ktorý nás opustil vo veku 87 rokov.

Rudo, alebo Rudi, ako sme ho volali, sa narodil 13. 6. 1934 v Žiline a to, že pochádzal „ze Žiliny“, vždy náležite a s hrdosťou vyhlasoval. Odtiaľ pramenila aj jeho láska ku športu, najmä však k lyžovaniu a basketbalu, ale aj k iným športom, ktorých výsledky vedel tipovať, bol zanieteným chalupárom, hubárom, záhradkárom a rád varil nielen v Zázrivej.

Po maturite v roku 1953 nastúpil na CHTF SVŠT, ktorú ukončil v roku 1958, odbor Všeobecná chémia, špecializácia Spracovanie organických látok – plastické hmoty. Diplomovú prácu obhájil na tému: „Vplyv anilínu a butylamínu na kvalitu monoméneho a polyméneho 6-kaprolaktamu“. V rokoch 1958–59 bol vedúcim smeny v Slovnaft, n.p. a 6 mesiacov absolvoval základnú vojenskú službu. Po nej v roku 1960 pôsobil rok v PCHZ Žilina ako vedúci laboratória. Od 28. 12. 1960 sa vrátil na *Alma mater* ako odborný asistent. Kandidátsku dizertačnú prácu na tému „Benzimidazolové deriváty 5-nitrofurfurylidénimínu“ obhájil v roku 1966. V roku 1979 absolvoval 4mesačný študijný pobyt na univerzite v Lunde v laboratóriu prof. Gronowitza, člena komisie pre udeľovanie Nobelových cien, a mesačný pobyt v Krasnodare u prof. Kul'neviča. V roku 1981 mu bol udelený pedagogický titul docenta v odbore Organická chémia za obhájenie práce: „Sulfidy a sulfóny furánového radu“. Počas svojho pôsobenia na fakulte vykonával viacero funkcií v jej rôznych orgánoch a organizáciách. V rokoch 1990–1992 zastával funkciu zástupcu vedúceho katedry. Popri tom prednášal v Trnave a rok na FPV Univerzity sv. Cyrila a Metoda v Tnave. Do dôchodku odišiel 31. 8. 2000. Je spoluautorom viac ako 70 publikácií, 2 vysokoškolských učebníc, výskumných správ a jedného patentu.

Počas svojho pôsobenia sa za svoju prácu stal nielen uznávanou osobnosťou v organickej chémii, chémii heterocyklov a organokovových zlúčenín, ale aj organizátorom mnohých úspešných vedeckých konferencií, z ktorých hlavne tie v Smoleniciach ostávajú v pamätiach najmä starších kolegov nielen pre odborný, ale aj pre ich spoločenský rozmer. Za jeho prácu bol ocenený vyznamenaním Vzorný pracovník SVŠT v roku 1980, Striebornou medailou SVŠT a Pamätnou medailou Slovenskej chemickej spoločnosti v roku 1984 a telovýchovným vyznamenaním „Za zásluhy o rozvoj ČSZTV III. stupňa“.

Rudi ze Žiliny mal preto nespočetne veľa známych a priateľov, z ktorých niektorí už nie sú medzi nami ako napr. Ing. Tibor Sticzay, prof. Jurášek, prof. Ebringer, prof. Antoš, prof. Š. Kováč, doc. Martvoň, doc. Ilavský, doc. Knopová, doc. Kaválek, prof. Ludwig, prof. Pytela, prof. Sedlák a ďalší z Pardubic, prof. Dědek z Prahy, prof. Kratochvíl z Brna, Ing. Bobošík, ale aj žijúci, napr. prof. Kratošiková, prof. Lokaj, prof. Bálaš, prof. Devínsky, doc. Imrich, doc. Karvaš, Ing. Križ, Ing. Bartovič, Ing. Ďuriš, Ing. Žvak, Ing. Čepec, kolektív pracovníkov Synkoly

a mnohí, mnohí ďalší.

Z jeho situačných výrokov a postrehov ostane pre nás večnou pravdou výrok: „Každý dobrý organický chemik môže byť dobrý kuchár, ale nie každý dobrý kuchár môže byť dobrý organický chemik!“.

Odišiel človek, ktorý bol známy svojou priateľskosťou, srdečnosťou, priamosťou a veselosťou, ktorú však trochu skalila choroba v roku 2007.

Rudi, lúčim sa s Tebou aj mene Tvojich bývalých spolupracovníkov, laborantiek a technikov z Ústavu organickej chémie, katalýzy a petrochémie, ale aj ostatných pracovníkov Fakulty chemickej a potravinárskej technológie STU v Bratislave a pozostalým vyslovujem svoju najhlbšiu úprimnú sústrasť.

Kto ostane v pamäti, neodchádza!  
Češ' Tvojej pamiatke!

Viktor Milata

## Výročí a jubilea

### Jubilanti ve 3. čtvrtletí 2022

Uverejňeno se souhlasem jubilujících.

85

**RNDr. Miloslav Smrž, CSc.**, (29.8.), Brno

**doc. Ing. Zdeněk Zloch, CSc.**, (28.9.), Plzeň

80

**prof. Ing. Libor Červený, DrSc.**, (2.7.), VŠCHT Praha

**Ing. Miroslav Novák, CSc.**, (9.7.), VŠCHT Praha

**RNDr. Jaromír Novák, CSc.**, (9.7.), Ústí nad Labem

**RNDr. Jan Pilař, DSc.**, (16.7.), Ústav makromolekulární chemie AV ČR Praha

**prof. Ing. Ladislav Koudelka, DrSc.**, (3.8.), Univerzita Pardubice

**RNDr. Ivana Šestáková, CSc.**, (21.8.), Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR Praha

**doc. RNDr. Jana Hladíková, CSc.**, (21.8.), Praha

**RNDr. Bohumil Pokorný, CSc.**, (28.8.), Brno

**prof. RNDr. Jan Šubert, CSc.**, (17.9.), Kuřim

75

**prof. RNDr. Zdeněk Samec, DrSc.**, (6.8.), Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR Praha

**Ing. Jiří Zubatý**, (3.9.), Libáň

**doc. RNDr. Jiří Protiva, CSc.**, (23.9.), Praha

**prof. RNDr. Libuše Trnková, CSc.**, (25.9.), Masarykova univerzita Brno

70

**prof. RNDr. Hana Čtrnáctová, CSc.**, (6.8.), PřF UK Praha

**Ing. Karel Kult, CSc.**, (11.8.), Praha

**doc. RNDr. Věra Klimešová, CSc.**, (18.8.), FarmF UK Hradec Králové

**prof. RNDr. Lubomír Opletal, CSc.**, (27.8.), FarmF UK Hradec Králové

**Ing. Bohumír Valter, CSc.**, (29.8.), ÚOCHB AV ČR Praha

60

**prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.**, (23.7.), FCH VUT Brno

**Ing. Kamil Lang, CSc.**, (16.8.), Ústav anorg. chemie AV ČR, Husinec - Řež

*Srdečně blahopřejeme*

### Zemřelí členové Společnosti

**prof. Ing. Ivan Machač, CSc.**, zemřel 28. prosince 2021 ve věku 84 let.

**Ing. Miroslav Matušek, CSc.**, zemřel 31. prosince 2021 ve věku 84 let.

**prof. RNDr. Antonín Tockstein, DrSc.**, zemřel 15. ledna 2022 ve věku 95 let.

**Ing. Zdenka Vdovcová**, zemřela 22. ledna 2022 ve věku 77 let.

**doc. RNDr. Miloň Tichý, DrSc.**, zemřel 23. ledna 2022 ve věku nedožitých 85 let.

*Češ' jejich památce*



## Ústav lékařské chemie a biochemie Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci vypisuje témata pro PhD studia:

### **Téma: Studium látek a materiálů ovlivňujících hojení ran *in vitro***

**Školitel: Mgr. Jana Franková, Ph.D.**

**Anotace:** Cílem práce bude najít vhodné přírodní a syntetické látky nebo nové materiály, které bude možné použít na hojení ran. Testování bude prováděno na buněčných liniích nebo na primárních kulturách a bude primárně zaměřeno na sledování toxicity, biokompatibility, protizánětlivého účinku a dalších parametrů ovlivňujících hojení ran.

### **Téma: Ovlivnění ischemicko-reperfuze poškození polyfenoly a jejich deriváty**

**Školitel: prof. Mgr. Martin Modrianský, Ph.D.**

**Anotace:** V prvních pěti minutách ischemie dochází v buňkách srdečního svalu k akumulaci sukcinátu. Po obnovení přísunu kyslíku je právě sukcinátu připisována role v nadměrné tvorbě reaktivních kyslíkových forem, které se podílí na poškození srdečního svalu. Cílem disertační práce je testovat, zda 2,3-dehydrosilybin a kvercetin, které jsou schopny mírnit reperfuze poškození srdce, ovlivňují akumulaci sukcinátu a pokud ano, pak jakým mechanismem. Ke studiu budou využity *in vitro* (buněčné kultury) a *ex vivo* (izolované potkaní srdce) modely. Součástí cíle je také studium závislosti aktivity na strukturních motivech obou molekul (SAR studie) s využitím derivátů obou polyfenolů.

### **Téma: Stanovení vybraných látek v biologických maticích HPLC a HPLC-MS technikami**

**Školitel: Mgr. Pavel Kosina, Ph.D.**

**Anotace:** Konzumace přírodních látek v potravě, případně jako doplňků stravy, ovlivňuje řadu systémů v organismu, např. oxidačně redukční status organismu. Na druhou stranu může jít i o ovlivnění celé řady enzymatických systémů, důležitých např. v metabolismu xenobiotik. V rámci disertační práce bude prováděno stanovení vybraných přírodních látek (např. flavonolignanů ze *Silybum marianum*) v biologických tekutinách a tkáních, optimalizace extrakčních postupů. Vedle toho bude analyzován také vliv na markery poškození buněk, případně ochranný vliv vybraných látek při použití toxinů s definovaným mechanismem účinku.

### **Téma: Vliv metabolitů střevního mikrobiomu na metabolismus cizorodých látek v játrech**

**Školitel: Mgr. Lenka Jourová, Ph.D.**

**Anotace:** V trávicím traktu se nacházejí miliardy mikroorganismů, které jsou zdrojem velkého množství mikrobiálních metabolitů. V poslední době se ukazuje, že tyto látky jsou zodpovědné za nepřímý efekt střevního mikrobiomu na metabolické procesy v celém těle a hrají důležitou roli v rozvoji/prevenici různých onemocnění. Střevní mikrobiom je nejen důležitým faktorem během patofyziologických procesů, ale může ovlivnit také výsledek farmakoterapie působením na biotransformaci xenobiotik – jednak přímo svou vlastní metabolickou aktivitou nebo nepřímo modulací aktivity enzymů hostitele. Téma disertace je zaměřeno na studium vlivu bakteriálních metabolitů primárně na jaterní biotransformační enzymy za fyziologických i patofyziologických podmínek.

### **Téma: Využití přírodních látek a jejich syntetických derivátů v protekci kůže před nežádoucími účinky slunečního záření**

**Školitel: doc. Ing. Alena Rajnochová Svobodová, Ph.D.**

**Anotace:** Kůže vytváří efektivní bariéru před negativním působením vnějších faktorů. Mezi nejvýznamnější činitele patří sluneční záření, kterému je kůže vystavena každodenně. Přestože jsou buňky vybaveny obrannými systémy, intenzivní a dlouhodobá expozice slunečnímu záření vede k postupné akumulaci oxidačně modifikovaných molekul. To má za následek řadu strukturních a funkčních změn v kožní tkáni. Cílem disertační práce bude studium vlivu přírodních nebo syntetických látek na nežádoucí děje vyvolané působením UVA či UVB záření v lidských kožních buňkách (fibroblasty, keratinocyty a melanocyty) a na *ex vivo* modelu lidské kůže. Významné účinky by mohly být ověřeny v *in vivo* studii.

**Téma: Biosenzory v experimentální medicíně**

**Školitel: prof. Ing. Jan Vacek, Ph.D.**

**Anotace:** Metodické přístupy na bázi vysoce citlivých senzorů a elektronických součástek mohou být využity k on-line analýze širokého spektra biochemických dějů, jako je enzymová katalýza, post-translační modifikace proteinů nebo studium mezimolekulových (např. DNA-protein) interakcí. Cílem doktorské práce bude zmapovat současné přístupy a navrhnout nové metody na bázi elektrochemických čidel, vhodných především pro výzkum struktury a funkce proteinů. Literatura: *Bioanalysis* 12, 1337 (2020).

**Téma: Interakce a biologická aktivita elektrofilních mastných kyselin**

**Školitel: prof. Ing. Jan Vacek, Ph.D.**

**Anotace:** Elektrofilní substráty sehrávají významnou úlohu v regulaci buněčné odpovědi na stres a modulaci zánětlivých procesů. Zkoumány budou oxidačně-redukční přeměny NO<sub>2</sub> derivátů mastných kyselin a jejich biologický účinek *in vitro*. Literatura: *Redox Biol.* 24, 101213 (2019).

**Téma: Transport protonů v biologických systémech**

**Školitel: prof. Ing. Jan Vacek, Ph.D.**

**Anotace:** Přenos protonů v peptidových a proteinových strukturách bude studován pomocí elektrochemických a spektroskopických metod. Důraz bude kladen na biologickou relevanci protonových přenosů a možnosti jejich studia pomocí unikátních elektrochemických přístupů vč. strukturní charakterizace protonizovaných a deprotonizovaných molekul metodou NMR. Student(ka) si taktéž osvojí základní principy MD simulací a obecně aplikaci výpočetní chemie ve výzkumu biopolymerů. Literatura: *Curr. Opin. Electrochem.* 14, 166 (2019).

**Příhlášky je možno podávat na Lékařské fakultě Univerzity Palackého v Olomouci do 13. 5. 2022. Kontakt a bližší informace u prof. Mgr. Martina Modrianského, Ph.D. (e-mail [martin.modriansky@upol.cz](mailto:martin.modriansky@upol.cz), případně na <https://medchemnew.upol.cz/profil/>).**

nabízí pro akademický rok 2022/2023

## **DOKTORSKÉ STUDIJNÍ PROGRAMY**

(standardní doba studia 4 roky)

- Analytická chemie
- Anorganická chemie
- Anorganická technologie
- Biochemie
- Ekonomika a management podniků s procesními výrobami
- Fyzikální chemie
- Chemické a procesní inženýrství, specializace Environmentální inženýrství; Chemické inženýrství
- Chemie a technologie anorganických materiálů
- Chemie a technologie materiálů, obor Povrchové inženýrství
- Inženýrství energetických materiálů
- Organická chemie
- Organická technologie

Všechny nabízené doktorské studijní programy je možné studovat v prezenční i kombinované formě. Přihlášky k doktorskému studijnímu programu musí být doloženy písemným souhlasem potencionálního školitele s návrhem tématu disertační práce, životopisem, potvrzením o zdravotní způsobilosti, doklady o dosaženém vzdělání.

Přihlášku lze podat buď elektronicky na adrese <http://eprihlaska.upce.cz> nebo na standardním formuláři „Přihláška ke studiu na vysoké škole v ČR“.

**Termín přihlášek: 31. května 2022**

---

**OBSAH****ÚVODNÍK**

- Diktát hrubých ukazatelů sníží kvalitu výuky** 201  
P. Drašar

**REFERÁTY**

- Totální syntéza přírodních látek: případové studie pro zhodnocení nových syntetických metod, objasnění stukturních aspektů a vývoj léčiv** 204  
L. Rýček
- Role derivátů hydantoinu při syntéze polyaspartátů** 215  
J. Podešva, M. Dušková Smrčková a O. Trhlíková
- O zázraku přírody z řepkového pylu** 223  
M. Jurášek a P. Drašar
- Skryté nebezpečí otěrových částic** 228  
E. Švábenská a P. Roupcová
- Odolnost na ionizující záření u zástupců kmene Actinobacteria** 235  
E. Timkina, O. Maňátková a I. Kolouchová
- O českých názvech prvků a jejich značkách** 242  
P. Holý

---

**CONTENTS****EDITORIAL**

- The Imperative of Rough Indicators Will Reduce the Quality of Teaching** 201  
P. Drašar

**REVIEW ARTICLES**

- Total Synthesis of Natural Products: Case Studies in the Evaluation of New Synthetic Methods, Structural Elucidation and Drug Discovery** 204  
L. Rýček
- Role of Hydantoin Derivatives in Syntheses of Polyaspartates** 215  
J. Podešva, M. Dušková Smrčková, and O. Trhlíková
- About the Miracle of Nature from Rapeseed Pollen** 223  
M. Jurášek and P. Drašar
- Hidden Hazard of Wear Particles** 228  
E. Švábenská and P. Roupcová
- Resistance to Ionizing Radiation in Representatives of the Strain Actinobacteria** 235  
E. Timkina, O. Maňátková, and I. Kolouchová
- About Czech Names of Elements and Their Symbols** 242  
P. Holý

## BULLETIN ČESKÝCH CHEMICKÝCH SPOLEČNOSTÍ

## BULLETIN OF THE CZECH CHEMICAL SOCIETIES

<b>Česko má nový surovinový poklad</b> P. Holý	257	<b>The Czech Republic has a New Raw Material Treasure</b> P. Holý	257
<b>Mezinárodní mobility vědecko-výzkumných pracovníků, nové podpůrné nástroje na VŠCHT Praha</b> A. Mittnerová	259	<b>International Mobility of Research and Development Workers, New Supportive Tools in the University of Chemistry and Technology Prague</b> A. Mittnerová	259
<b>Bronz – jak se potkává chemie s metalurgií, fyzikou materiálů a sociální antropologií</b> M. Raab, M. Hrubý a J. Vrabcová	262	<b>Bronze – How Chemistry Meets Metallurgy, Material Physics, and Social Anthropology</b> M. Raab, M. Hrubý, and J. Vrabcová	262
<b>Ze života chemických společností</b>	266	<b>From the Chemical Societies</b>	266
<b>Odborná setkání</b>	267	<b>Meetings and Conferences</b>	267
<b>Akce v ČR a v zahraničí</b>	269	<b>Meetings Calendar</b>	269
<b>Recenze</b>	270	<b>Book Reviews</b>	270
<b>Evropský koutek</b>	271	<b>European Column</b>	271
<b>Zprávy</b>	271	<b>News</b>	271
<b>Osobní zprávy</b>	273	<b>Personal News</b>	273
<b>Výročí a jubilea</b>	279	<b>Anniversaries and Jubilees</b>	279

**CHEMICKÉ LISTY • ročník/volume 116 (2022), čís./no. 4 • LISTY CHEMICKÉ, roč./vol. 146, ČASOPIS PRO PRŮMYSL CHEMICKÝ, roč./vol. 132 • ISSN 0009-2770, ISSN 1213-7103 (e-verze) • evidenční číslo MK ČR E 321 • Vydává Česká společnost chemická jako časopis Asociace českých chemických společností ve spolupráci s VŠCHT Praha, s ČSPCH a ÚOCHB AV ČR za finanční podpory Rady vědeckých společností ČR, Akademie věd ČR, Nadace Český literární fond a kolektivních členů ČSCH • IČO 444715 • Published by the Czech Chemical Society • VEDOUČÍ REDAKTOR/EDITOR-IN-CHIEF: V. Vyskočil • REDAKTOŘI/EDITORS: J. Barek, E. Benešová, P. Drašar, P. Holý, P. Chuchvalec, M. Jurášek, Z. Kolská, B. Kratochvíl, J. Masák, J. Podešva, P. Šmejkal; Bulletin: P. Drašar; Webové stránky: R. Liboska, V. Vyskočil • ZAHRANIČNÍ A OBLASTNÍ REDAKTOŘI/FOREIGN AND REGIONAL EDITORS: F. Švec (USA) • TECHNICKÁ REDAKTORKA/EDITORIAL ASSISTANT: R. Řápková • REDAKČNÍ RADA/ADVISORY BOARD: K. Bláha, L. Červený, E. Dibuszová, L. Grubhoffer, J. Hanika, Z. Havlas, M. Hof, Z. Hostomský, J. Káš, M. Koman, P. Konvalinka, J. Kotek, J. Koubek, J. Málek, P. Matějka, K. Melzoch, V. Pačes, M. Pospíšil, V. Růžička, P. Slavíček, I. Stibor, V. Šimánek, J. Zima, T. Zima • ADRESA PRO ZASÍLÁNÍ PŘÍSPĚVKŮ/MANUSCRIPTS IN CZECH, SLOVAK OR ENGLISH CAN BE SENT TO: Chemické listy, Novotného Lávka 5, 116 68 Praha 1; tel./phone +420 221 082 370, e-mail: chem.listy@csvts.cz • INFORMACE O PŘEDPLATNÉM, OBJEDNÁVKY, PRODEJ JEDNOTLIVÝCH ČÍSEL A INZERCE/INFORMATION ADS: Sekretariát ČSCH, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1; tel. +420 221 082 383, e-mail: chem.spol@csvts.cz, chem.ekonom@csvts.cz • PLNÁ VERZE NA INTERNETU/FULL VERSION ON URL: <http://www.chemicke-listy.cz> • TISK: Garamon s.r.o., Wonkova 432, 500 02 Hradec Králové • SAZBA, ZLOM: ČSCH, Chemické listy • Copyright © 2022 Chemické listy/Česká společnost chemická • Cena výtisku 180 Kč, roční plné předplatné 2022 (12 čísel) 1810 Kč, individuální členské předplatné pro členy ČSCH 900 Kč. Roční předplatné ve Slovenské republice 96 EUR (doručování via SCHS), individuální členské předplatné pro členy ČSCH 73 EUR (doručování via SCHS), 96 EUR + poštovné (individuální doručování), ceny jsou uvedeny včetně DPH • DISTRIBUTION ABROAD: KUBON & SAGNER, POB 34 01 08, D-80328 Munich, FRG • This journal has been registered with the Copyright Clearance Center, 2322 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA, where the consent and conditions can be obtained for copying the articles for personal or internal use • Pokyny pro autory najdete na <http://www.chemicke-listy.cz>, zkratky časopisů podle Chemical Abstract Service Source Index (viz <http://cassi.cas.org/search.jsp>) • Chemické listy obsahující Bulletin jsou zasílány zdarma všem individuálním a kolektivním členům ČSCH a ČSPCH v ČR i zahraničí, do všech relevantních knihoven v ČR a významným představitelům české chemie a chemického průmyslu; v rámci dohod o spolupráci i členům dalších odborných společností • Molekulární námět na obálce: V. Spiwok • Dáno do tisku 28.3.2022.**





# Švýcarský nůž analytiky

Inspirovaný věrností a spolehlivostí – to je nová éra SFC

Superkritický fluidní chromatografický systém Nexera UC je dostupný v různých konfiguracích tak, aby poskytoval aplikačně specifické řešení zákazníkům ve farmaceutickém, chemickém a potravinářském průmyslu. Unikátní hardwarové inovace zaručují spolehlivou a stabilní analýzu, kterou lze získat ideální nástroj pro náročné separace vzorků. Díky spojení specifity MS detekce a všestrannosti SFC dosáhne tento systém nejvyšší možné citlivosti.

**Bezprecedentní stabilita tlaku zajistí přesná a reprodukovatelná data**

pomocí unikátního nízko-objemového regulátoru zpětného tlaku

**Rychlejší průtoky, vyšší výkon a nižší náklady na analýzu**

díky nízko-viskózní mobilní fázi, která je nejvíce přátelská k životnímu prostředí

**Automatizovaný proces vytváření metod pro LC nebo SFC testování**

**Kombinace se superkritickou fluidní extrakcí** spojuje rychlou a jednoduchou přípravu vzorku s nejmodernější chromatografickou analýzou a vysokocitlivostní detekcí



# GenElute™-E Single Spin purification kits

Standard silica-based nucleic acid purification spin preparation kits are tedious, requiring multiple wash and spin steps with lots of manual work and little downtime.

## The single spin technology. Greener nucleic acid purification

- Purification in one spin for a simplified workflow
- No chaotropic salts or organic solvents for fewer chemical impurities
- Reduced shearing of genomic DNA

Using a negative chromatography method based on size exclusion to separate and purify large nucleic acid molecules from samples, GenElute™-E DNA and RNA purification kits are optimized to provide high yield, high concentration and better-quality DNA and RNA preps compared to silica-based bind-wash-elute spin prep kits.

**Better results. Fewer steps. Just elute.**

Learn more at [SigmaAldrich.com/singlespin](https://SigmaAldrich.com/singlespin)

## The sustainability facts

GenElute™-E Single Spin kits offer several sustainability benefits beyond standard silica-based kits.

### Waste prevention



55% reduction of the consumption of plastic consumables (tubes, pipet tips) compared to silica-based kits

### Sustainable packaging



Sustainable forestry certification and more than 70% of recycled content in packaging. Starch-based, compostable bags for kit components

### Better usability



Simplified workflow with fewer steps

### Safer disposal



No hazardous liquid waste by eliminating bind and wash steps containing ethanol and chaotropic salts

